

**STRATEGI PENGELOLAAN TANAMAN BIOENERGI  
BERDASARKAN MODEL SIMULASI TANAMAN SEBAGAI ANTISIPASI PERUBAHAN IKLIM**

**MANAGEMENT STRATEGY OF BIO-ENERGY CROPS USE CROP  
SIMULATE MODEL AS ANTICIPATED TO CLIMATE CHANGE**

**Gusti Rusmayadi**

Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian UNLAM  
Jl. Jend. A. Yani Km.36 PO Box 1028 Banjarbaru 70714  
e-mail: gustirusmayadi@yahoo.co.id

**ABSTRACT**

*Crop model simulation is quantitative tool in relation between plant growth and environment as climate and soil. For example for crop model simulation application is about global climate change because of green-house effect. The model has daily resolution and consist of 4 sub models, that are development, growth, water balance and nitrogen. Model input is initialization, parameter and external variable. The external variable is nitrogen and meteorology elements that are rainfall, radiation, air temperature, relative humidity and wind velocity, theother side the output is development stage, LAI, total biomass, and seed weight. Besides that, the model also simulates nitrogen in soil and nitrogen crop absorption. The accuracy test shows that precise model to predict development stage and seed is 93% and 73%, respectively. The model has been applicator to *Jatropha* production predicts in crop management like time of sowing, nitrogen fertilizer, radiation depletion effect and climate change effect.*

**Key word: model, simulation, climate change**

**ABSTRAK**

Model simulasi tanaman adalah alat analisis kuantitatif dalam hubungan antara pertumbuhan tanaman dengan lingkungan tumbuh seperti iklim dan tanah. Salah satu contoh penting dalam aplikasi mode simulasi tanaman jarak pagar ini adalah sehubungan dengan *issue* perubahan iklim global karena pengaruh gas-gas rumah kaca. Model yang disusun mempunyai resolusi harian dan terdiri dari empat sub model, yaitu perkembangan, pertumbuhan, neraca air, dan nitrogen. Masukan model adalah inisialisasi, parameter dan peubah luar yaitu nitrogen dan unsur cuaca yang meliputi curah hujan, radiasi surya, suhu udara, kelembapan udara dan kecepatan angin, sedangkan keluarannya di antaranya fase perkembangan, ILD, biomassa total, dan berat biji. Selain itu, model juga mensimulasi N pada tanah dan serapan N tanaman. Pengujian akurasi model menunjukkan ketepatan dalam menduga fase perkembangan tanaman dan hasil biji jarak pagar masing-masing sebesar 93 % dan 79%. Model simulasi tanaman telah diterapkan terhadap produksi Jarak Pagar dalam beberapa manajemen tanaman seperti penentuan waktu tanam, pengaruh pemupukan nitrogen, dan pengaruh pengurangan radiasi surya serta pengaruh perubahan iklim.

**Kata kunci: model, simulasi, perubahan iklim**

**PENDAHULUAN**

Model simulasi tanaman adalah alat analisis kuantitatif dalam hubungan antara pertumbuhan tanaman dengan lingkungan tumbuh seperti iklim dan tanah. Model membantu paling sedikit pada tiga hal, yaitu pertama pemahaman proses pengaruh lingkungan, khususnya variasi unsur-unsur cuaca, terhadap tanaman, kedua untuk keperluan prediksi dan ketiga untuk keperluan manajemen. Model simulasi yang handal (*best fitted*) dapat digunakan untuk mengurangi jumlah percobaan lapang yang memerlukan biaya dan waktu yang banyak. Jika pemahaman mekanisme proses yang terjadi selama pertumbuhan tanaman yang rumit dapat dijelaskan

oleh model, maka keputusan-keputusan taktis dapat dilakukan, seperti penentuan waktu tanam yang optimum, waktu dan jumlah pemupukan yang harus diberikan.

Salah satu contoh dalam aplikasi mode simulasi tanaman jarak pagar adalah sehubungan dengan *issue* perubahan iklim karena pengaruh pemanasan global akibat peningkatan gas-gas rumah kaca (*green house effect*). Pemanasan global berdampak pada perilaku iklim seperti peningkatan atau penurunan jumlah curah hujan, peningkatan suhu udara, jumlah radiasi yang diterima oleh tanaman, sehingga akan berdampak besar terhadap pertanian seperti perubahan tindak agronomis pola tanam, lama musim pertumbuhan dan hasilnya.

Tanpa analisis kuantitatif yang dapat menjelaskan interaksi iklim dan pertanian, prediksi dan antisipasi terhadap perubahan iklim tersebut akan sukar dilakukan.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Percobaan pertama (W1) dan kedua (W2) yang datanya digunakan dalam pemodelan telah dilaksanakan pada lahan percobaan SEAMEO-BIOTROP selama bulan Maret sampai Nopember tahun 2007.

### Data Percobaan

Percobaan pertama adalah untuk parameterisasi, masukan model, kalibrasi. Percobaan kedua dilakukan dalam kerangka validasi model selanjutnya.

### Model Simulasi Tanaman

Model yang disusun mempunyai resolusi harian dan terdiri dari empat sub model, yaitu perkembangan, pertumbuhan, neraca air, dan nitrogen. Masukan model adalah inisialisasi, parameter dan peubah luar yaitu nitrogen dan unsur cuaca yang meliputi curah hujan, radiasi surya, suhu udara, kelembapan udara dan kecepatan angin, sedangkan keluarannya di antaranya fase perkembangan, ILD, biomassa total, dan berat biji. Selain itu, model juga mensimulasi N pada tanah dan serapan N tanaman. Kemudian tahapan parameterisasi, kalibrasi dan validasi model dilakukan sebelum aplikasi model.

#### 1. Submodel Perkembangan

Jarak pagar adalah tanaman netral (ICRAF, 2003) sehingga laju perkembangan dan kejadian fenologinya didekati dengan konsep *degree-day* atau *heat unit* (Baskerville & Emin, 1969; Andrewartha & Birch, 1973; Allen, 1976; Zalom *et al.* 1983). *Heat unit* tidak dipengaruhi oleh perbedaan lokasi dan waktu tanam (Koemaryono *et al.*, 2002). Laju perkembangan tanaman terjadi bila suhu rata-rata harian melebihi suhu dasar. Kejadian fenologi dihitung mulai semai sampai masak fisiologis dan diberi skala 0 - 1, yang dibagi menjadi lima kejadian yaitu semai, S ( $s = 0$ ), tanam, T ( $s = 0.25$ ), kuncup bunga, KB ( $s = 0.50$ ), bunga mekar, BM ( $s = 0.75$ ) dan masak fisiologis, MF ( $s = 1.00$ ). Fase perkembangan ( $s$ ) kejadian fenologi tersebut dihitung dengan persamaan berikut:

$$HU = \sum_{i=1}^n (T - T_0) \quad \dots\dots\dots(1)$$

#### 2. Submodel Pertumbuhan

Submodel pertumbuhan mensimulasi aliran biomassa aktual (GDMA) hasil fotosintesis ke organ tanaman seperti daun ( $LW$ ), batang ( $SW$ ), akar ( $RW$ ), dan biji ( $GW$ ) serta kehilangannya berupa respirasi ( $R_x$ ), dan perkembangan luas daun untuk menduga ILD.

Produksi biomassa potensial harian dihitung berdasarkan efisiensi penggunaan radiasi surya yang diintersepsi tajuk tanaman. Nilai RUE tanaman jarak pagar ditentukan berdasarkan percobaan pertama sebesar  $\varepsilon = 0.0013 \text{ kg MJ}^{-1}$  (Rusmayadi *et al.* 2009).

$$GDM_p = \varepsilon (1 - e^{-kILD}) Q_s \quad \dots\dots\dots(2)$$

$GDM_p$  = produksi biomassa potensial ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ )

Perhitungan faktor ketersediaan air ( $f_w$ ) dan produksi biomassa aktual ( $GDM_a$ ) adalah sbb:

$$f_w = \frac{T_a}{T_m} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$GDM_a = f_w \cdot GDM_p \quad \dots\dots\dots(4)$$

$GDM_a$  dalam  $\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

Dalam model, biomassa aktual dibagi antara daun, batang, akar, dan biji yang perbandingannya tergantung pada fase perkembangan tanaman ( $s$ ). Sebagian biomassa masing-masing organ akan berkurang melalui respirasi pertumbuhan ( $R_g$ ) dan respirasi pemeliharaan ( $R_m$ ) yang dihitung berdasarkan suhu udara dan massa masing-masing organ (McCree, 1970). Alokasi proporsi biomassa masing-masing organ ( $\eta_x$ ) dihitung berdasarkan fungsi fase perkembangan tanaman (Handoko, 1994). Pada awal pertumbuhan, produksi biomassa hanya dialokasikan ke daun, batang dan akar dengan alokasi terbanyak pada daun. Sampai pembungaan, alokasi biomassa ke daun dan akar berkurang sedangkan alokasi ke batang bertambah dengan fase perkembangan tanaman. Setelah fase pembungaan, seluruh produksi biomassa dialokasikan ke biji.

#### 3. Submodel Neraca Air

Komponen neraca air meliputi curah hujan ( $CH$ ), intersepsi tajuk ( $I_c$ ), infiltrasi ( $I_s$ ), perkolasi ( $P_c$ ), limpasan permukaan ( $R_o$ ), kadar air tanah ( $\theta$ ), evaporasi ( $E_s$ ) dan transpirasi ( $T_a$ ). Model ini memerlukan masukan unsur-unsur cuaca harian, yaitu suhu ( $T$ ), kelembapan ( $RH$ ), radiasi surya ( $Q_s$ ), kecepatan angin ( $Angin$ ) dan curah hujan. Peubah tanaman ILD juga diperlukan yang disimulasi pada submodel pertumbuhan. Parameter lainnya adalah kapasitas lapang ( $F_c$ ), titik layu permanen ( $W_p$ ) dan penguapan Ritchie (1972).

Hujan merupakan sumber air (*source*) dari model. Dalam model, hujan jatuh pada permukaan tajuk tanaman, dan sebagian air tertahan kemudian sisanya jatuh ke permukaan tanah. Air diintersepsi kemudian akan menguap ke atmosfer. Sisanya yang sampai ke permukaan tanah, akan diserap tanah berupa infiltrasi. Model ini berasumsi tidak terjadi limpasan permukaan (*runoff*) sehingga aplikasinya ditujukan pada tanah – tanah datar.

Dalam tanah, air menuju ke lapisan yang lebih bawah (perkolasi) apabila kandungan air pada lapisan tersebut melebihi kapasitas lapang. Dalam model, proses tersebut akan terjadi sampai lapisan tanah terbawah dan perhitungannya menggunakan metode jungkitan. Air yang keluar dari lapisan terbawah ini tidak dapat dimanfaatkan tanaman dan hilang berupa drainase.

#### 4. Submodel Nitrogen

Submodel nitrogen dalam model ini mengadopsi submodel nitrogen yang telah digunakan untuk tanaman gandum (Handoko, 1992). Selama pertumbuhan tanaman, sumber utama nitrogen dari berbagai lapisan tanah dan dibagi ke organ-organ tanaman ( $W_x$ ). Sumber kedua adalah mobilisasi selama pelayuan. Sesudah pembungaan, nitrogen dimobilisasi dari daun (NL) dan batang (NS) yang merupakan sumber utama akumulasi nitrogen oleh biji (NG). Jika kebutuhan nitrogen tidak dipenuhi oleh mobilisasi, maka tanaman mengambil nitrogen dari tanah (Nup) tergantung kebutuhan, persediaan tanah ( $NO_3^-$ ), kadar air (Swc) dan bobot akar (RW) pada masing-masing lapisan (m).

Proses nitrogen dalam tanah dipengaruhi oleh amonifikasi, nitrifikasi dan pencucian. Selama amonifikasi, nitrogen organik dikonversi menjadi  $NH_4^+$  kemudian menjadi  $NO_3^-$  dalam nitrifikasi. Ada dua tahap untuk perhitungannya secara terpisah, yaitu laju amonifikasi dan nitrifikasi. Sejumlah perhitungan dihubungkan dengan suhu di dalam profil tanah. Perhitungan didasarkan pada suhu udara (T).

#### Strategi Ansipasi dengan Skenario Perubahan Iklim

Dalam penanaman jarak pada dataran tinggi sekitar 600 m dpl. diskenario terjadi pengurangan intensitas radiasi sebesar 20% dari tempat percobaan pertama dan kedua dilakukan, berdasarkan pendekatan yang digunakan oleh Bey & Las (1991). Kemudian, penurunan unsur iklim suhu udara menurut ketinggian tempat menggunakan pendekatan Braak (1929) dan peningkatan curah hujan sebesar 10%. Tindak agronomis yang dilakukan dengan pemupukan  $130 \text{ kg Urea ha}^{-1}$ .

Untuk mengetahui kemungkinan perubahan iklim dapat mempengaruhi perbedaan dalam dampak yang menyebabkan tingkat ketidakpastian perubahan iklim, terutama pada skala regional, kepekaan percobaan-percobaan mempunyai peran penting. Oleh karena itu, dalam perubahan iklim dapat menerapkan  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ , dan  $3^\circ$  peningkatan atau penurunan pada suhu udara; dan atau 5%, 10%, 15% peningkatan atau penurunan pada curah hujan dan seterusnya. Ini dapat membangkitkan seperangkat data yang dapat digunakan dalam model kuantitatif seperti model tanaman dan hidrologi (Risbey, 1998; Mehrotra, 1999). Di atmosfer secara meteorologis peningkatan curah hujan yang diiringi oleh suhu yang tinggi dapat saja terjadi. Dalam skenario di sini hanya dicontohkan pada kejadian penurunan curah hujan yang diiringi oleh peningkatan suhu udara. Dalam simulasi ini dibuat tiga skenario berdasarkan pendekatan di atas dengan mengkombinasikan antara curah hujan dan suhu udara, yaitu skenario I (curah hujan berkurang 5% dan suhu naik  $1^\circ\text{C}$ ), skenario II (curah hujan berkurang 10% dan suhu naik  $2^\circ\text{C}$ ) dan skenario III (curah hujan berkurang 15% dan suhu naik  $3^\circ\text{C}$ ).

Strategi manajemen yang diterapkan dengan memanfaatkan model simulasi tanaman adalah (1) penentuan waktu tanam, (2) pengaruh pengurangan radiasi surya, dan (3) pengaruh perubahan iklim

#### Pengujian Akurasi Model

Sebelum tahap aplikasi model pada kajian perubahan iklim dilakukan, maka model diuji ketepatannya agar akurasi prediksi model tidak berbeda jauh dengan percobaan lapang dengan pendekatan (Handoko, 2005).

$$H = 100 - E, \quad E < 100 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$= 0, \quad E \geq 100$$

dengan,

$$E = |(M - D) / D| \times 100\%$$

H : akurasi model (%)

E : galat prediksi (%)

M : keluaran model

D : data pengukuran

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Akurasi model

Berdasarkan Tabel 1 terlihat pengujian akurasi model menunjukkan ketepatan dalam menduga fase perkembangan tanaman dan hasil biji tanaman jarak pagar masing-masing sebesar 93 % dan 79%.

Tabel 1. Pengujian ketepatan prediksi model dengan pengukuran lapang  
Table 1. Accuracy test between model prediction and field observation

Peubah	Model	Pengukuran	Ketepatan (%)
1. Fase Perkembangan (s, hari)			
Percobaan I (W1)			
S (semai) – E (emergency)	11	10	90
E – KB (kuncup bunga)	81	70	84
KB – BM (bunga mekar)	26	27	96
BM – MF (masak fisiologis)	92	80	85
Rata-rata I			91
Percobaan II (W2)			
S – E	11	10	90
E – KB	83	80	96
KB – BM	27	27	100
BM – MF	70	72	97
Rata-rata II			96
Rata-rata percobaan fase perkembangan tanaman I dan II			93
2. Biji (t ha <sup>-1</sup> )			
W2N0	0.16	0.12	66
W2N1	0.16	0.20	75
W2N2	0.35	0.48	63
W2N3	0.34	0.30	85
W2P1	0.69	0.67	96
W2P2	0.08	0.06	73
W2P3	0.02	0.09	94
			79
Rata-rata Biji			86.0

Ket.: W2 (percobaan tanam ke-2), N0, N1, N2 dan N3 adalah pemupukan urea (N) yaitu W1N0 (0 g Urea per pohon), W1N1 (20 g Urea per pohon), W1N2 (40 g Urea per pohon), dan W1N3 (60 g Urea per pohon), serta dalam setiap *ring* ditempatkan populasi tanaman (P) yaitu W1P1 (17.698 tanaman per hektar atau 1.7 tanaman per m<sup>2</sup>) dan W1P2 (3.246 tanaman per hektar atau 0,32 tanaman per m<sup>2</sup>).

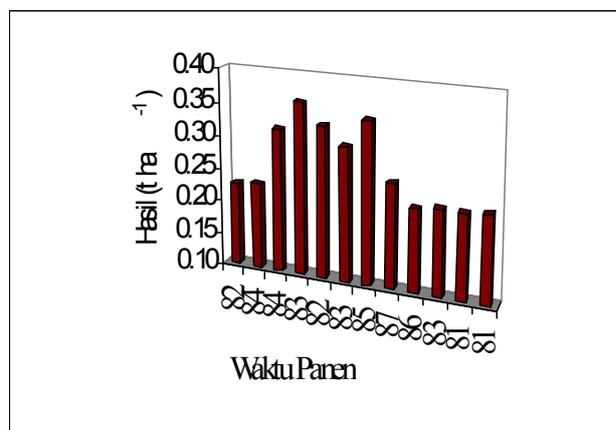
## 2. Aplikasi model terhadap perubahan iklim

### 2.1. Penentuan Waktu Tanam terhadap Produksi Jarak Pagar

Jarak pagar merupakan tanaman tahunan dan waktu tanam pada tahun pertama juga menentukan pertumbuhan dan perkembangan tahun berikutnya. Variasi hasil berdasarkan simulasi waktu tanam setiap tanggal 14 setiap bulannya dengan pemupukan sebesar 130 kg Urea ha<sup>-1</sup> (W2N2) disajikan dalam gambar 1.

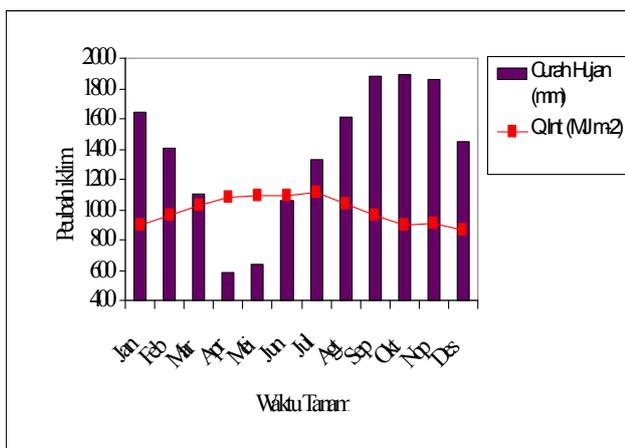
Hasil yang diperoleh merupakan simulasi selama 194 - 200 hari umur tanam. Hasil biji berkisar antara 0.23 - 0.36 ton ha<sup>-1</sup>. Potensi hasil jarak pagar IP-1P sebesar 0.25 - 0.30 ton pada tahun pertama (Puslitbangbun, 2006). Hasil tertinggi di atas 0.3 ton akan diperoleh jika penanaman dilakukan pada rentang waktu bulan Maret sampai bulan Juli. Untuk panen berikutnya sangat ditentukan oleh fase pemasakan buah (MF) dari bunga mekar (BM). Waktu yang diperlukan sejak fase BM – MF berkisar

antara 81 – 87 hari, sedangkan pembungaan pada fase kuncup bunga (KB) – (BM) berkisar antara 27 – 30 hari.



Gambar 1. Variasi hasil biji jarak pagar yang ditanam menurut bulan kalender di Bogor-Jawa Barat.  
Figure 1. *Jatropha* seed that planted according Julian date in Bogor-Jawa Barat.

Dalam gambar 2 ditunjukkan peran dari radiasi yang diintersepsi terhadap hasil jarak. Jumlah radiasi yang diintersepsi pada waktu tanam bulan Maret sampai Juli terlihat lebih besar dibandingkan dengan bulan-bulan lainnya dengan kisaran antara 1.028.9 – 1.118.6 MJm<sup>-2</sup> dan selama simulasi jumlah curah hujan yang diterima berkisar masing-masing periode tanam berkisar antara 580.6 – 1.896.3 mm. Jumlah air yang dibutuhkan tanaman jarak selama setahun berkisar antara 450 – 2.380 mm (Jones & Miller, 1992), antara 300 – 1.000 mm/tahun (Heller, 1996), minimal 250 mm dan pertumbuhan terbaik antara 900 – 1.200 mm (Makkar & Becker, 1997), dan 500 – 1.500 mm (Wahid, 2006).



Gambar 2. Radiasi yang diintersepsi dan curah hujan yang diterima selama periode pertumbuhan tanaman.

Figure 2. Interception radiation and rainfall that accepted as long as plant growth

## 2.2. Pengaruh Pengurangan Radiasi Surya terhadap Produksi Jarak Pagar

Jarak pagar untuk berproduksi optimal memerlukan syarat tumbuh tertentu seperti tinggi tempat kurang dari 500 m dpl. (dataran rendah), curah hujan kurang dari 1 000 mm/tahun, suhu lebih dari 20°C, tanah berpasir, pH 5.5 – 6.5. Pada kondisi tertentu seperti pada ketinggian 600 m dpl dengan cahaya matahari berlimpah dan suhu lebih dari 20°C, tanaman jarak pagar dapat berproduksi dengan baik namun kandungan minyak yang lebih rendah dibandingkan dengan di dataran rendah (Mahmud, 2006).

Secara umum tanaman penghasil minyak memerlukan lingkungan dengan cahaya yang cukup. Pada lingkungan seperti dataran tinggi lebih dari 700 m dpl yang menjadi pembatas adalah radiasi matahari karena banyak awan dan berkabut, sedang di dataran rendah kurang dari 700 m dpl dibatasi ketersediaan air tanah. Iklim yang lebih kering akan meningkatkan kadar minyak dalam biji, namun masa kekeringan berkepanjangan akan

menyebabkan tanaman jarak pagar akan menggugurkan daunnya (*stagnan*) untuk menghindari kematian tanaman (Effendi, 2005).

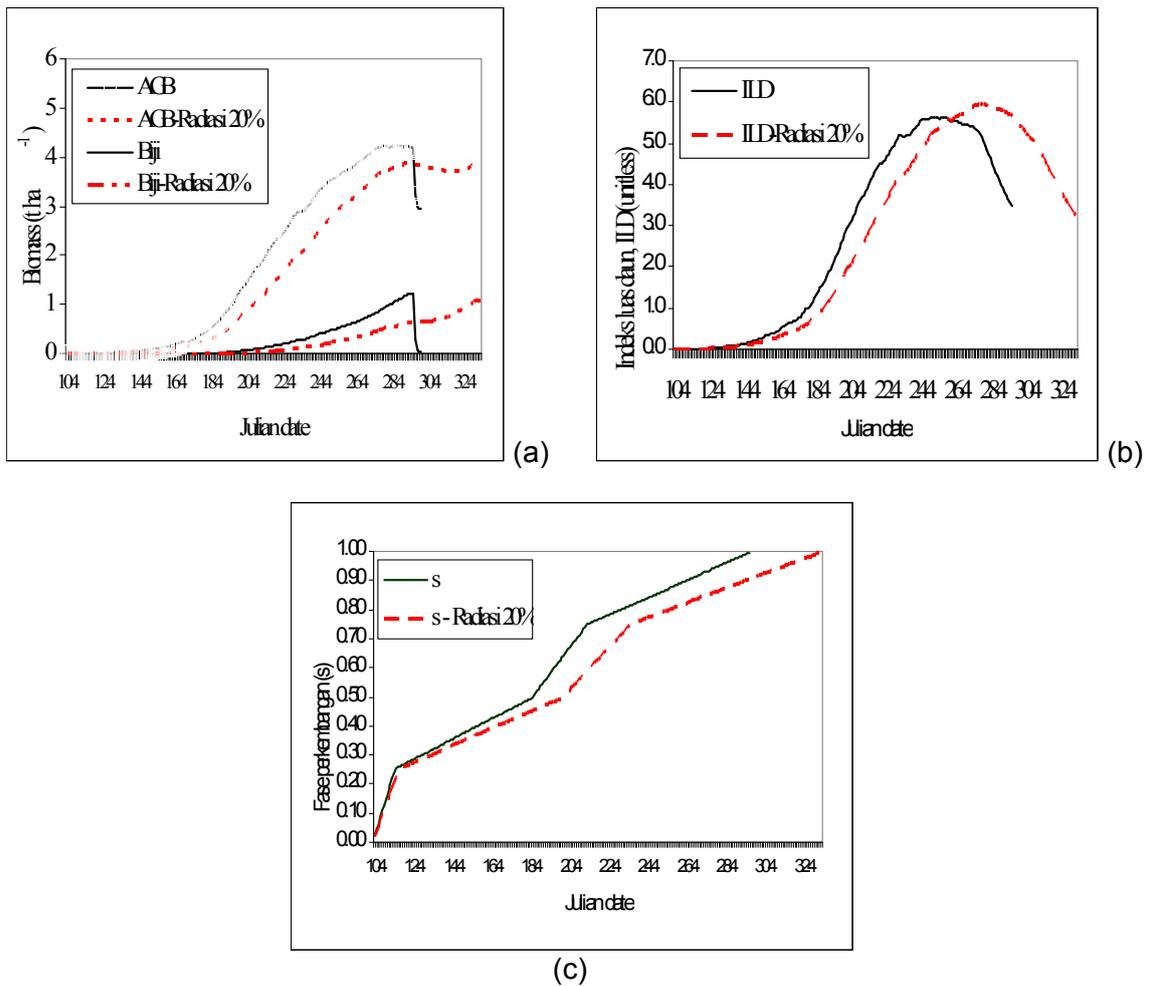
Pada dataran tinggi suhu menjadi lebih rendah yang berakibat pada umur tanaman jarak mencapai 231 hari (Gambar 3c). Umur yang lama ternyata tidak berdampak terhadap besar biomassa yang dihasilkan (sekitar 3.904 t ha<sup>-1</sup>) jika dibandingkan dengan hasil tanaman jarak pada ketinggian < 500 m dpl (4.226 t ha<sup>-1</sup>) (Gambar 3a). Ini menunjukkan bahwa tanaman jarak memerlukan sejumlah radiasi surya untuk pertumbuhan dan perkembangan terbaiknya. Hal ini juga mengisyaratkan bahwa untuk pengembangan tanaman jarak ke wilayah timur Indonesia.

Pemenuhan kebutuhan evapotranspirasi aktual tempat masing-masing tanaman jarak tumbuh sebesar 638.9 mm atau 3.3 mm hari<sup>-1</sup> dan 394.3 mm atau 1.7 mm hari<sup>-1</sup> (Gambar 4a,b). Kebutuhan air sebesar itu menunjukkan bahwa tanaman jarak relatif tahan terhadap kekeringan.

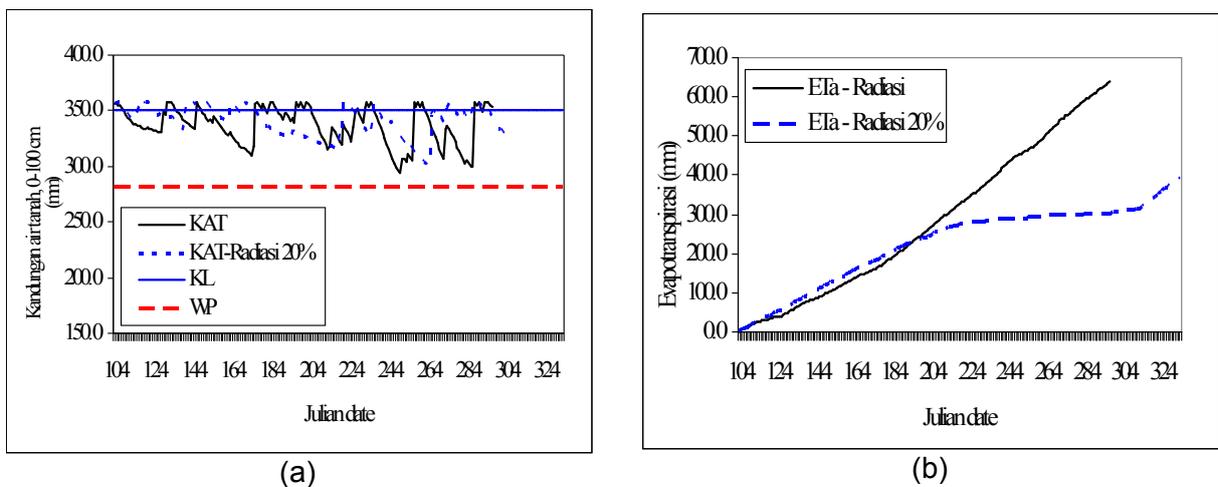
## 2.3. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Jarak Pagar

Telah diketahui bahwa di samping faktor genetik, pertumbuhan dan perkembangan tanaman jarak pagar sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti yang dikemukakan oleh Makkar & Becker (1997).

Dampak kekeringan pada tanaman jarak menurut Rivaie (2007) dapat dilihat pada KIJP di Asembagus, Situbondo, Jawa Timur, yang terletak di daerah yang beriklim kering dengan curah hujan ± 1 100 mm/th. Di kebun ini pertumbuhan tanaman selama musim kemarau (Juni-Agustus 2006) cukup terganggu, tanaman secara keseluruhan terlihat layu. Meskipun kebun ini sudah mendapat pengairan secukupnya, tetapi masih belum mampu mengalahkan pengaruh intensitas radiasi surya yang tinggi disertai angin yang kencang selama beberapa bulan musim kemarau. Pengaruh yang kuat kedua faktor iklim tersebut mengakibatkan kehilangan air yang tinggi, baik melalui stomata daun maupun dari permukaan tanah langsung, yang berakibat pada defisit air yang cukup besar pada daerah perakaran tanaman. Pada tanaman yang baru dipanen, daunnya gugur disertai dengan percabangan yang agak rusak. Pada kondisi demikian tentu sangat sulit diharapkan tanaman dapat segera bertunas kembali sekaligus menghasilkan pembungaan. Selain karena kekurangan air, kondisi di atas diduga juga disebabkan karena banyak unsur-unsur hara yang terkuras oleh panen besar sebelumnya.



Gambar 3. Simulasi respon tanaman jarak terhadap pengurangan radiasi surya sebesar 20% terhadap AGB dan biji (a), ILD (b) dan fase perkembangan, s (c).  
 Figure 3. Simulation of *jatropha* responds to radiation depletion about 20% to AGB and seed (a), LAI (b) and development stage, s (c).



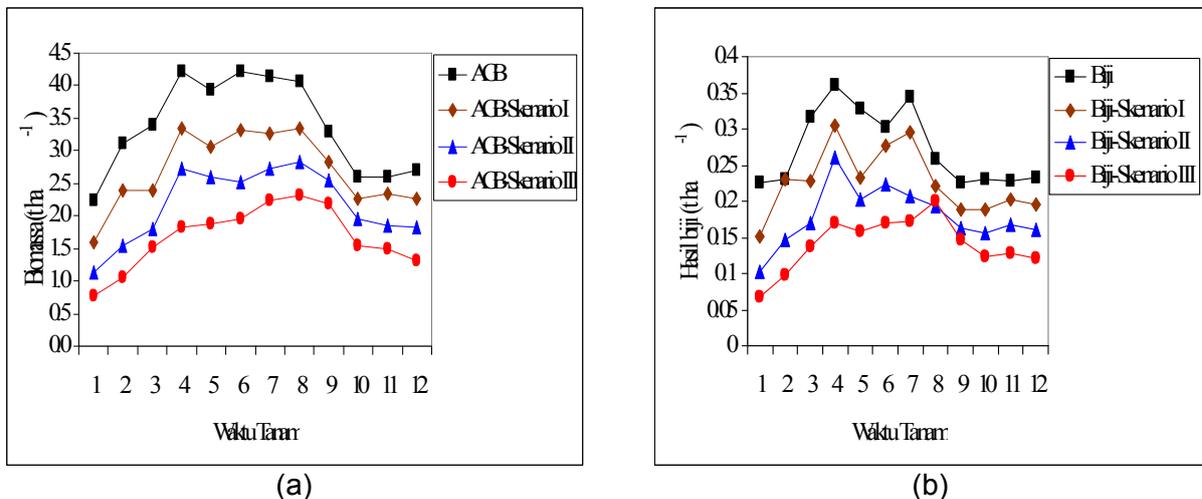
Gambar 4. Simulasi respon tanaman jarak akibat pengurangan radiasi surya sebesar 20% terhadap KAT (a) dan ETa (b).  
 Figure 4. Simulation of *jatropha* responds to radiation depletion about 20% to SWC (a) and ETa (b).

Dalam simulasi ini dibuat tiga skenario berdasarkan pendekatan di atas dengan mengkombinasikan antara curah hujan dan suhu udara, yaitu skenario I (curah hujan berkurang 5% dan suhu naik 1°C), skenario II (curah hujan berkurang 10% dan suhu naik 2°C) dan skenario III (curah hujan berkurang 15% dan suhu naik 3°C). Tindak agronomis yang dilakukan adalah dengan pemupukan 130 kg Urea ha<sup>-1</sup>. Hasil simulasi masing-masing skenario terhadap biomassa dan biji ditunjukkan dalam gambar 5.

Penurunan biomassa jika terjadi pengurangan curah hujan peningkatan suhu udara dari kondisi sekarang masing-masing sebesar 20% pada skenario I, 44% pada skenario II dan 78% pada skenario III. Sementara itu, penurunan hasil biji masing-masing sebesar 17%, 41% dan 74%.

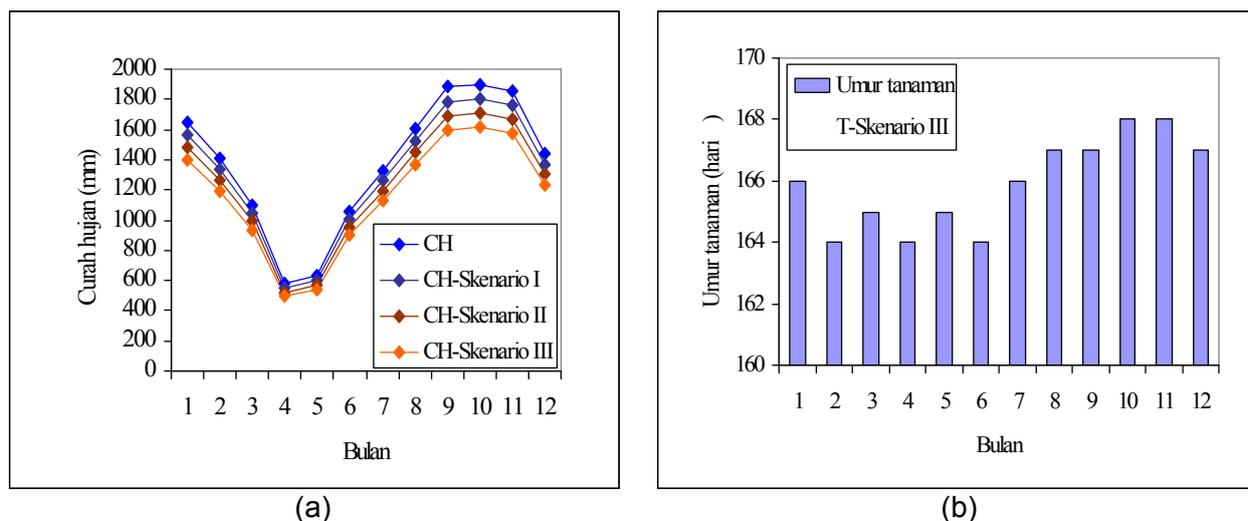
Pada skenario pengurangan curah hujan sampai 15%, air hujan masih mencukupi (di atas 500 mm) untuk pertumbuhan tanaman jarak, namun peningkatan suhu udara sampai dengan 3°C, mengakibatkan umur tanaman menjadi lebih pendek (Gambar 6a,b). Umur tanaman yang lebih singkat dan suhu yang tinggi menyebabkan fotosintat yang ditumpuk menjadi berkurang sehingga berdampak pada pengurangan biomassa dan biji (Gambar 3a,b).

Pengujian kehandalan model telah dilakukan dan menunjukkan bahwa ketepatan prediksi model terhadap percobaan lapang baik untuk fase perkembangan tanaman masing-masing sekitar 93 dan 79%, sehingga aplikasi model dilakukan dengan strategi variasi waktu tanam, pengurangan radiasi surya, dan dampak perubahan iklim. Waktu tanam yang terbaik untuk penanaman pada tahun pertama adalah antara bulan Maret sampai dengan Juli. Tanaman penghasil minyak memerlukan radiasi surya yang lebih banyak dibandingkan dengan tanaman penghasil karbohidrat, sehingga jika terjadi pengurangan radiasi surya, maka terjadi pengurangan biomassa dan hasil biji serta umur tanaman semakin panjang. Skenario pengurangan curah hujan di Bogor-Jawa Barat sampai 15% masih mencukupi untuk pertumbuhan jarak, namun peningkatan suhu sampai 3°C menyebabkan umur tanaman yang lebih singkat dan berdampak pada pengurangan biomassa dan biji.



Gambar 5. Simulasi biomassa (a) dan hasil biji jarak di Bogor-Jawa Barat yang ditanam tanggal 14 setiap bulan, pada kondisi curah hujan sekarang dan akan datang dengan 3 skenario.

Figure 5. Biomass simulation (a) and *Jatropha's* seed in Bogor-Jawa Barat that planted every month 14 calendar day, with real condition rainfall and 3 scenarios generate rainfall



Gambar 6. Skenario pengurangan curah hujan dan peningkatan suhu udara (skenario III)-umur tanaman.  
Figure 6. Rainfall depletion scenarios and temperature increasing (III's scenarios) – plant age.

## SIMPULAN

1. Aplikasi model merupakan salah satu bentuk manfaat pemodelan dalam penyusunan strategi pengelolaan tanaman sebagai salah satu bentuk adaptasi terhadap perubahan iklim.
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanaman jarak juga memerlukan waktu tanaman optimum, dosis pemupukan yang tepat, intensitas radiasi surya yang cukup, ketersediaan air dan suhu udara yang optimal untuk pertumbuhan dan perkembangannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen JC. 1976. A modified sine wave method for calculating degree-days. *Environ Entomol.* 5(3):388–396.
- Andrewartha HG. & Birch LC. 1973. The History of Insect Ecology. Di dalam: *History of Entomology*, eds. R.F. Smith, T.E. Mittler and C.N. Smith, 229-266. *Annu Rev Inc.* Palo Alto, CA.
- Baskerville GL & Emin P. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecol.* 50(3):514–517.
- Bassetti P & Westgate ME. 1993. Water deficit affects receptivity of maize silks. *Crop Sci.* 33:279–282.
- Bey A & Las I. 1991. *Strategi Pendekatan Iklim dalam Usaha Tani*. Di dalam: *Kapita Selekta dalam Agroklimatologi*. Bogor. Dirjen Dikti-Depdikbud.
- Braak C. 1929. *The Climate of Netherland Indies. English Summary Part 1 Verhandelingen No. 8 KM Meteorologisch-Observatorium te Batavia.*
- Djufry F, Handoko & Koesmaryono Y. 2000. Model fenologi tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* L.). *J Agromet Indones.* 15:33–42.
- Eskridge KM & Steven EJ. 1987. Growth curve analysis do temperature-dependent phenology models. *Agron J.* 79:291–297.
- Gallagher JN & Biscoe PV. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *J Agric Sci.* 91:47–60.
- Gardner FP, Pearce RB & Mitchell RL. 1991. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Penerjemah Herawi Susilo dan Subiyanto. Jakarta. UI Pr.
- Handoko. 2007. *Gandum 2000: Penelitian Pengembangan Gandum di Indonesia*. Bogor. SEAMEO BIOTROP.
- ICRAF. 2003. *Jatropha curcas*. Agro-forestry Database.
- Johnson IR & Thornley JHM. 1985. Temperature dependence of plant and crop processes. *Ann Bot.* 55:1–24.
- Koesmaryono Y, Sangaji & June T. 2002. Akumulasi panas tanaman soba (*Fagopyrum esculentum* cv. Kitaware) pada dua ketinggian di iklim tropika basah. *J Agromet Indones.* 15(1):p8–13.
- Mahmud Z. 2006. Kenapa harus Jarak Pagar. *Infotek Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. 1(1):2.

- Makkar HPS & Becker K. 1997. *Jatropha curcas* toxicity: identification of toxic principle(s). Di dalam: Garland, T , Barr A. C. (Eds) Toxic plants and other natural toxicants, Proc 5th Int Symp on Poisonous Plants, San Angelo, Texas, USA, May 19-23, New York. CAB Int: pp 554–558.
- Mehrotra R. 1999. Sensitivity of runoff, soil moisture and reservoir design to climate change in central indian river basins. *Climate Change*. 42:725–757.
- Ritchie JT. 1981. Soil water availability. *Plant and soil*. 58:327–338 .
- Risbey JS. 1998. Sensitivity of water supply planning decisions to stream-flow and climate scenario uncertainties. *Water Policy*. 1:321–340 .
- Rusmayadi G. 2007. Estimasi efisiensi penggunaan radiasi Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) untuk parameter pemodelan tanaman. *Agritek*. 15:165–169.
- Rusmayadi G, Handoko, KoesModuleono Y, & Goenadi DH. 2009. Efisiensi penggunaan radiasi surya untuk pemodelan pertumbuhan dan perkembangan tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.). *Agrosientie*. 16:78–89 .
- Sinclair TR & Shiraiwa T. 1993. Soybean radiation-use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. *Crop Sci*. 33:808–812.
- Steel RGD & Torrie JH. 1991. *Prinsip dan Prosedur Statistika: Suatu pendekatan biometrik*. Jakarta. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Wahid P. 2006. Jarak Pagar dan Lingkungan. *Infotek Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. 1(5): 18.
- Zalom FG, Goodell PB, Wilson LT, Barnett WW & Bentley WJ. 1983. Degree-Days: The Calculation and Use of Heat Units in Pest Management. Univ. California Division of Agric and Nat Resources Leaflet 21373.