



Dinamika Intersepsi Radiasi Surya untuk Pemodelan Biomassa Kering Tanaman Kedelai (*Glycine Max (L.) Merrill*)

Dynamics of Intercepted Solar Radiation to Simulate Dry Matter of Soybean (*Glycine Max (L.) Merrill*)

Pono Ngatui, Handoko, Bregas Budiarto^{*}, dan Marlina Tri Widyastuti

Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 March 2017

Received in revised from 21 May 2017

Accepted 2 June 2017

doi: 10.29244/j.agromet.31.1.43-52

Keywords:

Photosynthetically active radiation

Plant biomass

Shierary-rice model

Sunshine duration

t test

ABSTRACT

Solar radiation greatly affects the development of plant biomass. The process of plant development is complex. Here, we simplified this complexity through modeling experiment by integrating climate variables. This study aims to determine the dynamics of canopy intercepted solar radiation under soybean (*Glycine Max (L.) Merrill*). We employed the shierary-rice model to calculate plant biomass. The results showed that intercepted radiation continuously increased during vegetative phase, whereas the radiation remains constant during generative phase. Our observation confirmed that the pattern of intercepted radiation followed the angular pattern of sunlight. The intercepted radiation was optimum at 10:00 to 14:00 pm, and it was used to form the plant dry matter. We found that the intercepted radiation contributed until 12%. Based on this contribution, we built our crop model of soybean biomass. Our model performed well in simulating dry biomass with high R^2 (0.9), and as indicated by the plot 1:1 between dry matter of model and field observations. Further, the result of t test between model and observed data confirm this strong corelation (p -value 0.07).

PENDAHULUAN

Pertanian dapat diartikan sebagai proses pemanenan atau pemanfaatan energi radiasi untuk menghasilkan makanan dan serat (Handoko, 1994). Pemanfaatan radiasi matahari oleh tanaman dilakukan melalui proses fotosintesis. Proses fotosintesis akan menyerap sebagian dari radiasi matahari pada panjang gelombang 0.4-0.7 μm atau sering disebut *photosynthetically active radiation* (PAR) (Monteith, 1972). Besar nilai PAR yang dimanfaatkan oleh tanaman berkisar 40-50% dari nilai radiasi matahari total yang diterima oleh permukaan bumi (Escobedo et al., 2009; Li et al., 2010; Yu et al., 2015). Energi PAR akan selalu diserap selama fotosintesis dan diubah menjadi energi kimia untuk pertumbuhan biomassa organ tanaman (Kirschbaum, 2011; Lukito and Rohmatiah, 2013; Malhi et al., 2015).

Pertumbuhan tanaman merupakan proses pertambahan biomassa. Faktor iklim (curah hujan, suhu, radiasi matahari) merupakan faktor primer yang

mempengaruhi pertumbuhan biomassa tanaman (Dong et al., 2012; Hatfield and Prueger, 2015; Zhang et al., 2013). Mekanisme pertumbuhan tanaman sangat kompleks, termasuk seberapa besar pengaruh intersepsi radiasi terhadap pertumbuhan tanaman (Cabrera-Bosquet et al., 2016; Dandan et al., 2013; Marsal et al., 2014). Proses tersebut dapat disederhanakan dengan menggunakan model.

Model merupakan penyederhanaan suatu sistem, sedangkan sistem sendiri merupakan penjelasan suatu proses atau gabungan beberapa proses yang berbeda (Handoko, 1994). Model simulasi tanaman belum banyak dikembangkan di Indonesia. Model simulasi tanaman dapat dikembangkan dan diuji dengan data percobaan lapang sehingga dapat digunakan untuk prediksi potensi produksi pada masa yang akan datang (Li et al., 2014) atau perubahan kondisi iklim tertentu (Yuliawan and Handoko, 2016). Model dapat digunakan sebagai landasan untuk menentukan kapan waktu yang tepat untuk menanam agar hasil produksi yang didapat bernilai maksimal.

^{*} Corresponding author. bregasb@yahoo.com

Model simulasi tanaman yang berbasis pada model *Shierary Rice* (Handoko, 1994), menggunakan parameter radiasi dalam penentuan biomassa yang dihasilkan oleh tanaman. Pendugaan biomassa menggunakan naraca radiasi sebagai input energi yang diterima oleh tanaman. Model *Shierary Rice* dapat digunakan sebagai dasar penyusunan model simulasi tanaman untuk tanaman selain padi, misal kedelai. Komoditas kedelai merupakan komoditas terpenting ketiga di Indonesia setelah padi dan jagung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola intersepsi radiasi pada tanaman kedelai mulai awal tanam hingga panen dan mengembangkan model pertumbuhan untuk menduga pertumbuhan biomassa.

METODE PENELITIAN

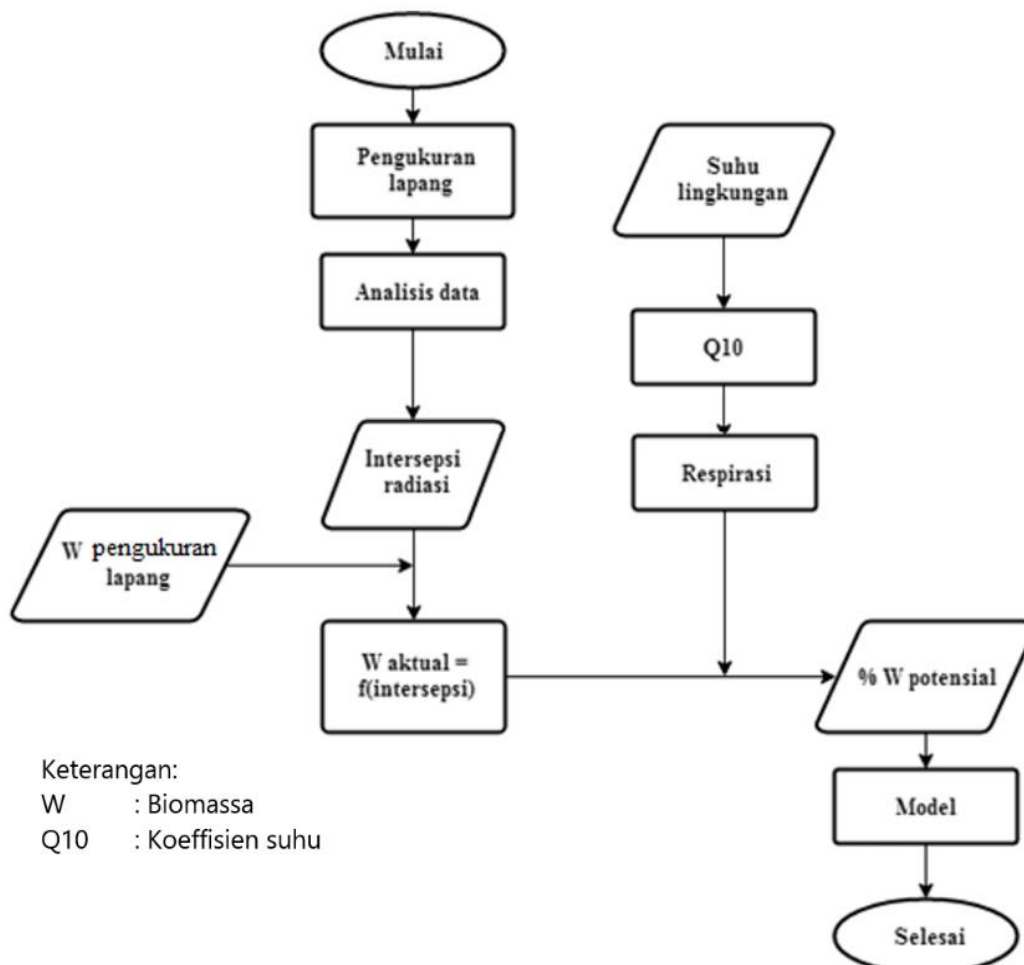
Bahan dan Data Penelitian

Penelitian lapang dilakukan di Desa Cilubang Mekar, Situ Gede, Bogor Barat. Analisis data dilakukan di Laboratorium Agrometeorologi dan Laboratorium Instrumentasi Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor. Data penelitian diambil pada periode Oktober 2016 hingga Januari 2017.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data radiasi yang didapat dari pengukuran di lapang, data parameter iklim dari *automatic weather station* (AWS), dan data biomassa hasil pengukuran lapang. Selain itu digunakan solarimeter untuk mengukur radiasi secara manual. Tahapan penelitian untuk pemodelan biomassa tanaman kedelai disajikan pada Gambar 1.

Prosedur Pengambilan dan Analisis Data

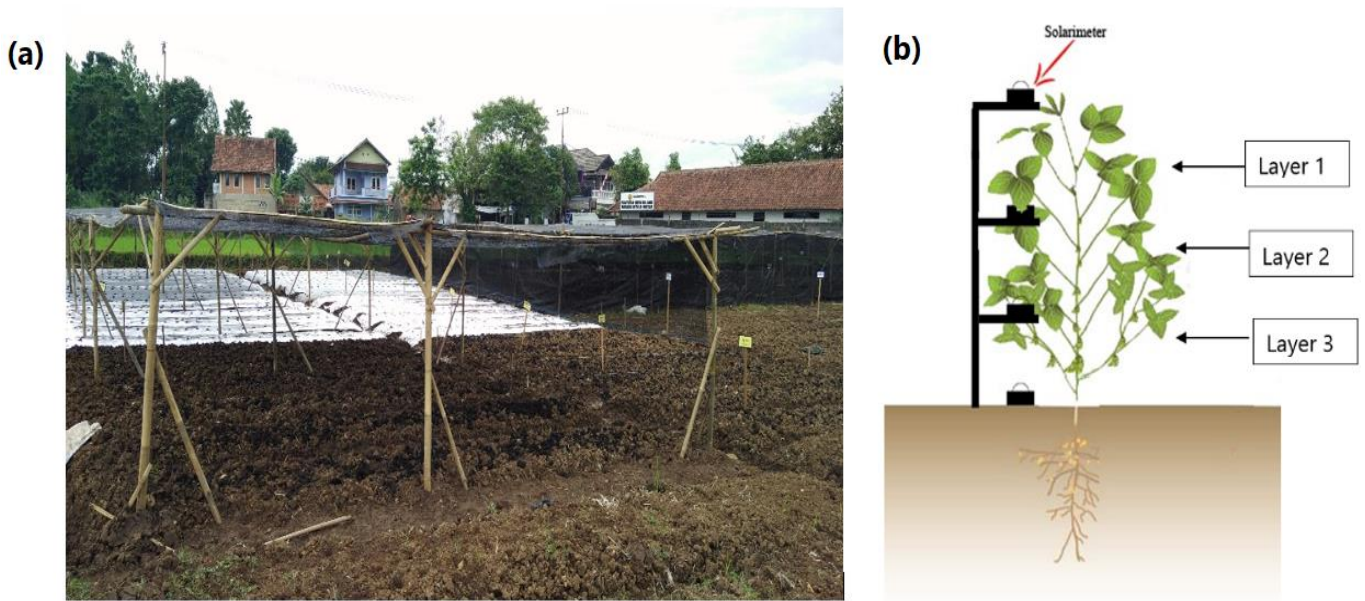
Penelitian dilakukan dengan menggunakan enam perlakuan yaitu: (1) perlakuan mulsa plastik dalam naungan (MPP N50), (2) mulsa plastik luar naungan (MPP N0), (3) mulsa alumunium dalam naungan (MPM N50), (4) mulsa alumunium luar naungan (MPM N0), (5) tanpa mulsa dalam naungan (M0 N50), dan (6) tanpa mulsa luar naungan (M0 N0). Masing-masing perlakuan dibuat 3 bedengan. Satu bedengan memiliki populasi 81 tanaman dan jarak antar tanaman adalah 30 cm. Contoh bedeng disajikan pada Gambar 2a. Pengambilan data radiasi dilakukan melalui dua cara yaitu dengan menggunakan solarimeter yang terhubung dengan *logger* dan secara manual. Pengambilan data secara manual dilakukan dalam kurun waktu dua kali seminggu.



Gambar 1 Alur penelitian untuk pemodelan biomassa tanaman kedelai (*Glycine Max* (L.) Merrill)

Data radiasi yang diambil secara manual yaitu data radiasi di atas kanopi dan bawah kanopi. Sedangkan data radiasi yang diambil secara otomatis yaitu radiasi pada empat bagian pada tanaman kedelai. Data radiasi hasil pengukuran manual digunakan untuk mengetahui fungsi radiasi intersepsi terhadap nilai radiasi total dari awal tanam hingga panen. Nilai radiasi yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *logger* otomatis digunakan untuk mengetahui fungsi radiasi intersepsi secara diurnal dari tajuk atas hingga bawah

(Gambar 2b). Nilai intersepsi yang diperoleh digunakan untuk menduga besar biomassa yang dihasilkan oleh tanaman. Fungsi biomassa diperoleh dari hasil regresi terhadap nilai intersepsi radiasi. Biomassa hasil pengukuran lapang digunakan untuk menduga besar nilai biomassa aktual serta besar nilai respirasi. Nilai biomassa aktual dan respirasi kemudian digunakan untuk menduga nilai biomassa tanaman potensial hasil proses respirasi.



Gambar 2 Ilustrasi penanaman tanaman kedelai dan pengukuran radiasi di lapang. (a) Contoh bedeng untuk penanaman tanaman kedelai yang di naungi dan (b) skema pengukuran data radiasi pada empat ketinggian berbeda.

Hasil analisis data diperoleh nilai intersepsi radiasi secara diurnal dari awal tanam hingga panen. Intersepsi radiasi secara diurnal kemudian di konversi menjadi harian untuk dikoreksi terhadap nilai LAI. Nilai intersepsi radiasi hasil koreksi kemudian digunakan untuk input energi dalam proses pembentukan biomassa tanaman.

Pemodelan Tanaman Kedelai

Model dibangun dengan menggunakan dasar model *Shierary Rice*. Data radiasi hasil analisis kemudian digunakan untuk membentuk model simulasi tanaman kedelai dengan asumsi bahwa pembentukan biomassa tanaman dipengaruhi nilai radiasi intersepsi. Model pertumbuhan memodelkan aliran massa yang terjadi pada masing-masing organ tanaman. Model pertumbuhan menjadikan nilai intersepsi radiasi hasil pengukuran sebagai input pembentukan biomassa. Intersepsi yang diperoleh kemudian diregresikan dengan nilai biomassa hasil pengukuran lapang yang telah dikonversi kedalam bentuk energi yaitu setara dengan 7×10^{-3} MJ/gr untuk mendapat nilai biomassa aktual. Biomassa potensial didapat dari nilai biomassa aktual dan dijumlahkan

dengan nilai respirasi atau energi buangan. Persentase biomassa potensial kemudian digunakan sebagai koefisien pembentukan biomassa dalam model. Respirasi tanaman dapat diperoleh menggunakan Persamaan (1) dan (2).

$$\text{respirasi} = km * Q10 * W \text{ aktual} \quad (1)$$

$$Q10 = 2^{(T-20)/10} \quad (2)$$

Dimana *km* adalah koefisien respirasi pemeliharaan (kg/kg), *Q10* adalah koefisien suhu dengan *T* adalah suhu dalam $^{\circ}\text{C}$, W_{aktual} biomassa organ (kg/ha). Biomassa hasil model kemudian divalidasi menggunakan data observasi yang tidak digunakan untuk kalibrasi model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Radiasi Surya

Radiasi diurnal memiliki pola sinusoidal. Radiasi akan meningkat berdasarkan sudut datang matahari hingga mencapai nilai puncak, setelah itu nilai radiasi mengalami penurunan kembali membentuk fungsi

sinusoidal. Nilai maksimum radiasi pada bulan Oktober-November 2016 sebesar 620 W/m^2 dengan rata-rata radiasi yaitu 290 W/m^2 (Gambar 3a). Radiasi maksimum pada bulan November-Desember 2016 sebesar 620 W/m^2 dengan nilai rata-rata radiasi yaitu 250 W/m^2 (Gambar 3b). Radiasi pada Desember 2016-Januari 2017 memiliki nilai maksimum sebesar 900 W/m^2 dengan rata-rata radiasi sebesar 300 W/m^2 (Gambar 3c). Rata-rata radiasi pada pertengahan bulan memiliki nilai terkecil karena pada pertengahan bulan matahari berada pada titik terjauh di belahan bumi selatan berdasarkan gerak semu tahunan matahari.

Panjang hari selama proses penelitian memiliki nilai yang berbeda-beda dalam tiga bulan waktu tanam. Satu bulan Oktober-November rata-rata panjang hari berada pada rentang sembilan jam dengan lama penyinaran rata-rata sebesar enam jam per hari. Bulan November-Desember memiliki panjang hari rata-rata yaitu sembilan jam dengan lama penyinaran sebesar empat jam per hari. Satu bulan Desember-Januari memiliki panjang hari rata-rata yaitu 10 jam dengan lama penyinaran yaitu sebesar lima jam per hari. Rata-rata persentase radiasi matahari terhadap radiasi maksimum dalam satu hari selama pertumbuhan kedelai, secara berurutan yaitu sebesar 66%, 50% dan 45%.

Lama penyinaran dalam satu hari dipengaruhi oleh tingkat keawanan (Bodas-Salcedo et al., 2016; Chiacchio and Wild, 2010). Tingkat keawanan yang tinggi menyebabkan lama penyinaran dalam satu hari semakin kecil. Tingkat keawanan yang tinggi dalam satu hari pada bulan pertama berada antara pukul 12:00 hingga pukul 15:00 WIB. Rata-rata bulan kedua awan banyak terbentuk setelah pukul 10:00 WIB, hal tersebut disebabkan variasi diurnal radiasi yang tinggi. Satu bulan terakhir variasi radiasi sangat tinggi mulai pagi hari hingga sore hari yang menunjukkan bahwa awan mulai terbentuk dari pagi hingga sore.

Tingkat keawanan berdampak pada besar energi radiasi yang sampai ke permukaan. Tingkat keawanan yang tinggi berdampak semakin kecil energi matahari yang mencapai permukaan. Besar energi radiasi tertinggi yang diterima oleh permukaan berada pada satu bulan awal dengan nilai keawanan sebesar 30%. Satu bulan terakhir memiliki energi terbesar kedua dengan tingkat keawanan sebesar 50%. Bulan kedua merupakan bulan dengan nilai energi radiasi yang terkecil dengan tingkat keawanan sebesar 55%.

Pola keawanan dari bulan pertama hingga bulan ketiga membentuk pola yang berbeda. Satu bulan pertama awan mulai terbentuk setelah pukul 12:00 WIB. Bulan kedua awan mulai terbentuk lebih awal yaitu sekitar pukul 11:00 WIB. Bulan terakhir awan mulai terbentuk lebih cepat yaitu sekitar pukul 10:00 WIB. Hal ini terjadi karena pada bulan pertama belum memasuki

musim penghujan, sedangkan dengan penambahan bulan kedua mulai masuk musim penghujan, dan diakhir bulan merupakan puncak hujan. Variasi pada bulan terakhir yang tinggi menunjukkan bahwa terjadi banyak tutupan awan.

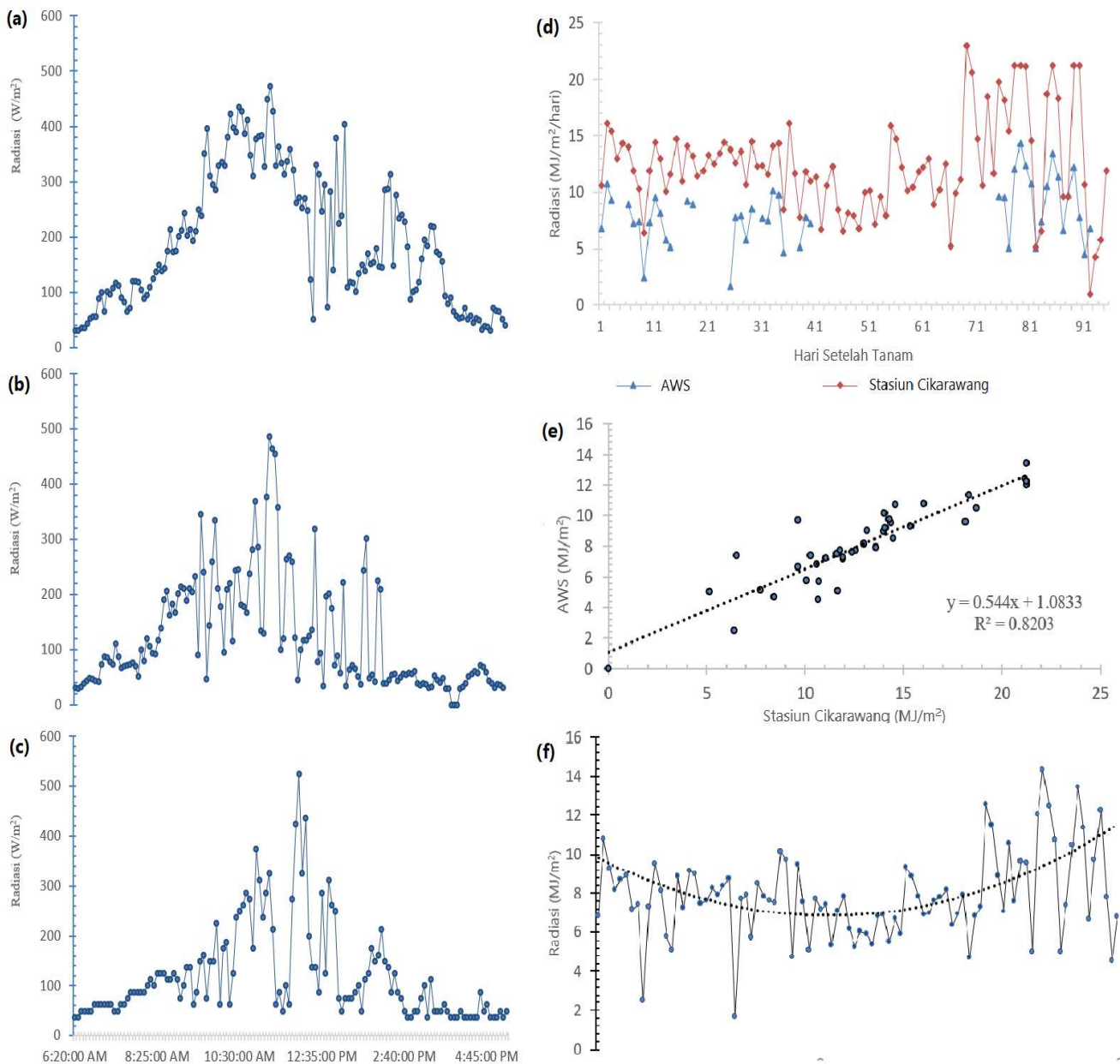
Radiasi surya rata-rata selama periode tanam sebesar $7.8 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}$. Radiasi pada awal fase penanaman relatif konstan. Pertengahan fase yaitu pada minggu ke-7 hingga minggu ke-10 setelah tanam nilai radiasi mulai menurun, hal ini terjadi karena selama selang waktu tersebut tingkat keawanan di lokasi penanaman relatif tinggi. Minggu ke-11 setelah panen nilai radiasi kembali meningkat hingga panen. Radiasi yang di peroleh dari pengukuran terdapat nilai data yang kosong. Data kosong kemudian dibangkitkan dari data iklim Stasiun Cikarawang-Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) terdekat (Gambar 3d). Pola radiasi di lapang dengan data radiasi Stasiun Cikarawang memiliki pola yang sama akan tetapi nilai radiasi hasil pengukuran relatif lebih kecil dari data radiasi Stasiun Cikarawang.

Nilai radiasi pengukuran lapang memiliki pola yang sama terhadap data radiasi Stasiun Cikarawang. Pola yang sama digunakan sebagai dasar untuk pengisian data yang kosong pada pengukuran dengan menggunakan regresi linear. Regresi linear antara radiasi dari AWS dengan data Stasiun Cikarawang menunjukkan bahwa nilai radiasi dari AWS memiliki nilai 0.54 dari nilai radiasi Stasiun Cikarawang (Gambar 3e). Fungsi hasil keluaran regresi digunakan sebagai fungsi untuk mengisi data kosong.

Radiasi secara musiman memiliki pola musonal. Bulan pertama yaitu pada akhir Oktober dan awal November radiasi relatif konstan. Pada pertengahan masa tanam yaitu pada akhir bulan November dan awal Desember radiasi mengalami penurunan. Akhir masa tanam yaitu pada akhir bulan Desember dan awal Januari rata-rata radiasi kembali meningkat (Gambar 3f). Pola yang dihasilkan dari rata-rata radiasi mengikuti pola gerak semu tahunan matahari yaitu pada bulan desember matahari berada pada jarak terjauh di lintang selatan.

Radiasi Surya pada Perlakuan Naungan

Perlakuan naungan digunakan untuk melihat respon tanaman terhadap radiasi yang diterima oleh tanaman. Pengukuran besar nilai radiasi yang mencapai permukaan tanaman dilakukan pada kisaran waktu pukul 09.00 hingga pukul 13.00 dengan tujuan menghindari pengaruh radiasi baur. Besar nilai radiasi yang mencapai permukaan tanaman dibawah naungan berada pada kisaran nilai 55% dari radiasi yang datang. Radiasi yang melewati paranet hampir sebagian besar merupakan radiasi gelombang panjang.



Gambar 3 Nilai radiasi matahari di lokasi penelitian. Rerata variasi diurnal radiasi pada periode: (a) bulan Oktober-November, (b) bulan November-Desember, dan (c) bulan Desember-Januari. Radiasi matahari yang diukur dengan AWS dan diukur di Stasiun Cikarawang-BMKG: (d) nilai radiasi harian, (e) regresi data AWS dengan data stasiun, dan (f) radiasi harian setelah pengisian data kosong.

Radiasi yang mencapai permukaan paranet akan diredam sebesar 50% dari radiasi yang datang (Tabel 1). Energi yang tersisa dari proses peredaman paranet akan diubah menjadi radiasi gelombang panjang.

Intersepsi Radiasi dari Pengukuran Manual

Data radiasi hasil observasi digunakan untuk menentukan nilai radiasi yang diintersepsi oleh tanaman. Pengukuran yang dilakukan secara manual digunakan untuk melihat pola intersepsi dari awal tanam hingga panen. Pola persentase intersepsi radiasi berdasarkan waktu terus meningkat dari hari pertama setelah tanam sampai hari ke-42 setelah tanam atau

pada fase vegetatif. Intersepsi radiasi mulai konstan pada fase generatif yang disebabkan oleh kerapatan daun tanaman mulai merata.

Semua perlakuan yang dilakukan dalam penelitian memiliki pola yang sama dalam mengintersepsi radiasi surya. Hasil regresi antara persentase intersepsi radiasi terhadap waktu diperoleh bahwa nilai persentase intersepsi radiasi cenderung meningkat terhadap waktu pada fase vegetatif. Nilai persentase intersepsi cenderung konstan pada fase generatif, sehingga pada fase generatif digunakan fungsi diurnal untuk menentukan nilai intersepsi radiasi.

Tabel 1 Perbandingan nilai radiasi diluar dan di dalam naungan

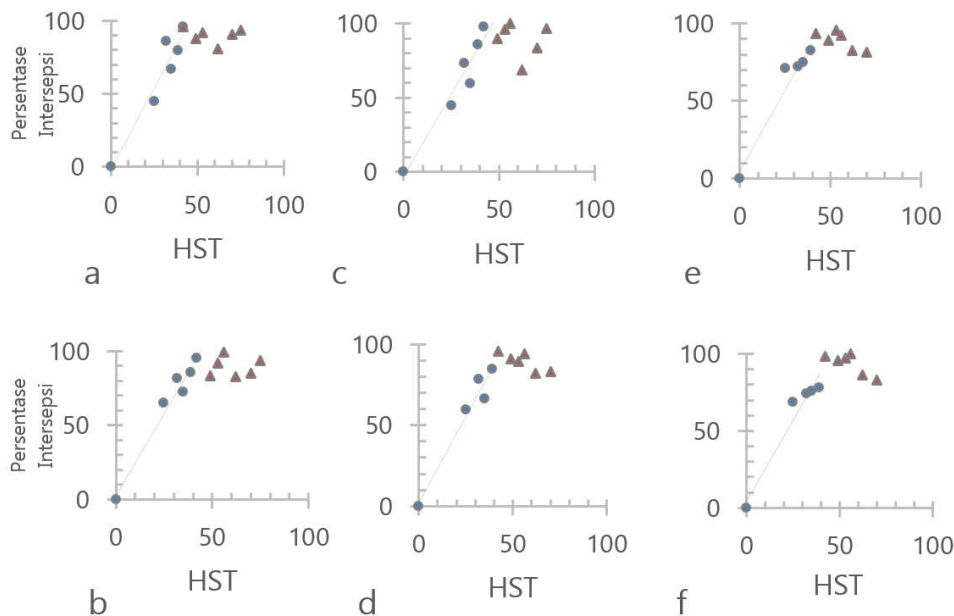
Tanggal	Radiasi atas paranet (W/m ²)	Radiasi bawah paranet (W/m ²)
11/16/2016	671	363
11/19/2016	462	220
11/9/2016	418	231
11/23/2016	352	176
11/26/2016	451	209
12/3/2016	176	121
12/7/2016	352	187
12/16/2016	396	231
12/24/2016	154	77
12/29/2016	220	165

Persentase intersepsi pada 20 hari setelah tanam pada masing-masing perlakuan memiliki perbedaan (Gambar 4). Perlakuan mulsa plastik tanpa naungan dengan mulsa alumunium tanpa naungan menunjukkan nilai persentasi intersepsi kurang dari 50%, sedangkan pada perlakuan yang lain menunjukkan nilai persentase yang lebih besar dari 50%. Berdasarkan nilai persentase intersepsi yang diperoleh pada awal pengukuran menunjukkan bahwa tanaman memanfaatkan energi paling optimum berada pada perlakuan dalam naungan.

Fase generatif memiliki persentase intersepsi yang cenderung konstan. Persentase intersepsi sempat mengalami penurunan pada fase generatif tepat pada

60 hari setelah tanam. Penurunan terjadi pada semua perlakuan, hal ini terjadi karena daun pada tanaman mengalami gangguan yaitu terdapat beberapa daun pada tanaman yang layu dan mengering.

Fase generatif memiliki persentase intersepsi yang cenderung konstan. Persentase intersepsi sempat mengalami penurunan pada fase generatif tepat pada enam puluh hari setelah tanam. Penurunan terjadi pada semua perlakuan, hal ini terjadi karena daun pada tanaman mengalami gangguan yaitu terdapat beberapa daun pada tanaman yang layu dan mengering.



Gambar 4 Persentase intersepsi radiasi perlakuan: (a) mulsa plastik dalam naungan, (b) mulsa plastik luar naungan, (c) mulsa alumunium dalam naungan, (d) mulsa alumunium luar naungan, (e) tanpa mulsa dalam naungan, dan (f) tanpa mulsa luar naungan

Pola Intersepsi secara Diurnal

Pola intersepsi radiasi secara diurnal mengikuti pola sinusoidal. Semakin besar radiasi yang diterima

oleh tanaman maka nilai intersepsi radiasi juga semakin meningkat. Berdasarkan persentase intersepsi dapat dilihat bahwa saat radiasi kurang dari 190 W/m² maka

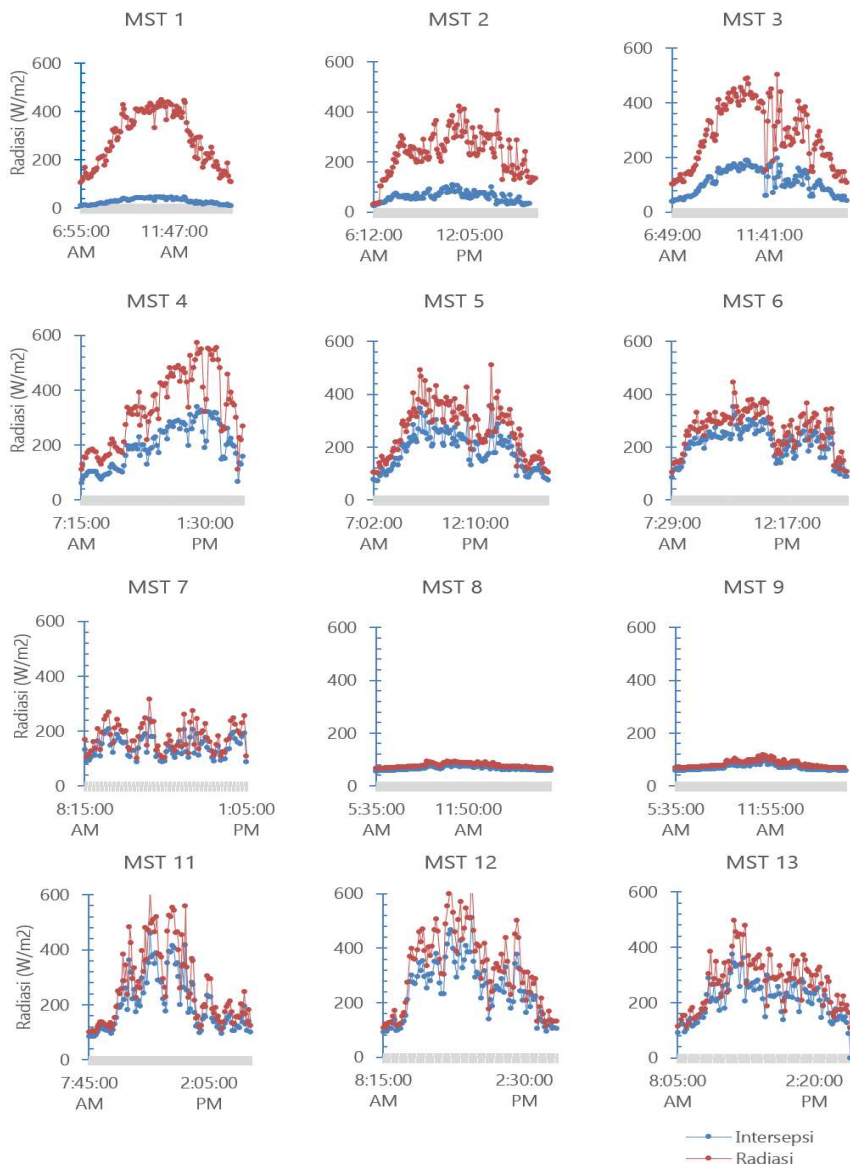
nilai persentase intersepsi radiasi sebesar 85% akan tetapi saat radiasi lebih besar dari 190 W/m² nilai persentase intersepsi radiasi berada disekitar 75%.

Radiasi matahari yang mencapai permukaan daun pada bagian bawah cenderung memiliki pola yaitu pukul 10.00 sampai pukul 14.00 radiasi matahari cenderung mencapai permukaan daun di bagian bawah. Besar persentase radiasi yang diterima lapisan bagian bawah tanaman berkisar antara 13% hingga 25%. Radiasi dapat mencapai bagian daun terbawah pada selang waktu tersebut karena nilai radiasi yang optimum berada pada selang waktu tersebut. Hasil pengukuran dapat diketahui bahwa tanaman memanfaatkan nilai radiasi secara maksimal berada pada selang waktu pukul 10.00 hingga 14.00. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa daun mengalami penerimaan radiasi dari lapisan atas hingga bawah berada pada selang waktu 10.00 hingga 14.00. Penerimaan radiasi dari semua lapisan tersebut mengakibatkan semua daun mengalami proses

fotosintesis. Penambahan biomassa dari tanaman sangat efektif pada selang waktu tersebut dengan melihat besar radiasi yang diterima oleh tanaman.

Rata-rata Intersepsi Radiasi Mingguan

Rata-rata intersepsi radiasi mingguan secara diurnal didapat dari fungsi intersepsi. Intersepsi radiasi terus meningkat dari awal tanam hingga minggu ke 6 setelah tanam. Intersepsi mengalami penurunan pada minggu ke-7 karena pada selang waktu minggu ke-7 hingga ke-10 nilai keawanan yang relatif tinggi sehingga nilai radiasi pada minggu ini relatif lebih kecil. Faktor tanaman juga berpengaruh terhadap penurunan intersepsi yaitu pada minggu ke-7 daun menjadi layu dan mengering. Tanaman mulai menghijau kembali pada minggu ke-11 setelah dilakukan pemakaian pestisida. Intersepsi pada minggu ke-11 mulai meningkat karena tanaman mulai menghijau kembali (Gambar 5).



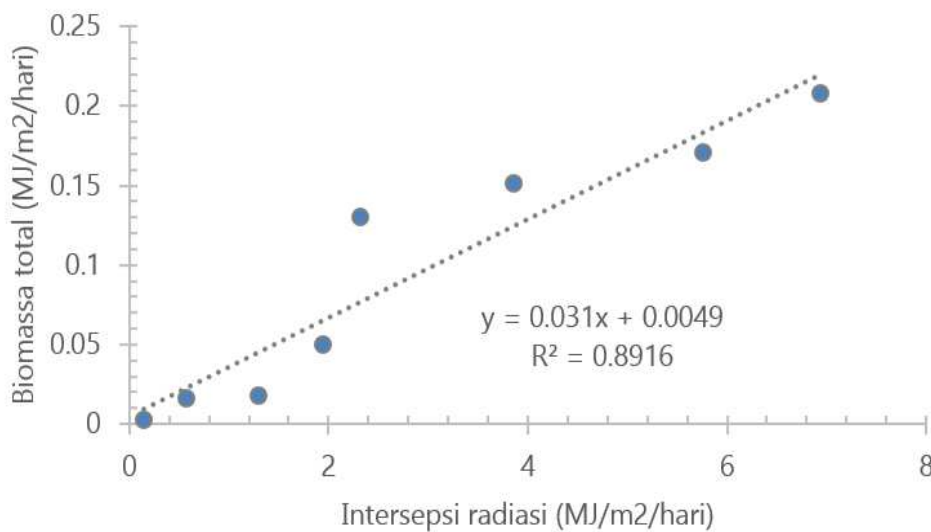
Gambar 5 Pola intersepsi radiasi rata-rata mingguan secara diurnal

Intersepsi radiasi selalu meningkat pada empat minggu awal. Minggu pertama rata-rata nilai intersepsi sebesar 50 W/m². Rata-rata nilai intersepsi kembali meningkat menjadi 100 W/m² pada minggu kedua. Rata-rata nilai intersepsi juga meningkat pada minggu ketiga dan keempat secara berturut-turut yaitu 150 W/m² dan 200 W/m². Minggu kelima dan keenam intersepsi relatif konstan karena nilai radiasi yang relatif konstan dengan rata-rata nilai intersepsi berada pada nilai 300 W/m². Minggu ketujuh nilai intersepsi mengalami penurunan sekitar 30% dari minggu ke-6. Penurunan intersepsi berlanjut ke minggu ke-8 hingga minggu ke-9. Intersepsi kembali meningkat pada

minggu ke-11 hingga panen karena radiasi yang mencapai tanaman kembali meningkat.

Intersepsi Radiasi dan Tanaman

Intersepsi radiasi memiliki korelasi positif dengan biomassa daun suatu tanaman. Pertambahan biomassa daun dalam suatu tanaman akan berdampak pada peningkatan nilai intersepsi radiasi yang diterima oleh tanaman. Pertambahan nilai biomassa daun akan berakibat pada peningkatan tutupan lahan oleh tanaman sehingga nilai radiasi yang diterima tanaman semakin meningkat (Gambar 6).



Gambar 6 Persentase pembentukan biomassa aktual dari nilai intersepsi radiasi

Hasil intersepsi diurnal yang didapat kemudian digunakan untuk penentuan biomassa tanaman. Hasil intersepsi yang diperoleh dari perhitungan digunakan sebagai input energi pembentuk biomassa. Fungsi biomassa terhadap intersepsi mengalami hubungan linear. Biomassa aktual yang terbentuk dari intersepsi memiliki nilai 3.1% dari nilai intersepsi radiasi.

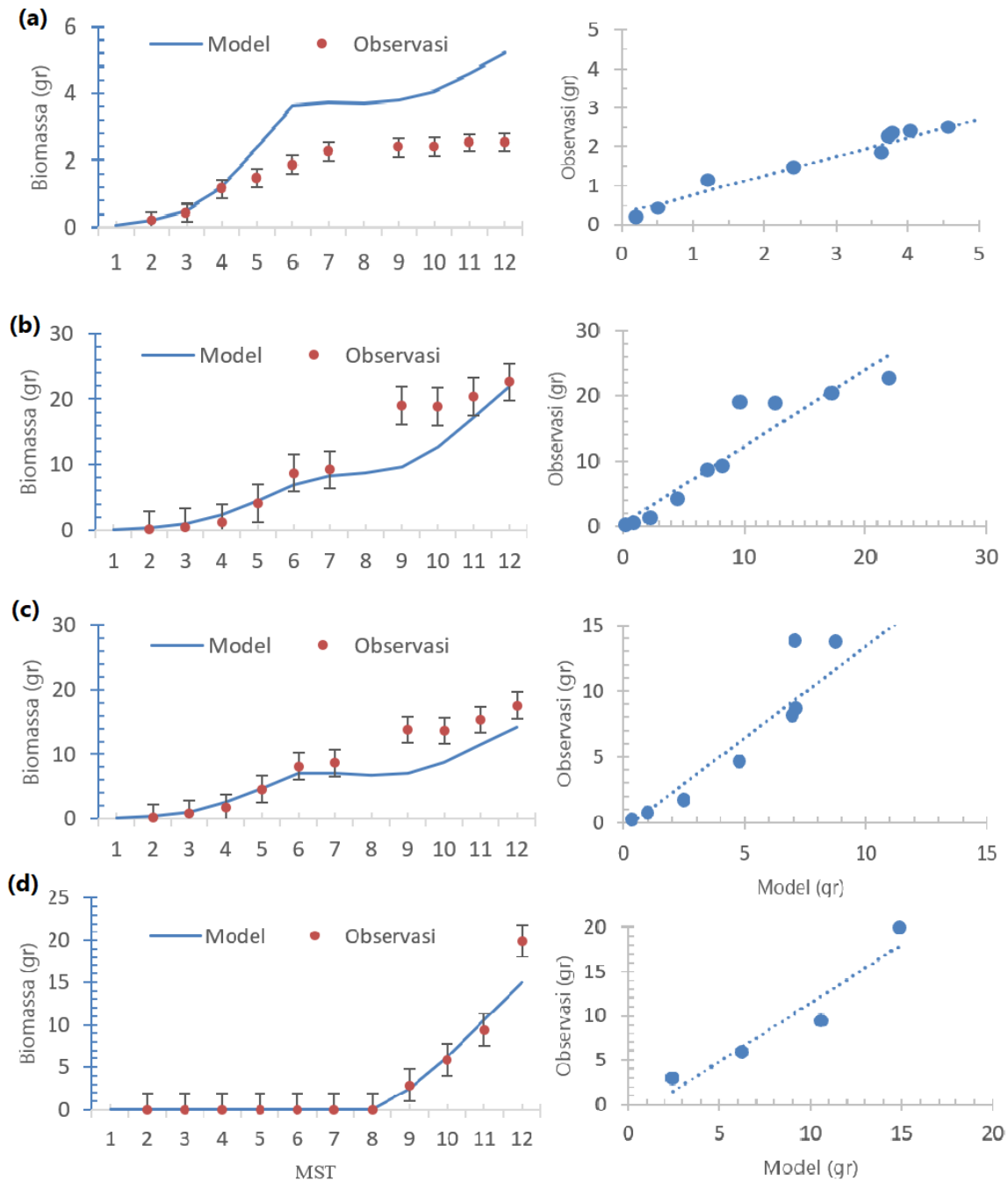
Hasil biomassa aktual digunakan untuk memperoleh nilai respirasi tanaman dengan menggunakan nilai Q₁₀ yang berkorelasi terhadap nilai suhu udara. Hasil respirasi yang diperoleh dijumlahkan dengan nilai biomassa aktual maka didapat nilai biomassa potensial. Rata-rata nilai penambahan biomassa berada pada kisaran 12% dari nilai intersepsi radiasi. Hasil dari fungsi tersebut tersebut digunakan sebagai input model simulasi tanaman kedelai.

Model Simulasi Tanaman Kedelai

Hasil biomassa keluaran model yang diperoleh memiliki pola yang sama dengan pengukuran lapang. Hasil model dapat lebih besar atau lebih kecil dari observasi. Pengujian secara uji plot 1:1 menunjukkan

biomassa keluaran model mempunyai pola yang sama dengan biomassa hasil observasi. Hasil uji *t* menunjukkan bahwa biomassa keluaran model tidak berbeda nyata ($P > 0.05$). Hasil uji *t* menunjukkan bahwa *p-value* sebesar 0.07.

Biomassa yang dihasilkan tanaman kemudian didistribusikan ke beberapa organ. Hasil pengamatan lapang diperoleh nilai persentase penerimaan biomassa dari berbagai organ di empat bagian berdasarkan pola yang dihasilkan dari pengukuran lapang. Bagian pertama biomassa paling besar dialirkan ke daun sebesar 44% kemudian oleh akar sebesar 35% dan sebagian lain dialirkan ke batang. Pertambahan umur tanaman partisi biomassa yang menuju ke akar dan daun semakin menurun sedangkan pada batang justru semakin meningkat. Pertumbuhan tanaman sering dilihat dari pertambahan biomassa dari suatu tanaman. Gambar 7 menunjukkan hasil perbandingan biomassa pada berbagai organ tanaman hasil model dengan hasil observasi. Hasil uji plot 1:1 menunjukkan bahwa nilai keluaran model menyebar disekitar nilai observasi.



Gambar 7 Perbandingan antar biomassa dan plot 1:1 akar (a), batang (b), daun (c), dan polong (d) prediksi model dan observasi

KESIMPULAN

Radiasi intersepsi meningkat secara linear pada fase vegetatif, sedangkan pada fase generatif cenderung tetap. Nilai intersepsi radiasi pada fase generatif mengikuti pola diurnal. Pola intersepsi secara diurnal menunjukkan saat radiasi bernilai lebih besar dari 190 W/m² maka persentase radiasi berada pada kisaran 75%, sedangkan saat radiasi bernilai kurang dari 190 W/m² maka persentase intersepsi berada pada kisaran 85%. Radiasi dapat mencapai bagian daun paling bawah berada pada selang pukul 10.00 hingga 14.00. Hasil intersepsi radiasi digunakan sebagai input energi untuk menentukan biomassa tanaman. Besar

energi untuk pembentukan biomassa adalah sebesar 12% dari nilai intersepsi radiasi. Hasil uji plot 1:1 menunjukkan pola biomassa hasil model mengikuti hasil dari observasi. Hasil uji *t* berpasangan menunjukkan model tidak berbeda nyata dengan nilai observasi dengan *p-value* yaitu 0.07.

DAFTAR PUSTAKA

Bodas-Salcedo, A., Hill, P.G., Furtado, K., Williams, K.D., Field, P.R., Manners, J.C., Hyder, P., Kato, S., 2016. Large Contribution of Supercooled Liquid Clouds to the Solar Radiation Budget of the Southern Ocean. *J. Climate* 29, 4213–4228. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0564.1>

- Chiacchio, M., Wild, M., 2010. Influence of NAO and clouds on long-term seasonal variations of surface solar radiation in Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115. <https://doi.org/10.1029/2009JD012182>
- Dong, S.X., Davies, S.J., Ashton, P.S., Bunyavejchewin, S., Supardi, M.N.N., Kassim, A.R., Tan, S., Moorcroft, P.R., 2012. Variability in solar radiation and temperature explains observed patterns and trends in tree growth rates across four tropical forests. *Proc Biol Sci.* <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1124>
- Escobedo, J.F., Gomes, E.N., Oliveira, A.P., Soares, J., 2009. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy* 86, 299–309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.04.013>
- Handoko, 1994. *Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer untuk Pertanian*. IPB Press, Bogor.
- Hatfield, J.L., Prueger, J.H., 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* 10, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Kirschbaum, M.U.F., 2011. Does Enhanced Photosynthesis Enhance Growth? Lessons Learned from CO₂ Enrichment Studies. *Plant Physiol.* 155, 117. <https://doi.org/10.1104/pp.110.166819>
- Li, R., Zhao, L., Ding, Y., Wang, S., Ji, G., Xiao, Y., Liu, G., Sun, L., 2010. Monthly ratios of PAR to global solar radiation measured at northern Tibetan Plateau, China. *Solar Energy* 84, 964–973. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.03.005>
- Li, T., Hasegawa, T., Yin, X., Zhu, Y., Boote, K., Adam, M., Bregaglio, S., Buis, S., Confalonieri, R., Fumoto, T., Gaydon, D., Marcaida, M., Nakagawa, H., Oriol, P., Ruane, A.C., Ruget, F., Singh, B., Singh, U., Tang, L., Tao, F., Wilkens, P., Yoshida, H., Zhang, Z., Bouman, B., 2014. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. *Global Change Biology* 21, 1328–1341. <https://doi.org/10.1111/gcb.12758>
- Lukito, M., Rohmatiah, A., 2013. Estimasi Biomassa dan Karbon Tanaman Jati Umur 5 Tahun (Kasus Kawasan Hutan Tanaman Jati Unggul Nusantara (JUN) Desa Krowe, Kecamatan Lembeyan Kabupaten Magetan). *Agri-Tek* 14, 1–23.
- Malhi, Y., Doughty, C.E., Goldsmith, G.R., Metcalfe, D.B., Girardin, C.A.J., Marthews, T.R., Aguila-Pasquel, J., Aragão, L.E.O.C., Araujo-Murakami, A., Brando, P., Costa, A.C.L., Silva-Espejo, J.E., Farfán Amézquita, F., Galbraith, D.R., Quesada, C.A., Rocha, W., Salinas-Revilla, N., Silvério, D., Meir, P., Phillips, O.L., 2015. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. *Global Change Biology* 21, 2283–2295. <https://doi.org/10.1111/gcb.12859>
- Monteith, J.L., 1972. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9, 747–766. <https://doi.org/10.2307/2401901>
- Permanasari, I., Kastono, D., 2012. Pertumbuhan Tumpangsari Jagung dan Kedelai Pada Perbedaan Waktu Tanam dan Pemangkasan Jagung. *Jurnal Agroteknologi* 3, 13–20.
- Yu, X., Wu, Z., Jiang, W., Guo, X., 2015. Predicting daily photosynthetically active radiation from global solar radiation in the Contiguous United States. *Energy Conversion and Management* 89, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.038>
- Yuliawan, T., Handoko, I., 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* 33, 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.072>
- Zhang, B., Cao, J., Bai, Y., Zhou, X., Ning, Z., Yang, S., Hu, L., 2013. Effects of rainfall amount and frequency on vegetation growth in a Tibetan alpine meadow. *Climatic Change* 118, 197–212. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0622-2>