

EFISIENSI PENGGUNAAN RADIASI SURYA DAN SEBAGAI DASAR DALAM MODEL JARAK PAGAR

(Radiation Use Efficiency as basis the Crops Modeling of Jatropha)

Gusti Rusmayadi¹, Handoko², Yonny Koesmaryono², Didiek Hadjar Goenadi³

- 1 Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat (Unlam)
- 2 Departemen Geomet FMIPA-IPB
- 3 Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia

E-mail: grusmayadi@yahoo.com.sg

ABSTRACT

Plant growth interpretation in term of accumulated intercepted solar radiation and the radiation use efficiency (RUE) was used to study the growth and analysis of Jatropha (Jatropha curcas L.). A number of crop growth simulation models have been developed using the RUE concept to predict crop growth and yield in various environments. These models generally calculate daily biomass production as the product of the quantity of radiation intercepted and RUE. This research was carried out to quantify the RUE, biomass and leaf area index on Jatropha under rainfall condition, four levels of nitrogen fertilizer (N) and three population densities (P) planted twice. The experiments used a systematic Nelder fan design with 9 spokes and 4 – 5 rings were conducted at SEAMEO-BIOTROP field experiment in 2007. Data from the first experiment were used for parameterization and calibration and the second experiment data for model validation. Values of RUE were determined by nitrogen fertilizer and plant density. Based on parameterization, we found that RUE for prediction above ground biomass accumulation of Jatropha were 0.94 ($r=0.83$) $g MJ^{-1}$ to 1.3 ($r=0.75$) $g MJ^{-1}$. Validation between model prediction and field experimental data showed that model can simulate crop growth and development of Jatropha.

Keywords: biomass, crop modelin, jatropha, radiation use efficiency, crop simulation models

PENDAHULUAN

Di Indonesia selama musim hujan, pengurangan intensitas dan kualitas radiasi surya sangat nyata, diduga pengurangan yang terbesar adalah dari fraksi cahaya tampak yang sangat dibutuhkan oleh tanaman (Chambers, 1978). Di dataran tinggi lebih dari 700 m dpl. faktor pembatasnya radiasi matahari dan pada dataran rendah kurang dari 700 m dpl. adalah ketersediaan air tanah. Tanaman penghasil minyak seperti jarak pagar untuk berproduksi tinggi memerlukan lama penyinaran yang lebih panjang dibandingkan tanaman penghasil karbohidrat.

Radiasi yang diintersepsi secara konstan meningkatkan sejumlah massa tanaman (Purcell, 2006). Radiasi intersepsi merupakan selisih antara radiasi surya datang dengan yang

diteruskan tajuk tanaman. Jadi, dW merupakan integral laju fotosintesis menurut luas daun dan waktu yang dikurangi respirasi (R).

Hubungan linier antara biomasa dan intersepsi radiasi merupakan pengamatan beberapa tanaman pertanian (Gallagher and Biscoe, 1978), spesies pohon (Linder, 1985; Grace *et al.* 1987; Dalla-Tea and Jokela, 1991; Harrington and Fownes, 1995).

Efisiensi penggunaan radiasi surya (RUE) (ϵ , gMJ^{-1}) yang merupakan nisbah akumulasi biomassa tanaman dan intersepsi radiasi telah digunakan secara luas dalam analisis pertumbuhan tanaman dan produksi biomasa sebagai parameter pada beberapa model simulasi tanaman dengan lingkungan berbeda (Monteith, 1977; Gallagher and Biscoe, 1978; Jones and Kiniry, 1986; Muchow *et al.* 1990; Sinclair, 1991; Brisson *et al.* 2003; Kemanian *et al.* 2004).

Pengukuran RUE membantu memahami konsekuensi kekeringan tanaman dan variasinya menurut umur (Muchow dan Davis, 1988). RUE berbeda dalam spesies dan bervariasi di antara spesies tergantung tingkat kejenuhan cahaya pada laju fotosintesis dan kandungan nitrogen daun (Sinclair and Horie, 1989). Selain itu, variabilitas iklim dan defisit air yang terjadi pada kondisi lapang langsung menurunkan RUE akibat penurunan aktifitas fotosintesis (Demetriades-Shah *et al.* 1992; Arkebauer *et al.* 1994).

Penelitian ini dimaksudkan untuk menetapkan efisiensi penggunaan radiasi surya Jarak Pagar, kemudian menggunakannya untuk model simulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman bersama-sama dengan parameter ketersediaan air dan nitrogen.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Percobaan pertama dan kedua dilaksanakan pada lahan percobaan SEAMEO-BIOTROP mulai Maret sampai Nopember 2007.

Bahan dan Alat

Pupuk Urea sesuai perlakuan diberikan $\frac{1}{2}$ dosis saat tanam dan 90 HST. SP-36 dan KCl masing-masing sebesar 20 g/pohon (Hambali *et al.* 2006) diberikan saat tanam. Populasi IP-1P digunakan sebagai benih. Fungisida, furadan, dan insektisida untuk pemeliharaan tanaman. Alat yang digunakan adalah sensor radiasi solarimeter portabel dan kadar air tanah portabel tipe 303 Digital Multimeter.

Metode

Percobaan disusun menurut Nelder *Fan Design* (Mark, 1983). Setiap plot terdiri dari 9 *spoke* dan 4 *ring* (percobaan I) serta 9 *spoke* dan 5 *ring* (percobaan II). Nitrogen yang diberikan

adalah W1N0 (0 g Urea/pohon), W1N1 (20 g Urea/pohon), W1N2 (40 g Urea/pohon), dan W1N3 (60 g Urea/pohon). Setiap *ring* ditempatkan populasi tanaman W1P1 (17.698 tanaman/ha atau 1,7 tanaman/m²), W1P2 (3.246 tanaman/ha atau 0,32 tanaman/m²) dan pada percobaan II, W2P1 (17.698 tanaman/ha atau 1,7 tanaman/m²), W2P2 (3.246 tanaman/ha atau 0,32 tanaman/m²) serta W2P3 (1.314 tanaman/ha atau 0,13 tanaman/m²). Pada percobaan I dan II, masing-masing biji dan bibit ditanam 18 April dan 12 Mei 2007 serta dipanen 22 dan 20 Oktober 2007.

Efisiensi Penggunaan Radiasi

Efisiensi penggunaan radiasi (ε) diperoleh berdasarkan metode akumulasi biomassa (g MJ⁻¹; Monteith, 1977) yang merupakan nisbah akumulasi bahan kering di atas tanah (AGB) (W , gm⁻²) dan intersepsi radiasi (Q_{int} , MJm⁻²) dari proporsi radiasi yang ditransmisikan ke permukaan tanah (I_t) dengan radiasi di atas kanopi (I_0).

$$\varepsilon = W/Q_{\text{int}} \quad \text{dan} \quad Q_{\text{int}} = 1 - (I_t/I_0)Q_s \quad (1)$$

Q_s : radiasi surya di stasiun klimatologi (MJ m⁻²hari⁻¹). Biomassa tanaman diukur bersamaan dengan radiasi yang diintersepsinya (Lindquist *et al.* 2005).

Perdebatan telah terjadi mengenai pengukuran biomassa tanaman dan intersepsi radiasi yang datanya akan digunakan untuk menghitung RUE (Demetriades-Shah *et al.* 1992 & 1994; Monteith, 1994; Arkebauer *et al.* 1994; Kiniry, 1994). Kemudian, Lindquist *et al.* (2005) menunjukkan bahwa walaupun keragaman lebih besar pada RUE yang diukur dengan metode CGR (*crop's growth rate*) dibandingkan dengan metode akumulasi biomassa tanaman, namun kedua metode tersebut tidak berbeda nyata. Dalam penelitian pemodelan ini, nilai RUE dengan metode akumulasi biomassa digunakan sebagai parameter dalam memprediksi pertumbuhan dan hasil tanaman jarak pagar. Dalam simulasi, produksi biomassa diperoleh melalui hasil kali antara intersepsi radiasi surya dengan RUE (Lecoer and Ney, 2003).

Pemodelan Tanaman Jarak

Model simulasi tanaman Jarak Pagar yang disusun terdiri dari empat sub-model dan disusun untuk kondisi iklim di Indonesia. Sub-model tersebut adalah (1) perkembangan, (2) pertumbuhan, (3) neraca air, dan (4) neraca nitrogen. Model ini mempunyai resolusi harian yang memerlukan masukan berupa unsur cuaca harian radiasi surya, suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan curah hujan. Selain itu, model ini juga memerlukan data awal berupa kadar air tanah, sifat fisik tanah dan parameter tanaman.

Submodel perkembangan mensimulasi perkembangan dari tanam sampai panen. Laju perkembangan diperhitungkan berdasarkan konsep *thermal unit* dengan menggunakan data suhu harian dan waktu (Baskerville & Emin, 1969; Andrewartha & Birch, 1973; Allen, 1976;

Zalom *et al.* 1983). Parameter perkembangan tanaman diturunkan dari percobaan lapang.

Submodel pertumbuhan mensimulasi produksi biomassa tanaman berdasarkan efisiensi penggunaan radiasi surya (Monteith, 1977; Gallagher & Biscoe, 1978; Sinclair, 1991), serta faktor ketersediaan air yang dihitung berdasarkan nisbah antara transpirasi aktual dan maksimumnya, serta ketersediaan nitrogen. Dalam submodel ini, respirasi dihitung dari fungsi suhu udara dan biomassa masing-masing organ. Potensi hasil biji jarak ditentukan oleh jumlah biji yang dihitung dari biomassa saat bunga mekar atau *anthesis*.

Submodel neraca air mensimulasi komponen-komponen neraca air yang mencakup kadar air tanah, transpirasi, evaporasi, intersepsi tajuk dan perkolasi. Evapotranspirasi potensial dihitung menurut Penman (1948) dan digunakan untuk menurunkan transpirasi aktual dan evaporasi aktual. Laju perkolasi dihitung menggunakan dengan metode jungkitan (*tipping bucket method*) (Ritchie, 1972).

Submodel neraca nitrogen mensimulasi pertumbuhan tanaman dengan sumber utama nitrogen yang berasal berbagai lapisan tanah. Penyerapan nitrogen oleh tanaman kemudian dibagi ke organ-organ tanaman. Sumber kedua merupakan mobilisasi selama pelayuan (*senescence*). Sesudah pembungaan nitrogen dimobilisasi dari daun dan batang yang merupakan sumber utama untuk akumulasi nitrogen oleh biji. Jika kebutuhan nitrogen tidak dapat dipenuhi melalui mobilisasi, maka tanaman mengambil nitrogen dari tanah tergantung dari kebutuhan, persediaan tanah (NO_3^-), kadar air dan keberadaan akar pada masing-masing lapisan.

Parameterisasi dan Kalibrasi

Parameter dalam model simulasi meliputi parameter cuaca, pertumbuhan, respirasi, tanah, dan nitrogen baik dari referensi maupun dari penurunan percobaan pertama, yang kemudian digunakan dalam kalibrasi model.

Validasi dan tampilan model

Validasi dilakukan secara grafis menurut *trend* waktu dan garis 1:1 (Carberry *et al.* 1992). Model ditulis dengan bahasa Microsof® Visual BASIC™ 6.0.

Pengamatan

Pertumbuhan yang diamati adalah biomassa, ILD dan biji. Contoh destruktif diambil pada fase E, KB, BM, MF dan ditimbang kering oven 60°C selama 48 jam. Dalam fase yang sama pada ke dalaman 0-20 dan 20-40 cm contoh tanah diambil seberat 30 g dan diekstrak dengan 80 ml 2,5 N KCl. Nitrogen akar, batang, daun, biji, amonium dan nitrat dianalisis dengan metode Kjeldhal.

Proporsi radiasi yang diintersepsi diukur setiap minggu sejak dari emergency sampai

dengan tanaman masak secara fisiologis. Pada percobaan pertama, pengukuran proporsi intersepsi radiasi ini pada setiap fase perkembangan tanaman dilakukan setiap jam sejak dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 15.00, kemudian hasil pengukuran tersebut dirata-ratakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Intersepsi dan Efisiensi Penggunaan Radiasi Surya (RUE)

Radiasi surya kumulatif bervariasi mulai 2.1 sampai dengan 14.9 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan kecenderungan menaik. Jumlah radiasi yang diterima tanaman sebesar 2 074.9 MJ m⁻² atau 11.1 MJ m⁻² hari⁻¹. Jumlah radiasi ini mencukupi keperluan rata-rata radiasi tanaman kelompok C3 yang berkisar antara 10.2 – 48.2 MJ m⁻² hari⁻¹ (Kassam, 1976; FAO, 1978). Fluktuasi radiasi surya yang diintersepsi sebelum bunga mekar (BM) atau anthesis lebih besar dan relatif konstan sesudahnya seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.

Error! Not a valid link.

Error! Not a valid link.

Gambar 1. Kondisi radiasi surya dan fraksi intersepsi radiasi surya pada perlakuan pemupukan dan kerapatan populasi

Rata-rata radiasi yang diintersepsi tanaman pada pemupukan nitrogen W1N0, W1N1, W1N2, dan W1N3 secara berurutan adalah 0.45, 0.48, 0.51, dan 0.50%. Fraksi radiasi yang diintersepsi meningkat dengan pemupukan nitrogen sampai dengan W1N2 kemudian menurun lagi pada perlakuan W1N3. Sementara itu, dalam Gambar 1 juga diperlihatkan rata-rata fraksi radiasi yang diintersepsi pada W1P1 dan W1P2 adalah 0.43% dan 0.44%. Pada awal pertumbuhan tanaman fraksi radiasi yang diintersepsi sangat fluktuatif, kemudian relatif konstan setelah memasuki fase bunga mekar (BM).

RUE sangat dipengaruhi oleh tingkat pemberian nitrogen atau nitrogen yang dapat diserap oleh tanaman dengan y (RUE) = 0.0036 x (N tanaman) + 0.0333 dan $R^2 = 0.94$. Peningkatan nilai RUE pada pemberian nitrogen rata-rata mencapai 14 - 38% dibandingkan tanpa pemupukan. Selain itu, kerapatan populasi juga mempengaruhi RUE dengan perbedaan

112

Efisiensi Penggunaan Radiasi Surya

galat baku sebesar 1.06 antara W1P1 dan W1P2. Efisiensi penggunaan radiasi surya membentuk pola nonlinier pada rentang perlakuan W1N0 sampai dengan W1N3 dan juga RUE dipengaruhi oleh defisit air dari kondisi kapasitas lapang (Demetriades-Shah *et al.* 1992).

Pada percobaan lapang, Gallagher & Biscoe (1978) menemukan RUE tanaman gandum yang dipupuk meningkat 10% dibandingkan dengan RUE tanaman gandum yang tidak dipupuk. Pada penelitian ini peningkatan RUE pada selang 14 – 38%. Di samping itu, dalam Tabel 1 juga memperlihatkan nilai efisiensi penggunaan radiasi lebih tinggi pada populasi yang rapat. Hal serupa ditemukan oleh Kemanian *et al.* (2004) pada tanaman Barley walaupun antara populasi yang rapat dan jarang tidak nyata perbedaannya.

Indeks luas daun ternyata berperan dalam menentukan RUE, sehingga semakin besar ILD maka RUE juga meningkat (Tabel 1). Ini terjadi karena ILD menentukan distribusi cahaya yang masuk ke dalam tajuk tanaman. Komponen ILD dan RUE ini selanjutnya menentukan biomassa yang dihasilkan yang menurut prinsip fisiologi tanaman adalah proposional dengan akumulasi radiasi yang diintersepsi oleh tanaman dan juga proposional dengan sejumlah air yang ditranspirasikan selama periode pertumbuhan tanaman (Purcell, 2006).

Tabel 1. Estimasi parameter RUE, Q_{int}, ILD dan KAT rata-rata percobaan I dan II

Perlakuan	RUE			Q _{int} (MJ m ⁻²)	ILD PI	ILD PII	KAT I (mm)	KAT II (mm)
	Estimasi	Galat baku	r					
W1N0	0,58	0,26	0,85	818.4	3.4	4.213	272,4	349,7
W1N1	0,66	0,39	0,76	881.9	5.5	4.646	260,0	350,7
W1N2	0,94	0,45	0,83	871.2	6.1	5.149	272,5	341,7
W1N3	0,90	0,53	0,77	819.1	5.7	5.151	258,6	349,8
W1P1	1,30	0,78	0,75	845.0	8.1	10.731	264.3	350,5
W1P2	0,24	0,14	0,76	861.9	2.3	3.036	275.2	355,3

Validasi Pemodelan Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Jarak Pagar

Data percobaan W1N1–W1N2 untuk parameterisasi dan kalibrasi model. Data percobaan ke-dua perlakuan W2N2 digunakan sebagai validasi model.

Validasi model Jarak Pagar dengan percobaan kedua

Pengujian grafis fase perkembangan disajikan pada Gambar 2 dan menunjukkan model mampu memprediksi periode fase perkembangan tanaman dengan ketelitian R²=0.99.

Error! Not a valid link. (a)

Error! Not a valid link. (b)

Gambar 2. Perbandingan prediksi dan pengukuran (s) (a) dan garis 1:1 (b).

Pengujian grafis AGB dan ILD disajikan dalam Gambar 3 dan 4 dengan ketelitian masing-masing sebesar $R^2=0.97$ dan $R^2=0.96$. Ada kecenderungan bahwa semakin besar ILD, semakin besar pula biomassa yang dihasilkan. ILD berkaitan erat dengan KAT seperti yang diperlihatkan percobaan I dan II (Tabel 1).

Error! Not a valid link. (a)

Error! Not a valid link. (b)

Gambar 3. Perbandingan prediksi dan pengukuran AGB dan biji (a) dan garis 1:1 (b).

Error! Not a valid link. (a)

Error! Not a valid link. (b)

Gambar 4. Perbandingan prediksi dan pengukuran ILD (a) dan garis 1:1 (b).

Nilai ILD optimum adalah ILD yang memberikan produksi biomassa tertinggi dan ditaksir sekitar 5 pada banyak tanaman (Oldeman & Frere, 1982). Hasil penelitian menunjukkan kecenderungan indeks luas daun yang tinggi diikuti oleh RUE yang besar pula.

Pengujian grafis nitrogen tanah dan nitrogen tanaman (AGN) disajikan dalam Gambar 5 dan 6 dengan ketelitian masing-masing sebesar $R^2=0.34$ dan $R^2=0.89$. Model nitrogen

tanggap terhadap pemberian nitrogen, W2N2 sebagai contoh. Kepekaan model terhadap

nitrogen penting karena nitrogen dapat mempengaruhi ILD dan RUE yang berperan dalam fotosintesis (Arkebauer *et al.* 1994).

Error! Not a valid link. (a)

Error! Not a valid link. (b)

Gambar 5. Perbandingan prediksi dan pengukuran N tanah (a) dan garis 1:1 (b).

Error! Not a valid link. (a)

Error! Not a valid link. (b)

Gambar 6. Perbandingan prediksi dan pengukuran AGN (a) dan garis 1:1 (b).

Hasil pengujian secara grafis menunjukkan model dapat memprediksi perkembangan, pertumbuhan, neraca air, nitrogen tanah dan tanaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kemampuan tanaman mengkonversi energi menjadi fotosintat atau efisiensi penggunaan radiasi surya (RUE) yang sangat dipengaruhi oleh pemberian nitrogen dan kerapatan populasi. RUE ini selanjutnya menentukan biomassa yang dihasilkan. Berdasarkan parameterisasi nilai RUE terbaik untuk memprediksi biomassa terletak antara 0.94 – 1.3 g MJ⁻¹.

Saran

Validasi model dengan basis efisiensi penggunaan radiasi surya pada lokasi percobaan telah dilakukan oleh karena itu disarankan pengujian model lebih lanjut pada lingkungan yang

kahat nitrogen, karena ada hubungan yang erat antara efisiensi penggunaan radiasi dengan pemberian nitrogen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada SEAMEO-BIOTROP atas pendanaan penelitian ini melalui DIPA tahun 2007 dan kepada Lab. SEAMEO-BIOTROP, Lab. GEOMET-FMIPA IPB, asisten lapangan dan beberapa mahasiswa Departemen Meteorologi FMIPA-IPB atas bantuan teknis dalam pengelolaan tanaman, pengukuran dan pengambilan contoh tanah dan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Arkebauer TJ, Weiss A, Sinclair TR, Blum A. 1994. In defence of radiation use efficiency: a response to Demetriades-Shah *et al.* (1992). *Agric. For. Meteorol.* 68:221-227.
- Baskerville GL, Emin P. 1969. Rapid Estimation of Heat Accumulation from Maximum and Minimum Temperatures. *Ecology* 50(3):514-517.
- Brisson N. *et al.* 2003. An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.* 18:309-332.
- Chambers RE. 1978. *Klimatologi Pertanian Dasar*. Bogor. Bagian Klimatologi Pertanian, Fak. Pertanian. IPB.
- Carberry PS, Muchow RC, Mccown RL. 1992. A simulation model of kenaf for assisting fibre industry planning in Northern Australia. IV. Analysis of climatic risks. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44:713-730.
- Dalla-Tea F, Jokela EJ. 1991. Needlefall, canopy light interception and productivity of young intensively managed slash and loblolly pine stands. *For.Sci.* 37:1298-1313.
- Demetriades-Shah TH, Fuchs M, Kanemasu ET, Flitcroft. 1992. A Note Caution Concerning the Relationship between Cumulated Intercepted Solar Radiation and Crop Growth. *Agric.Forest Meteorol.* 58:193-207.
- Gallagher JN, Biscoe PV. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 91:47-60.
- Grace JC, Jarvis PG, Norman JM. 1987. Modeling the interception of solar radiant energy in intensively managed stands. *N.Z. J. For. Sci.* 17:193-209.
- Gübjtz GM, Mittelbachh M, Trabic M. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* 67:73-82.
- Hambali E *et al.* 2006. *Jarak Pagar, tanaman penghasil biodiesel*. Jakarta. Penebar Swadaya.
- Handoko. 1994. *Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer untuk Pertanian*. Bogor. Geomet FMIPA-IPB.

- Harrington RA, Fownes JH. 1995. Radiation interception and growth of planted and coppice stands of four fast-growing tropical trees. *J.Appl.Ecol.* 32:1-8.

- Linder S. 1985. Potential and actual production in Australian forest stands. *In* Research for Forest Management. Eds. J.J. Landsberg and W. Parsons. CSIRO, Australia: 11--35.
- Kemanian AR, Stöckle CO, Huggins DR. 2004. Variability of Barley Radiation-Use Efficiency. *Crop Sci.* 44:1662–1672.
- Lecoeur J, Ney B. 2003. Change with time in potential radiation use efficiency in field pea. *Eur. J. Agron.* 19:91–105.
- Lindquist JL *et al.* 2005. Maize Radiation Use Efficiency under Optimal Growth Conditions. *Agron. J.* 97:72–78.
- Monteith JL. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., Ser. B.* 281:277-294.
- Muchow RC, Sinclair TR, Bennett JM. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yields across locations. *Agron. J.* 82:338–342.
- Purcell LC. 2006. Redefining the requirements for light and water in soybean for irrigated and high yielding environments. Department of Crop, Soil and Environmental. Science University of Arkansas.
- Sinclair TR. 1991. Canopy carbon assimilation and crop radiation-use-efficiency dependence on leaf nitrogen content. Di dalam: *Modeling crop photosynthesis from biochemistry to canopy*. Wisconsin: Crop Sci. Society of America, Special Publication No. 19:95±107.
- Sukarin W, Yamada Y, Sakaguchi S. 1987. Characteristics of physic nut, *Jatropha curcas* L. as a new biomass crop in the Tropics. *Jpn. Agric. Res. Quart.* 20(4):302-303.