

**PENDUGAAN DEFISIT AIR TANAMAN JARAK (*Ricinus communis L*) BERDASARKAN
MODEL SIMULASI DINAMIKA AIR TANAH**

**(Prediction Water Deficit of Castor Oil (*Ricinus communis L*) with Dynamic Soil-Water
Model Simulation)**

Djufri, F.¹, Yanto A², Handoko², Koesmaryon, Y.²

1. BPTP Kalsel

2. Jurusan Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB Bogor

ABSTRAK

Model simulasi dinamika air tanah yang menjelaskan hubungan antara tanaman dengan faktor-faktor lingkungan (cuaca dan tanah) dapat dikembangkan untuk digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan. Penelitian bertujuan (1) mempelajari interaksi unsur-unsur cuaca, tanah dan tanaman jarak (2) menyusun model simulasi dinamika air tanah dan (3) memantau defisit air tanaman jarak pada tingkat irigasi air yang berbeda. Penelitian terdiri dari penyusunan model dan percobaan lapang. Penyusunan model menggunakan data lapang yang digunakan sebagai dasar penyusunan hubungan kuantitatif yang meliputi penurunan parameter, kalibrasi serta validasi model. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Padi Sukamandi, disusun dalam rancangan petak terpisah dengan tiga ulangan. Dua varietas jarak sebagai petak utama masing-masing (1) ASB 81 dan (2) ASB 60. Sebagai anak petak tiga taraf pemberian air irigasi yaitu (1) tanpa pemberian air irigasi, (2) $\frac{1}{2}$ ETp, dan (3) 1 ETp. Data yang dikumpulkan pada percobaan lapang meliputi peubah tanaman dan tanah. Hasil uji t berpasangan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata ($P < 0.05$) kadar air tanah antara observasi dan keluaran model. Model simulasi dinamika air tanah yang disusun secara umum dapat mensimulasi dan memprediksi dinamika kadar air tanah sesuai hasil observasi lapang selama pertumbuhan tanaman. Model dinamika air tanah yang disusun dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam pengelolaan tanaman jarak di Indonesia.

Kata Kunci: Model dinamis, neraca air, tanaman jarak.

ABSTRACT

Construction dynamic model soil – water that describes relationships between crop growth and development and environmental factors (weather and soil) can be further developed to be employed as a decision support tool . The objectives of the research : (1) to know interaction of factor weather , soil, castor oil crop, (2) construction dynamic model soil – water , (3) monitoring water deficit factor at level of water irrigation. The research consisted field observation and construction model. The experimental results were used to determine quantitative relationships to obtain model parameters, calibration, and validation. This research was conducted in field experimental station of Balitpa Sukamandi, and it was arranged in split plot design with three replications. Two variety of castor oil as main plot design were : (1) ASB 81, (2) ASB 60. Three levels of water irrigation as sub plot design were : (1) No water irrigation, (2) $\frac{1}{2}$ ETp, (3) 1 ETp.

Field measurements included weather variables, soil, and crop. The t-test does not indicate significant difference between observed and predicted soil water content. The model is valid and reasonably well for predicting soil water content as long as castor growth. The dynamic model soil-water can be employed as a decision support tool in the management of castor oil plantations in Indonesia.

Keyword: Dynamic model, castor oil, water balance .

PENDAHULUAN

Ketersediaan air merupakan salah satu faktor pembatas yang menentukan jenis dan sebaran tanaman serta periode masa tanam. Setiap jenis tanaman dan sistem usahatani membutuhkan air yang bervariasi tergantung sifat genetik dan faktor lingkungan. Fase vegetatif tanaman jarak relatif lebih sensitif terhadap defisit air (Doorenbos dan Pruitt, 1975). Ketersediaan air tanah akan menentukan status air tanaman dan penting dalam proses absorpsi CO₂ (Chang, 1968; Jansen, 1991; Grant *et al.*, 1993). Analisis neraca air dapat digunakan untuk mengevaluasi dinamika air tanah dan penggunaan air oleh tanaman secara kuantitatif (Lascano, 1991; Brisson *et al.*, 1992; Lascano, 2000), memantau cekaman air pada tanaman (Doraiswamy *et al.*, 1982) dan mengevaluasi penerapan sistem pertanian irigasi pada kondisi iklim tertentu (Binh *et al.*, 1994).

Teknologi pemodelan telah banyak membantu menjelaskan dan menggambarkan proses yang terjadi dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman serta dinamika kadar air tanah. Grant *et al.*, (1997) mengemukakan bahwa pemodelan yang dilakukan tidak hanya memprediksi gejala sistem, tetapi juga bertujuan untuk meningkatkan pengertian terhadap fenomena yang diamati. Selain itu juga dapat dimanfaatkan untuk memprediksi potensi hasil tanaman, prediksi kadar air tanah, dan penentuan waktu tanam optimum pada suatu daerah/wilayah. Khusus model neraca air, hasil pendugaannya sudah mempunyai tingkat ketelitian yang tinggi. Sehubungan dengan hal tersebut untuk memantau defisit air tanaman dalam kaitannya dengan penggunaan air oleh tanaman jarak, maka diperlukan model simulasi dinamika air tanah berdasarkan konsep neraca air.

Penelitian bertujuan (1) mempelajari interaksi unsur-unsur cuaca, tanah dan tanaman jarak (2) menyusun model simulasi dinamika air tanah dan (3) memantau defisit air tanaman jarak pada tingkat irigasi air yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Percobaan lapang dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Padi Sukamandi selama bulan Juli 2002 – Januari 2003. Pemodelan dan analisis data dilaksanakan di Laboratorium komputer IC-SEA BIOTROP Bogor (Januari 2002 – November 2004).

Bahan dan Alat

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari (1) *counter* (2) meteran (3) jangka sorong (4) cat dan kuas (5) solarimeter (6) neutron probe meter (7) timbangan

(8) pipa paralon (9) *ring sample* (10) seng (11) bor tanah (12) *automatic weather station* (13) komputer (14) traktor (15) gunting dan pisau (16) pupuk Urea, TSP dan KCl (17) kantong sample (18) bahan kimia (19) *steam flow* meter dan *through flow* meter (20) *software* visual basic 6.

Metode Penelitian

Penelitian meliputi percobaan lapang dan penyusunan model. Data hasil percobaan lapang digunakan sebagai dasar penyusunan hubungan kuantitatif yang meliputi penurunan parameter, kalibrasi dan validasi model.

Percobaan Lapang

Penelitian menggunakan rancangan petak terpisah (RPT) dengan ulangan tiga kali. Perlakuan yang digunakan adalah :

Petak utama : Varietas Jarak

Anak petak : Pemberian Air Irigasi

V1 = Asembagus (ASB) 81

A0 = Tanpa pemberian air

V2 = Asembagus (ASB) 60

A1 = Irigasi air ½ ETP

A2 = Irigasi air 1 ETP

Jumlah air yang diirigasikan setiap plot percobaan:

1. ½ Etp = (0.5 x 0.75 x Σ Eo₃ x 30) liter

2. 1 Etp = (0.75 x Σ Eo₃ x 30) liter

Σ Eo₃ : jumlah evaporasi panci selama 3 hari

Peubah yang diamati:

Indek stres air tanaman (CWSI) : Kuantifikasi tingkat stres air tanaman dapat dilakukan dengan mengukur besar dan periode defisit antara evapotranspirasi potensial dan aktual (Doraiswamy, 1982; Jones, 1992; Hiller & Clark, 1971, Kumar *et al.*, 1996).

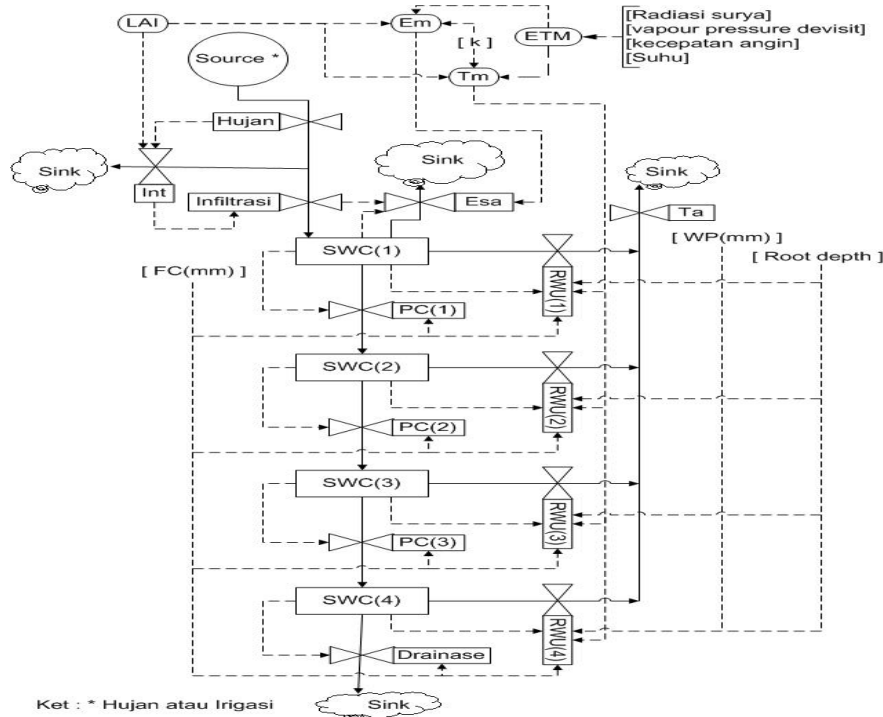
$$CWSI = \frac{ETp - ETa}{ETp}$$

Pertumbuhan tanaman yang diamati adalah tinggi tanaman, diameter batang, panjang dan lebar daun, produksi tanaman, biomassa daun, batang, dan akar, serta indeks luas daun (ILD), fase perkembangan mulai dari tanam sampai panen. Pengamatan fenologi dilakukan setiap hari untuk mengamati fase-fase perkembangan tanaman. Pengamatan pertumbuhan dilakukan setiap tiga minggu dengan mengambil dua contoh tanaman pada setiap plot perlakuan (*destructive sampling*). Tanah: Analisa tanah awal meliputi pengambilan contoh tanah 100 g untuk menghitung kadar air tanah secara gravimetrik setiap minggu. Kadar air tanah diukur pada kedalaman 0 – 25 cm, 25 – 50 cm, 50 - 75 cm dan 75 - 100 cm. Unsur cuaca yang diamati adalah curah hujan, kecepatan angin, lama penyinaran, kelembaban udara, dan suhu udara. Pengamatan unsur-unsur cuaca dilakukan setiap hari.

Penyusunan Model

Struktur Model

Secara garis besar, model simulasi dinamika air tanah merupakan bagian dari model simulasi tanaman jarak yang terdiri atas (1) submodel tanaman (perkembangan dan pertumbuhan tanaman) dan submodel neraca air (*Fadjry et al*, 2004). mengikuti persamaan (Steel dan Torrie, 1981).



Gambar 1. Diagram *Forrester* model neraca air

Model dinamika air tanah (neraca air) mensimulasi gerakan air mulai dari curah hujan jatuh ke atas tajuk tanaman, diintersepsi tajuk tersebut serta jatuh ke atas permukaan tanah kemudian terinfiltrasi ke dalam lapisan tanah, terjadi perkolasi, penguapan pada permukaan tanah sampai pada transpirasi tanaman. Selanjutnya akan dapat diprediksi berapa kandungan air tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman. Penghitungan neraca air dilakukan pada empat lapisan tanah yaitu lapisan 1 (0-25 cm), lapisan 2 (25-50 cm), lapisan 3 (50-75 cm) dan lapisan 4 (75-100 cm). Submodel ini menggunakan faktor cuaca dan tanah sebagai faktor pembatas untuk menghitung ketersediaan air tanaman jarak.

Peubah masukan (*input variables*) yang digunakan dalam model simulasi adalah peubah cuaca, tanaman, tanah dan keadaan awal (*initial variables*). Model yang disusun mempunyai resolusi harian sehingga diperlukan unsur-unsur cuaca harian sebagai masukan yang terdiri atas radiasi surya (MJ/hari), suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban udara (%), kecepatan angin (m/detik) dan curah hujan (mm/hari). Selain itu peubah tanaman dan tanah yang diinisialisasi yaitu kebutuhan benih jarak per ha (berat biji jarak) dan kadar air tanah pada berbagai kedalaman tanah.

Analisis Statistik

Pengujian secara statistik hasil percobaan lapang menggunakan analisis sidik ragam (Anova), sedangkan uji antar perlakuan menggunakan Uji Duncan. Pengujian model dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran model dengan data pengamatan lapang. Pengujian

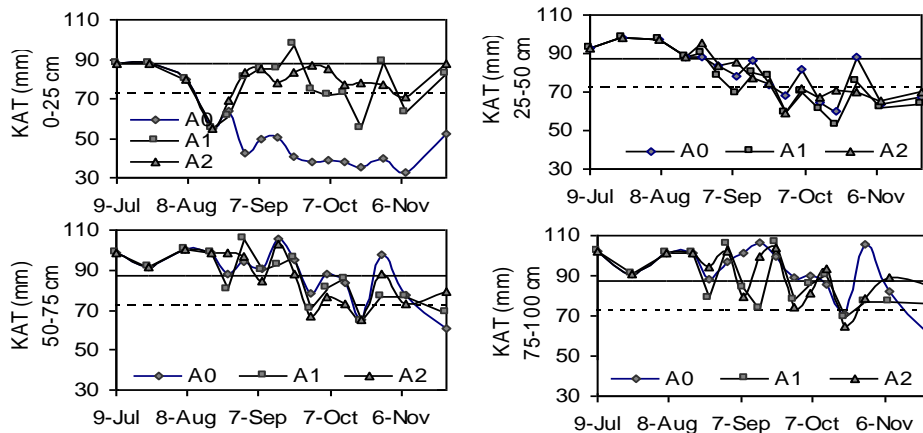
dilakukan dengan dua cara, yaitu secara kualitatif menggunakan metode grafik (fitting dan uji 1:1) serta uji statistik (uji t berpasangan, uji ketepatan model dan analisis regresi). Uji t berpasangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

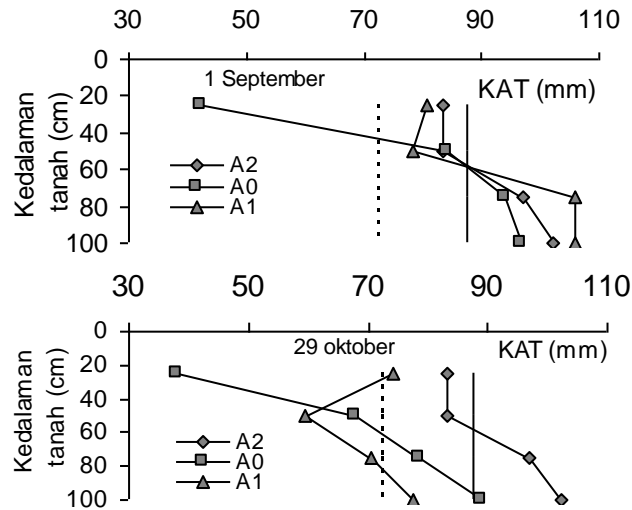
Percobaan Lapangan

Kadar air tanah setiap kedalaman daerah Sukamandi disajikan pada Gambar 2. Perlakuan air dimulai setelah tanaman berumur 42 HST (19 Agustus). Hasil pengamatan menunjukkan pemberian air berpengaruh nyata terhadap kadar air tanah pada lapisan permukaan tanah (0-25 cm). Pada lapisan 0-25 cm perlakuan A0 (tanpa pemberian air) kadar air tanah selalu dibawah titik layu permanen selama pengamatan sedangkan pada perlakuan A1 dan A2 kadar air tanah relatif lebih tinggi dari titik layu permanennya. Pada kondisi ini, air lebih tersedia pada perlakuan A1 dan A2. Pada perlakuan A0, air tanah selalu berada dalam keadaan defisit karena tidak ada penambahan air dari luar. Keadaan tersebut ditambah dengan proses evaporasi dan transpirasi tanaman yang tinggi selalu mengurangi air tanah yang ada. Tanaman akan mengalami defisit air ketika nilai kandungan air tanahnya menurun melewati nilai ambang batasnya (Allen *et al.*, 1998). Kadar air tanah pada perlakuan A2 lebih tinggi dibandingkan perlakuan A1 karena jumlah air irigasi yang lebih besar

Profil kadar air tanah (KAT) pada saat sehari setelah pemberian air (Gambar 3). Hasil pengamatan menunjukkan pemberian air tetap mempertahankan KAT pada kisaran air yang tersedia bagi tanaman di lapisan permukaan. KAT pada lapisan yang lebih dalam, relatif lebih besar dengan bertambahnya kedalaman. Pengamatan 1 September (55 HST) yang disajikan pada Gambar 3 menunjukkan air tidak tersedia pada lapisan 0-25 cm pada perlakuan A0. Tanaman pada perlakuan A0 memanfaatkan cadangan air pada lapisan di bawahnya yang lebih tersedia, sedangkan pada perlakuan A1 dan A2, air lebih tersedia pada semua kedalaman. Semakin bertambah umur tanaman, kebutuhan air tanaman juga semakin meningkat. Pengamatan 29 Oktober (113 HST) menunjukkan bahwa KAT semua kedalaman mengalami penurunan pada semua perlakuan (A0, A1 dan A2).

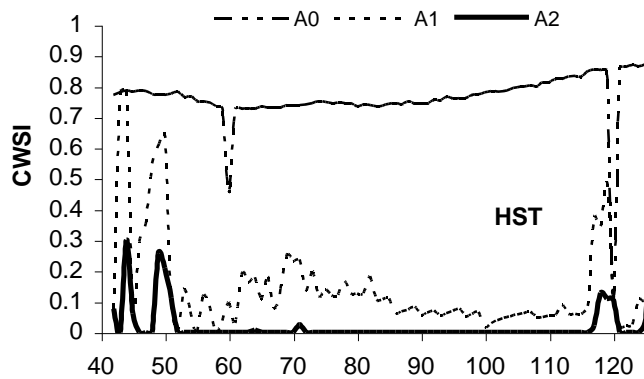


Gambar 2. Kadar air tanah pada setiap kedalaman daerah Sukamandi KL (—) dan TLP (----)



Gambar 3. Profil kadar air tanah sehari setelah aplikasi air irigasi di daerah Sukamandi.

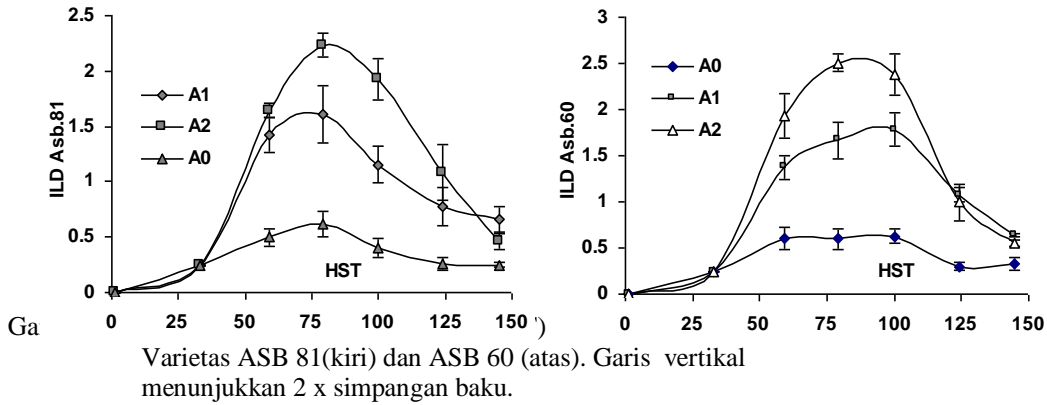
Nilai indeks stres tanaman (CWSI) berkisar antara 0 dan 1 seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Semakin mendekati 1 artinya semakin sedikit ET_p yang dapat dikompensasi dari air tanah yang tersedia dengan proses evaporasi dan transpirasi. Gambar 5 menunjukkan nilai indeks stres air pada perlakuan A0 lebih tinggi dibandingkan perlakuan A1 dan A2 sampai panen pertama. Rata-rata nilai CWSI perlakuan A0 sebesar 0.8. Hiller & Clark (1971) dalam Papaioannou et al., (1998) menyatakan bahwa terjadi hari stres jika $CWSI \geq 0.7$.



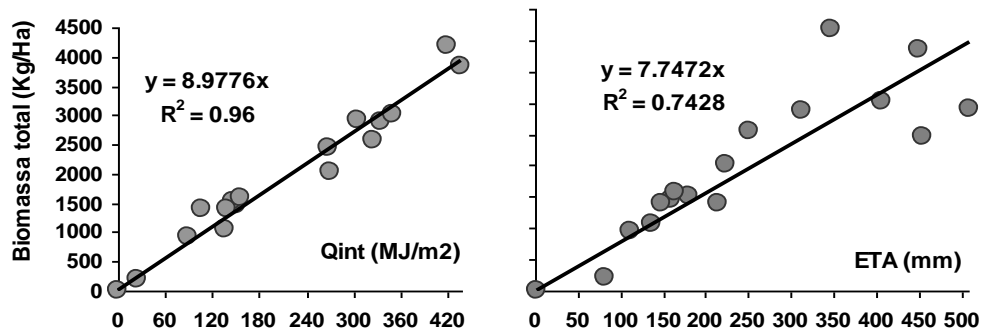
Gambar 4. Nilai indeks stres air tanaman setelah perlakuan air diberikan

Indeks luas daun merupakan salah satu indikator pertumbuhan tanaman yang cukup peka terhadap defisit air. Hasil pengamatan menunjukkan perlakuan air berpengaruh nyata terhadap ILD, sedangkan antara varietas ASB 81 dan ASB 60 tidak berpengaruh nyata (Gambar 5). ILD maksimum terjadi pada saat tanaman berumur 79 hari (pengamatan ke-2). Hal ini disebabkan pada periode tersebut pertumbuhan vegetatif tanaman (pembentukan daun) maksimum dan awal fase generatif tanaman. Setelah fase ini ILD terus mengalami penurunan. Hal tersebut dipengaruhi oleh

daun-daun yang mulai berguguran terutama daun-daun yang sudah tua, selain itu alokasi asimilat hasil fotosintesis yang ke daun terus berkurang dan terjadi peningkatan alokasi asimilat untuk organ generatif sampai mengalami pematangan secara fisiologis.



Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan semakin besar radiasi yang ditersepsi oleh tanaman akan meningkatkan produksi biomassa tanaman (biomassa total). Tanaman jarak pada perlakuan A0 mengalami defisit air lebih besar dibandingkan perlakuan A1 dan A2. Demikian pula perlakuan A1 relatif lebih defisit dibandingkan dengan perlakuan A2. Tanaman yang mengalami defisit air, menghasilkan asimilat dari fotosintesis lebih sedikit dibanding pada kondisi air tersedia. Kumar et al., (1996), mengemukakan bahwa efisiensi penggunaan radiasi surya semakin menurun dengan meningkatnya CWSI. Korelasi yang cukup bagus ditunjukkan sebelum fase inisiasi bunga (fase vegetatif). Biomassa daun yang terbentuk akan berkurang dan ukuran daunnya juga akan lebih kecil. Representasi dari variabel ini ditunjukkan oleh nilai LAI. Indeks luas daun dalam pertumbuhan tanaman akan menentukan radiasi surya yang diintersep dan jumlah air yang ditranspirasikan daun.



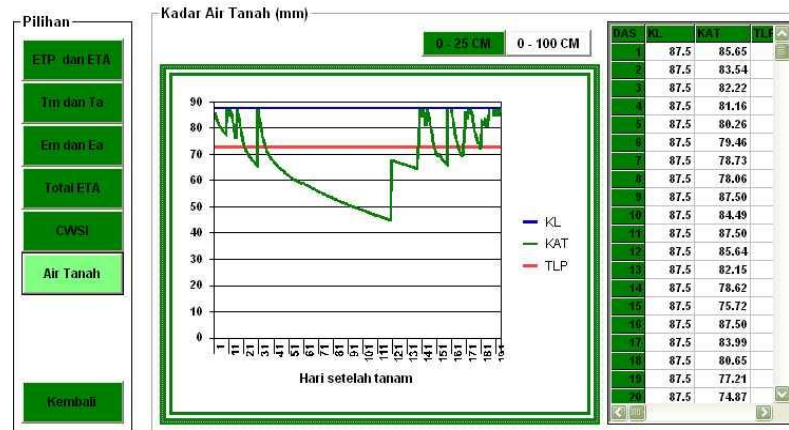
Gambar 6. Hubungan Qint (kiri) dan ETA (kanan) dengan produksi biomassa total

Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk menentukan apakah sebuah model dapat bekerja secara optimal dan akurat terhadap data bebas yang digunakan untuk menduga proses pertumbuhan dan

hasil tanaman. Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara peubah-peubah keluaran model dengan hasil pengamatan atau pengukuran lapang (Hoover and Perry, 1989).

Tampilan *form* model neraca air tanaman (Gambar 7) memperlihatkan bahwa model dapat mensimulasi kadar air tanah sepanjang pertumbuhan tanaman jarak. Hasil keluaran model simulasi dinamika air tanah terdiri dari evapotranspirasi potensial, evapotranspirasi aktual, transpirasi maksimum, transpirasi aktual, evaporasi maksimum, evaporasi aktual, total evapotranspirasi aktual, indeks stres air tanaman, dan kadar air tanah pada dua kedalaman, yaitu 0-25 cm dan 0-100 cm.



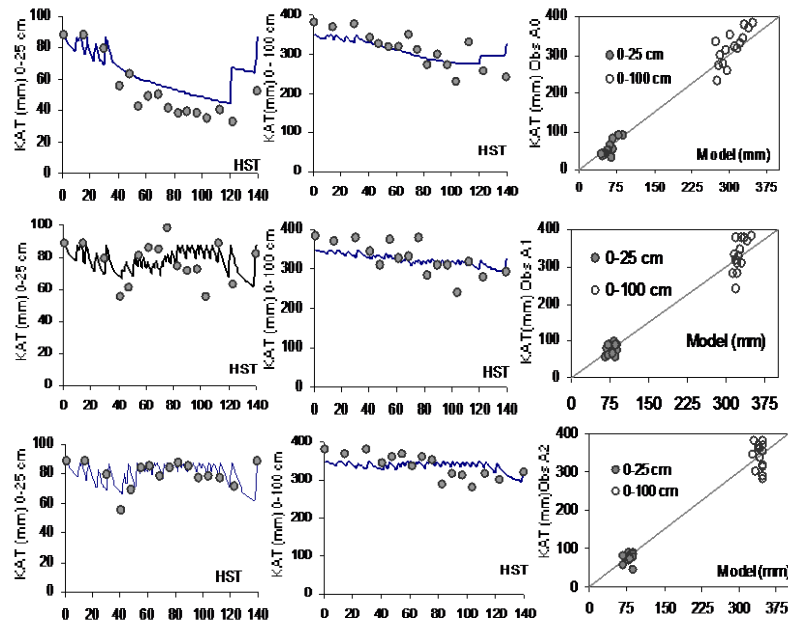
Gambar 7. Tampilan model simulasi dinamika air tanah tanaman jarak

Data percobaan lapang yang digunakan untuk membangun model merupakan data hasil percobaan perlakuan A2 (1ETp), A0 (tanpa pemberian air) dan perlakuan A1 (1/2 ETp). Gambar 8 menyajikan secara grafis hasil prediksi model dengan hasil pengamatan lapang kadar air tanah selama pertumbuhan tanaman jarak. Hasil uji t berpasangan (Tabel 1) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kadar air tanah yang nyata ($P < 0.05$) antara dugaan model dengan pengamatan lapang pada kedalaman 0 - 25 cm perlakuan A0. Model kurang mampu mensimulasi dinamika kadar air tanah pada kedalaman 0-25 cm untuk perlakuan A0, sedangkan pada kedalaman 0-100 cm model mampu menduga kadar air tanah dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai uji t berpasangan ($P > 0.05$) yang tidak berbeda nyata antara keluaran model dengan hasil pengamatan.

Tabel 1. Hasil pengujian uji t berpasangan antara model dan observasi kadar air tanah pada kedalaman 0-25 cm dan 0-100 cm

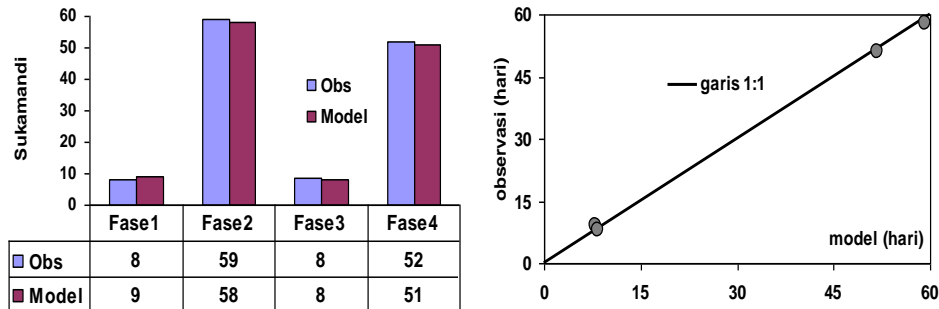
Perlakuan	Rata-rata	T-hitung	T 5%	Keterangan
Kedalaman 0-25 cm				
A0	2.83 mm	3.04	2.15	Nyata
A1	3.65 mm	1.01	2.15	Tidak nyata
A2	3.31 mm	2.00	2.15	Tidak nyata
Kedalaman 0-100 cm				
A0	9.28 mm	1.14	2.15	Tidak nyata
A1	9.71 mm	0.20	2.15	Tidak nyata
A2	9.36 mm	0.78	2.15	Tidak nyata

Pendugaan Defisit Air Tanaman Jarak

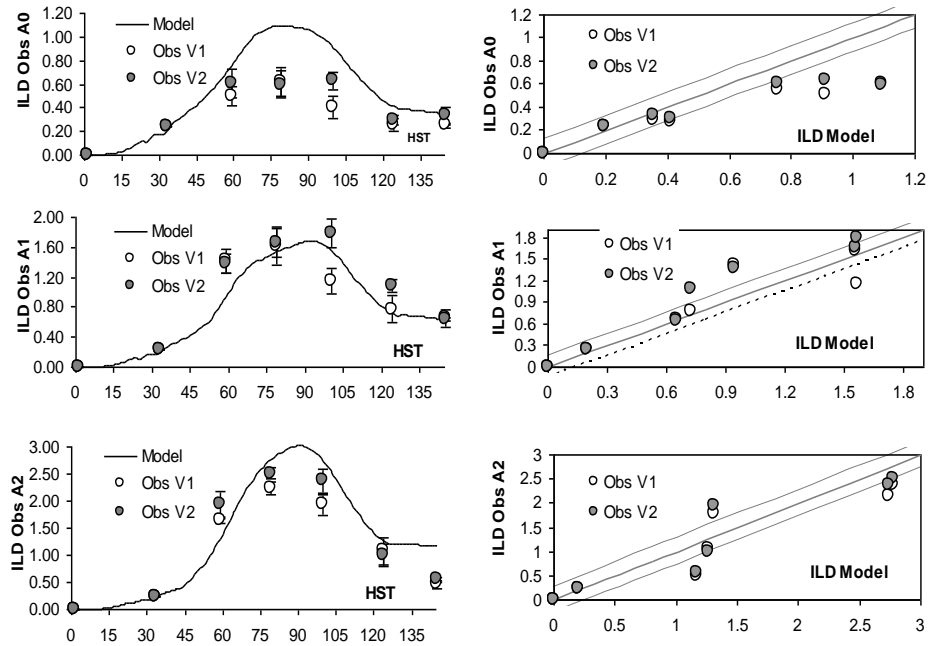


Gambar 8. Validasi model kadar air tanah pada kedalaman 0 – 25 cm dan 0 – 100 cm (kiri). Perbandingan antara model dan observasi terhadap garis 1:1 (kanan)

Keluaran hasil simulasi model (tampilan model) tanaman jarak dapat dilihat pada Gambar 8 – 10 yang menunjukkan bahwa secara umum model yang telah disusun dapat memprediksi peubah-peubah yang diamati (fase perkembangan tanaman, indeks luas daun dan kadar air tanah) sesuai pengamatan lapang di daerah Sukamandi.



Gambar 9. Perbandingan antara model dan observasi periode fase perkembangan tanaman (kiri). Perbandingan antara model dan observasi terhadap garis 1:1 (kanan)



Gambar 10. Perbandingan ILD antara model dan observasi (kiri). Garis vertikal menunjukkan 2 x simpangan baku. Perbandingan antara model dan observasi terhadap garis 1:1 (kanan). Garis putus-putus adalah $\alpha = 0.05$

KESIMPULAN

Model simulasi dinamika air tanah yang disusun mampu memprediksi fluktuasi kadar air tanah pada perlakuan tanpa irigasi (A0), irigasi $\frac{1}{2}$ ETp (A1) dan irigasi 1 ETp (A2), terutama kedalaman 0 – 100 cm. Model tidak dapat mensimulasi dengan baik perlakuan tanpa irigasi atau keadaan tanaman yang stres air berat pada kedalaman 0-25 cm.

Nilai CWSI pada perlakuan tanpa irigasi rata – rata setelah aplikasi air sampai panen pertama sebesar 0.8 atau setiap hari kebutuhan air potensialnya hanya mampu terpenuhi 20 %. Pada perlakuan irigasi $\frac{1}{2}$ ETp, CWSI-nya relatif lebih besar dibandingkan perlakuan irigasi 1 ETp terutama 10 hari pertama setelah perlakuan. Pemberian air irigasi meningkatkan pertumbuhan (tinggi tanaman dan diameter batang, indeks luas daun, biomassa tanaman, produksi biji dan kadar minyak tanaman jarak.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration: *Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. 300 hlm.
- Baldocchi, D.O., S.B. Verma, N.J. Rosenberg. 1985. Water use efficiency in a soybean field : Influence of plant water stres. *NAES (7512)* : 53 - 66.
- Binh, N.D., V.V.N. Murty, and D.X. Hoan. 1994. Evaluation of the possibility for rainfed agriculture using a soil moisture simulation model. *Agric. Water. Manage* 26 : 187-199.
- Brisson, N., S. Bernard, and B. Patrick. 1992. Agrometeorological soil water balance for crop simulation models. *Agric. For. Meteorol* 59: 267-287.
- Chang, J. H. 1968. *Climate and Agriculture*. An Ecology Survey. Chicago : Aldine Publ. Co.
- Doraiswamy, D. C., and D.R. Thomson. 1982. A crop moisture stress index for large areas and its application in the prediction of spring wheat phenology. *Agric. Meteorol* 27: 1-15.
- Fadjry D, Handoko, J.S. Baharsjah, Koesmaryono Y dan Goenadi, D.H. 2004. Penyusunan model simulasi tanaman Jarak (*Ricinus communis* L.). *Jurnal Agromet Indonesia* 18: 1-10.
- Grant, R.F., Rochette, P., Desjardins, R. L.. 1993. Energy exchange and water use efficiency of field crops: Validation of a Simulation Model. *Agron. J.*, 85:916 – 928
- Grant, W.E., E.K. Pedersen, and S.L. Martin. 1997. *Ecology and Natural Resource Management*. New York : John Wiley and Song.
- Handoko, I dan I. Las. 1997. Metodologi Pendekatan Strategis dan Taktis untuk Pendugaan Serta Penanggulangan Kekeringan Tanaman. Di dalam : Baharsjah, *et al.*, editor. *Sumber Daya Air dan Iklim dalam Mewujudkan Pertanian Efisien*. Jakarta: Kerjasama Departemen Pertanian dengan Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI). hlm 73 - 86.
- Hoover, S.V and R.F. Perry. 1989. *Simulation (A Problem Solving Approach)*. USA : Addison-Wesley Publishing Company Inc. 400 hlm.
- Jensen, H.E. 1991. Plant water relationships and evapotranspiration. *IAHS Publ* 204 : 295 – 307.
- Jones, H.G. 1992. *Plant and Microclimate (A quantitative approach to environmental plant physiology)* . Ed ke-2. Cambridge University Press. 428 hlm.
- Kaul, A.K, and M.L. Das. 1986. Oilseeds in Bangladesh. Bangladesh – Canada Agriculture Sector Team. Ministry of Agriculture Government of the Peoples Republic of Bangladesh. Dhaka. 133 hlm.
- Koutroubas, S.D, D.K. Papakosta and A. Doitsinis. 2000. Water requirements for castor oil crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediaterranean climate. *J. Agron. and Crop Science* 184: 33 - 41.
- Kumar, P.V., *et al.* 1996. Radiation and water use effeciencies of rainfed castorbeans (*Ricinus communis* L) in relation to different weather parameters. *Agric.For. Meteorol* 81 : 241 - 253.

Djufri, et al

- Lascano, R.J. 1991. Review of models for predicting soil water balance. *IAHS Publ* 199: 443-458.
- Lascano, R.J. 2000. A general system to measure and calculate daily crop water use. *J. Agron* 92: 821-832.
- Laureti, D. And G. Marras. 1995. Irrigation of castor (*Ricinus communis L*) in Italy. *Eur.J. Agron* 4: 229 -235.
- Papaioannou, G.C., A.G. Madi., and P.G. Kerkides. 1998. Drought Stress Indices Estimation over Greece. Di dalam : Nicolas R, Dale Zios . *Proceedings of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology* ; Greece 24 – 26, April 1996. European Communities. hlm 495 -500.
- Steel, R.G.P and J.H. Torie. 1981. Introduction to Statistics. New York : Mc Graw Hill. 382 hlm.
- Tarigans, D.D., Sopandie, dan D., Ruspendi. 1994. Pengaruh tingkat kadar air tanah dan dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan produksi minyak jarak (*Ricinus communis L.*). *Media Komunikasi Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri* 12 : 43 - 50.