

HUBUNGAN AIR DAN TANAMAN DIPELAJARI SECARA TERINTEGRASI DENGAN MODEL SIMULASI DINAMIK

[Plant-Water Relations, Integratedly Assessed by A Dynamic Simulated Model]

Nuril Hidayati

Balitbang Botani, Puslitbang Biologi-LIPI
Jin. Ir. H. Juanda 18, Bogor 16122

ABSTRACT

Water is the most crucial factor in affecting plant growth and production. In order to assess the complex relationship between plant and water, a dynamic model of crop growth was constructed by interlinking plant growth and soil water models. The growth model mainly consists of physiological processes, i.e. photosynthesis, respiration, partitioning, leaf growth and phenological development. The photosynthesis and partitioning models are based on SUCROS, extended in two ways, the calculation of light use efficiency as a function of air temperature and extinction coefficient as a function of LAI. The development model was calculated based on thermal time concept. Water balance model comprises evaporation and transpiration as water losses, and rainfall and irrigation as water sources at 1 m - depth. Evaporation was based on Penmann-Monteith formula. Both models were linked by relating the degree of growth reduction to water deficits. Simulation results showed a good agreement with observed data in predicting soil water deficits and crop water use for all of the treatments, i.e. irrigated, irrigated just after flowering, dry and rainfed. Despite the model predicted soil water considerably well, it tent to overestimate soil water deficits in the beginning of the growing period for both years. The results also showed a good agreement between simulated and observed dry matter production, especially under irrigated and rainfed conditions.

Kata kunci/ Key-words: model dinamik/ dynamic model, fotosintesis/ photosynthesis, respirasi/ respiration, neraca air/ water balance, transpirasi/ transpiration.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan dan produksi tanaman ditentukan oleh interaksi antara potensi genetik dan lingkungan. Faktor lingkungan yang besar peranannya adalah air disamping faktor lain seperti kesuburan tanah dan iklim.

Penting mengetahui pengaruh faktor lingkungan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman secara terintegrasi agar dapat menentukan cara untuk mengoptimalkan produksi walaupun pada kondisi lingkungan yang sub-optimum.

Penggunaan model simulasi untuk menduga potensi hasil dan menganalisa pengaruh manajemen pertanian mulai banyak dicobakan pada beberapa komoditi penting dan memberikan hasil yang cukup menjanjikan. Beralasan bila teknologi pemodelan digunakan untuk mempelajari berbagai faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman secara terintegrasi untuk memperoleh hasil yang lebih baik. Pada penelitian ini, model dan penelitian lapangan digunakan untuk mempelajari pengaruh manajemen pemberian air

terhadap pola pemakaian air dan produksi *Vicia faba* L.

Model-model statis telah banyak digunakan untuk menduga produksi tanaman *V. faba* L. (Ratnaweera, 1991; de Costa, 1992; del Pozo, 1992). Model statik ini masih terbatas penggunaannya karena tidak kontinyu dalam ruang dan waktu serta kurang dapat digunakan untuk mempelajari banyak faktor pertumbuhan yang lebih kompleks dan terintegrasi, sementara model dinamik, termasuk SUCROS yang digunakan dalam riset ini dapat lebih mudah dikembangkan dengan menambahkan faktor-faktor yang lebih kompleks seperti nutrisi, hama-penyakit, manajemen pengairan dan lain-lain.

Model adalah penjabaran sederhana dari suatu sistem. Simulasi didefinisikan sebagai seni membangun model matematika dan mempelajari segala aspek dari sistem (de Wit, 1982). Model dinamik dianggap sebagai suatu sistem yang kontinyu dalam ruang dan waktu.

Dalam simulasi, pertumbuhan tanaman *V. faba* diasumsikan sebagai suatu sistem dengan bentang waktu antara perkecambahan hingga pemasakan. Tujuan model adalah mensimulasikan pengaruh manajemen suplai air terhadap ketersediaan air tanah, pemakaiannya oleh tanaman serta pertumbuhan dan produksi tanaman. Model yang digunakan terdiri dari dua sub-model, yaitu model neraca air (water balance) dan model pertumbuhan tanaman. Model ini diharapkan dapat dijadikan sebagai sub model yang nantinya dapat membentuk jaringan model lebih kompleks dan detail.

Model pertumbuhan didasari oleh model SUCROS (Keulen, *et al*, 1982), yang terdiri dari perhitungan proses-proses fisiologis yakni fotosintesis, respirasi, perkembangan fase pertumbuhan, distribusi asimilat dan pertumbuhan daun. Model neraca air didasari oleh perhitungan evapotranspirasi dari Penmann (1984) dan neraca air dari Keulen (1982). Respon tanaman dan produksi terhadap air tanah dihitung berdasarkan derajat pengurangan pertumbuhan sebagai fungsi dari rasio ketersediaan air aktual terhadap ketersediaan air minimum.

Di dalam simulasi, *V. faba* dianggap sebagai level organisasi sistem tanaman. Kultivar dengan tipe determinate digunakan dalam penelitian ini karena diasumsikan tipe ini memiliki respon yang lebih sederhana terhadap lingkungan. Model mensimulasikan penambahan berat kering dari perkecambahan (hari ke 20 - 25 setelah tanam) (de Costa, 1992), hingga pemasakan.

Struktur model dibuat dalam program CSMP (Continuous Simulation Modelling Program), yakni program FORTRAN yang telah dimodifikasi untuk pemakaian yang lebih praktis. Program ini memiliki semua fasilitas yang ada pada FORTRAN.

BAHAN DAN METODA

Fotosintesis

Model fotosintesis dikembangkan dari dua aspek, yakni, perhitungan efisiensi penggunaan cahaya

sebagai fungsi dari suhu dan koefisien pemadaman (extinction coefficient) sebagai fungsi dari indeks luas daun (LAI). Laju asimilasi CO₂ dari kanopi dianggap sebagai jumlah asimilasi pada kondisi cerah dan berawan. Laju fotosintesis total dari kanopi adalah jumlah dari laju fotosintesis kanopi bagian bawah, yakni daun pada percabangan bawah dan bagian atas (daun pada percabangan bagian atas tanaman), yang dihitung secara terpisah. Setelah dikalikan dengan 30/44, sebagai nilai konversi dari hasil fotosintesis dalam bentuk CO₂ ke bentuk glukosa (CH₂O), diperoleh hasil kotor fotosintesis yang siap didistribusi untuk pertumbuhan tanaman.

Respirasi

Model mengasumsikan bahwa rata-rata suhu udara (TMPA) sebagai faktor utama yang menentukan laju respirasi (MAINT)(Keulen *et al*, 1982)

$$\text{MAINT} = (\text{WL}V * 0,03 + \text{W}S\text{T} * 0,015 + \text{W}S\text{O} * 0,015 + \text{W}R\text{T} * 0,015) * Q10^{(0,1 * \text{TMPA} - 2,5)}$$

Di mana WL_V, W_ST, W_SO and W_RT adalah berat kering daun, batang, polong dan akar. Q₁₀ adalah faktor respirasi pada suhu yang telah ditentukan, dengan nilai 2.

Efisiensi pertumbuhan dihitung sebagai berikut:

$$\text{CVF} = (\text{FL}V * 0,72 + \text{F}S\text{T} * 0,69 + \text{F}S\text{O} * 0,73) * \text{F}S\text{H} + (1 - \text{F}S\text{H}) * 0,72$$

dimana FL_V, F_ST, F_SO adalah fraksi daun, batang dan polong terhadap seluruh tajuk, dan F_SH adalah fraksi tajuk terhadap total tanaman, yang dihitung sebagai fungsi dari perkembangan fase pertumbuhan (Keulen *et al*, 1982).

Potensi Pertumbuhan (GTW) diturunkan dari hasil kotor asimilasi CO₂ (GPHOT) dikurangi kehilangan dari respirasi dan proses pertumbuhan (Keulen *et al*, 1982)

$$\text{GTW} = (\text{GPHOT} - \text{MAINTS}) * \text{CVF}$$

Perkembangan Fase Pertumbuhan

Perkembangan fase pertumbuhan tanaman dihitung berdasarkan konsep termal unit, sebagai fungsi dari suhu udara dan panjang hari (Ellis *et al*, 1990)

$$1/f = a + bT + cP$$

dimana f adalah waktu yang diperlukan dari perkecambahan ke fase-fase pertumbuhan berikutnya (dalam satuan hari), T adalah suhu udara rata-rata ($^{\circ}\text{C}$), dan P adalah panjang hari (jam/hari). Nilai a , b dan c (masing-masing 0,00013; 0,00108 dan 0,00055), adalah konstanta untuk kultivar yang digunakan dalam model (Ellis *et al.*, 1990).

Pertumbuhan Luas Daun

Pertumbuhan luas daun dihitung sebagai integral dari jumlah luas daun (GLA) dan luas percabangan (GSA), dikurangi daun yang mati (LLA).

$$\text{LAI} = \text{INTGRL}(\text{LAII}, \text{GLA} - \text{LLA} + \text{GSA})$$

Pertumbuhan luas daun dan percabangan dihitung dari berat daun spesifik (SLC) dan berat percabangan spesifik (SSC)

$$\begin{aligned} \text{GLA} &= (\text{WLV} + 0,5 * \text{WST} * (\text{SLC} / \text{SSC})) / \text{LAI} \\ \text{GSA} &= 0,5 * \text{GST} / \text{SSC} \end{aligned}$$

dimana WLV dan WST adalah berat daun dan percabangan yang dihitung sebagai fungsi dari perkembangan fase pertumbuhan. SLC dan SSC memiliki nilai 315 dan 2114. Luas daun yang mati (LLA) dihitung dari berat daun yang mati (DLV), sebagai fungsi dari perkembangan tanaman dibagi berat daun spesifik (Penning de Vries *et al.*, 1989).

Distribusi Asimilat (Partitioning)

Hasil asimilasi diasumsikan didistribusikan ke bagian-bagian organ tanaman (daun, percabangan, akar dan polong). Proses distribusi asimilat ini dihitung berdasarkan fraksi dari glukose yang dialokasikan ke organ-organ tersebut sebagai fungsi dari perkembangan fase pertumbuhan (Keulen *et al.*, 1982)

Neraca Air

Model neraca air mengasumsikan curah hujan dan irigasi sebagai sumber pemasukan air dan evaporasi, transpirasi dan drainase sebagai faktor hilangnya air dari profil tanah. Struktur model

secara umum mengikuti konstruksi model ARID CROP (Keulen 1975) dengan modifikasi dan diadaptasikan untuk *V. faba* dengan kondisi iklim empat musim.

Transpirasi

Transpirasi aktual (ATRANS) adalah perkalian dari laju pertumbuhan tanaman aktual (AGTW) dan koefisien transpirasi (TRPCF) (Keulen, 1982).

$$\text{ATRANS} = \text{AGTW} * \text{TRPCF}$$

$$\text{TRPCF} = \text{EVAPAN} / \text{WUE}$$

dimana EVAPAN adalah evaporasi yang diukur harian dan WUE adalah penggunaan air oleh tanaman yang memiliki nilai konstan 200 kg kg^{-1} untuk *V. faba*.

Evaporasi

Evaporasi adalah penjumlahan dari evaporasi pada kondisi hari hujan dan tidak hujan. Laju evaporasi aktual (AEVAP) ditentukan oleh fraksi pencahayaan matahari yang mencapai permukaan tanah (FRLT) dan turbulensi angin di atas permukaan tanah (FRDP).

$$\text{AEVAP} = \text{EVAPR} * \text{FRLT} + \text{EVAPD} * \text{FRDP}$$

EVAPR adalah potensi evaporasi karena cahaya matahari dan EVAPD adalah potensi evaporasi karena angin, yang dihitung dengan rumus Penmann-Monteith.

Penggabungan Model Pertumbuhan dan Neraca Air

Model pertumbuhan tanaman digabungkan dengan model neraca air melalui derajat berkurangnya pertumbuhan atau indeks stres (RED), sebagai fungsi dari rasio kandungan air tanah aktual (ASWAT) terhadap air tanah minimum (SWATM). Pengurangan pertumbuhan mulai terjadi bila kekurangan air mencapai 45 mm.

$$\text{RED} = \text{AFGEN}(\text{REDTB}, \text{ASWAT} / \text{SWATM})$$

Pertumbuhan tanaman aktual pada kadar air tanah tertentu (AGTW) dihitung sebagai perkalian dari

pertumbuhan potensial (GTW) dengan derajat indeks stres (RED).

Suplai air

Telah disebutkan bahwa tujuan riset adalah mempelajari pertumbuhan dan efisiensi penggunaan air tanaman pada berbagai kondisi ketersediaan air yang berbeda. Untuk bereksperimen dengan model, empat perlakuan pemberian air dicobakan pada musim tanam 1989 dan 1990, yakni:

- W1 : Irigasi. Kadar air tanah tetap optimum selama masa pertumbuhan.
- W2 : Irigasi setelah pembungaan saja.
- W3 : Kondisi kering, tanaman tidak mendapatkan suplai air baik hujan maupun irigasi
- W4 : Tadah hujan, suplai air hanya diperoleh dari curah hujan.

Di dalam model, perlakuan suplai air dimasukkan dalam input variabe. Jumlah air yang diberikan ditambahkan pada data curah hujan sesuai dengan selang waktu dan jumlah air yang telah ditentukan. Untuk perlakuan kekeringan (W3), data curah hujan dalam tabel input dianggap sama dengan nol. Data iklim lain yang digunakan sebagai masukan dalam model adalah suhu udara minimum dan maksimum, intensitas cahaya, kelembaban nisbi, kecepatan angin dan tekanan udara dalam interval harian (Diagram model disajikan pada Gambar 1).

Hasil simulasi diuji dengan hasil penelitian lapangan dari dua musim tanam (1989 dan 1990) dengan kultivar.

Lokasi penelitian adalah Woodland Farm, Reading, Inggris bagian selatan, dengan lokasi geografis 51° 27' LU dan 0° 57' BB. Karakteristik iklimnya termasuk zona empat musim yang dicirikan oleh suhu udara dan intensitas radiasi yang rendah. Suhu rata-rata $j \pm \backslash$ °C pada bulan Desember/Januari yang secara gradual meningkat hingga mencapai ± 25 °C pada bulan Juli / Agustus. Panjang hari 10 - 17 jam. Rata-rata intensitas

matahari 3,2 - 13,8 MJ m² per hari. Evaporasi permukaan 1,6 - 5,8 mm per hari dan beda tekanan udara berkisar 1-1,6 mb. Curah hujan dari 0-70 mm per bulan dengan kisaran 3 - 4 mm per hari hujan. Total curah hujan tahunan 400 -1200 mm.

HASIL

Kondisi Air Tanah

Salah satu parameter untuk mengetahui kondisi air tanah adalah mengukur tingkat kekurangan air tanah (Soil Water Deficits, SWD), yang didefinisikan sebagai perbedaan kandungan air tanah antara kapasitas lapang dengan kondisi yang sebenarnya tersedia bagi tanaman.

Gambar 2 menunjukkan bahwa model menduga defisit air lebih rendah dari hasil penelitian, terutama pada musim tanam tahun 1989 untuk perlakuan W1. Simulasi defisit air pada W2 mulai meningkat setelah hari ke 63, setelah penutupan petak dari air hujan dan mencapai maksimum pada akhir pertumbuhan. Defisit paling tinggi adalah 144 mm (1989) dan 143 mm (1990), yang terjadi pada W3, di mana plot tidak memperoleh tambahan air (Tabel 1). Pada W2, pengairan setelah pembungaan ternyata mampu mengurangi defisit air sampai ke tingkat 44 mm, dimana masih di bawah tingkat defisit pembatas pertumbuhan (LWD), sehingga tanaman masih mampu tumbuh dan menghasilkan biomas lebih tinggi dari W3 dan W4.

Variasi Musiman Pemakaian Air

Simulasi menduga dengan baik pemakaian air oleh tanaman pada semua perlakuan, kecuali ada beberapa perkiraan yang sedikit lebih rendah dari data riil seperti pada fase pertumbuhan awal hingga hari ke 50 pada musim tanam 1990. Gambar 3 menunjukkan variasi tingkat transpirasi kanopi pada berbagai kondisi air tanah. Pada kondisi cukup air (W1), transpirasi mencapai tingkat yang paling tinggi, hingga 364 mm pada 1989 dan 349 mm pada 1990 (Tabel 1). Nilai ini sesuai dengan hasil penelitian, dimana total transpirasi mencapai

Tabel 1. Hasil Simulasi (SIM) dan Hasil Penelitian (RIIL) dari Total Evapotranspirasi Aktual, Total Berat Kering dan Defisit Air Tanah pada Perlakuan Air yang Berbeda di Musim Tanam 1989 dan 1990.

Perlakuan	Total Berat Kering (kg ha ⁻¹)			Defisit Air (mm)			Total Evapotranspirasi (mm)		
	SIM	%	RIIL	SIM	%	RIIL	SIM	%	RIIL
1989									
W1	11250	7,5	12170	52-0	13,3	60-20	0-364	16,5	0-304
W2	4660	40,0	7760	137-40	34,3	90-20	0-188	7,5	0-174
W3	2590	39	4240	144-40	37,5	90-20	0-125	32,0	0-85
W4	3320	14,7	3890	136-40	4,4	130-40	0-150	22,7	0-166
1990									
W1	12120	6,2	11360	37-0	7,5	40-5	0-349	6,7	0-374
W2	4990	3,9	5200	139-30	42,4	80-20	0-168	8,7	0-184
W3	2950	25,2	3940	143-30	44,1	80-10	0-118	7,8	0-128
W4	4290	0,1	4290	137-30	12,4	120-10	0-154	11,5	0-174

Tabel 2. Hasil Simulasi (SIM) dan Hasil Penelitian (RIIL) Untuk Efisiensi Pemakaian Air Terhadap Total Biomasa (WSH) dan Hasil Biji (WSO) pada Musim Tanam 1989 dan 1990.

Tahun	WSH/AEVAP		WSO/AEVAP	
	SIM	RIIL	SIM	RIIL
1989	3,4	4,19 ±0,82 R ² = 0,95	1,95	2,25 ±0,59 R ² = 0,91
1990	3,9	3,15 ±0,43 R ² = 0,97	1,67	1,56 ±0,20 R ² = 0,97

304 mm pada 1989 dan 374 mm pada 1990. Pada kondisi kurang air (W2, W3), model cenderung menduga transpirasi sedikit lebih rendah dari data riil pada awal pertumbuhan, terutama pada 1989. Hal ini tampaknya berkaitan dengan pendugaan berat kering yang lebih rendah pada awal pertumbuhan, yakni sebelum hari ke 47 (1989) dan hari ke 53 pada 1990 (Gambar 3).

Pertumbuhan dan Produksi Tanaman

Model mensimulasikan produksi berat kering dengan baik, terutama untuk musim tanam 1990 pada tingkat pertumbuhan vegetatif, pada kurva pertumbuhan linear. Untuk musim tanam 1989, model cenderung mensimulasikan hasil sedikit lebih rendah dari data riil, terutama pada fase akhir pertumbuhan.

Pada kondisi kurang air, simulasi berat kering semakin menurun dengan meningkatnya tingkat stres air. Tanaman yang tumbuh pada kondisi tadah hujan (W4) masih mampu memberikan hasil lebih tinggi dari W3 karena

masih dapat menggunakan sisa-sisa air hujan selama musim tanam. Variasi produksi berat kering ini sangat erat korelasinya dengan kondisi air tanah dan tingkat penggunaan air oleh tanaman (Tabel 2).

Pada kondisi banyak air (W1), model menduga berat kering 7,5% lebih rendah dari data riil 12,2 t ha⁻¹ (1989) dan 2% lebih tinggi (1990) dari hasil penelitian yang mencapai 11,4 t ha⁻¹ (Tabel 1). Pada kondisi tadah hujan (W4), menduga 14,7% lebih rendah (1989) yang sebesar 3,9 t ha⁻¹ dan hanya 0,1% berbeda (1990) yang mencapai 4,3 t ha⁻¹. Di luar dugaan, untuk perlakuan W2, model cenderung mensimulasikan total berat kering jauh lebih tinggi, terutama untuk musim tanam 1989. Sebaliknya, untuk W3 model cenderung menduga produksi lebih rendah untuk kedua musim tanam.

Hubungan Antara Produksi Tanaman dan Pemakaian Air

Salah satu parameter yang paling umum digunakan untuk melihat hubungan antara pemberian air dan

hasil tanaman adalah efisiensi pemakaian air atau "water use efficiency" yang didefinisikan sebagai slope atau kemiringan dari kurva hubungan linier antara produksi berat kering dan total pemakaian air (Fisher & Turner, 1978).

Hubungan linier antara pemakaian air dan hasil tanaman ini disimulasikan dengan baik oleh model simulasi (tabel 2 & gambar 5). Hasil simulasi cukup mendekati hasil penelitian lapangan, dengan nilai $R^2 = 0,97$ (1989) dan $0,95$ (1990). Efisiensi pemakaian air disimulasikan sebesar $3,4 \text{ g kg}^{-1}$ (1989) dan $3,9 \text{ g kg}^{-1}$ (1990) sedikit berbeda dengan hasil penelitian, yakni $4,19 \pm 0,82 \text{ g kg}^{-1}$ (1989) dan $3,15 \pm 0,43 \text{ g kg}^{-1}$ (1990). Selain terhadap hasil total berat kering, hubungan linier ini juga dihitung sebagai ratio dari hasil biji (WSO). Untuk kedua musim tanam efisiensi pemakaian air berdasarkan hasil biji ini sedikit berbeda dengan efisiensi berdasarkan hasil berat kering total (Tabel 2).

PEMBAHASAN

Dalam model, hubungan antara hasil tanaman dan pemakaian air disimulasikan berdasarkan perhitungan dari de Wit (1958). Bila nilai evaporasi konstan selama musim tanam, maka efisiensi pemakaian air merupakan rasio dari biomas dan evaporasi. Karena pada kenyataannya evapotranspirasi tidak konstan selama musim tanam maka efisiensi pemakaian air harus dihitung dengan cara membandingkan hasil tanaman pada akhir musim tanam (baik WSH maupun WSO) dengan total pemakaian air selama musim tanam (CATRAN).

Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan antara hasil simulasi dengan data lapangan. Diantaranya adalah asumsi-asumsi yang dibuat dalam model, yang sedikit berbeda dengan kenyataan di lapangan. Seperti asumsi bahwa tidak ada pengaruh stres air terhadap *specific leaf area* dan distribusi asimilat, asumsi bahwa AMAX dianggap konstan, asumsi bahwa daun mati hanya terjadi setelah pembungaan saja

dan alokasi asimilat ke akar dan organ vegetatif terhenti setelah pembungaan. Perbedaan hasil simulasi dan riil dapat juga disebabkan oleh adanya nilai parameter yang tidak spesifik untuk kultivar yang digunakan dalam model, seperti konstanta untuk model *developmental stages* yang menggunakan nilai dari varietas lain, nilai SLA dan parameter untuk model pertumbuhan luas daun lainnya yang menggunakan data dari varietas lain sesama tipe *determinate*.

Salah satu penyebab rendahnya pendugaan hasil biji pada perlakuan W2 dan W3 antara lain adalah perbedaan pendugaan defisit air antara hasil simulasi dan data riil yang semakin besar pada akhir pertumbuhan. Hal ini mengakibatkan perbedaan yang lebih besar pada fase akhir dari pada fase yang lebih awal, sehingga produksi polong lebih banyak terpengaruh oleh stres air, karena pertumbuhannya terjadi pada fase akhir.

Air menjadi pembatas pertumbuhan apabila defisit air tanah mulai mempengaruhi proses pertumbuhan dan pembentukan biji. Sebagaimana yang dilaporkan Penmann (1970) dan French & Legg (1979) bahwa nilai dari defisit air pembatas pertumbuhan (Limiting Soil Deficit, LWD) selain ditentukan oleh daya jerap air dan sifat-sifat fisik tanah, juga oleh kemampuan perakaran tanaman dalam menjerap air. Menurut French & Legg (1979) defisit air pembatas pertumbuhan untuk tanaman kacang-kacangan pada tanah lempung berpasir adalah 30 mm, dimana daya jerap air dari jenis tanah ini relatif rendah. Penmann (1970) melaporkan defisit air pembatas sekitar 40 mm untuk *Vicia faba* L. yang ditanam pada tanah lempung berpasir. Dalam model ini ditetapkan nilai defisit air pembatas bagi pertumbuhan tanaman *Vicia faba* L. pada tanah lempung berpasir sebesar 45 mm, yang mana nilai ini diambil dari rata-rata dari beberapa laporan hasil penelitian pada jenis tanah dan tanaman yang sama. Penetapan nilai LWD ini sangat menentukan hasil simulasi tingkat stres pada pertumbuhan tanaman, terutama pada kondisi kekurangan air. Perbedaan

nilai LWD juga dapat menjadi salah satu penyebab perbedaan antara hasil simulasi dan data nil.

Perhitungan neraca air dibuat berdasarkan asumsi bahwa ketebalan profil tanah zona perakaran adalah 1 m. Asumsi ini ternyata dapat menjadi salah satu penyebab tingginya perkiraan defisit air dari hasil simulasi, terutama pada kondisi kering. Defisit air di bagian atas zona perakaran (sekitar 0,7 m - 0,85 m) biasanya lebih tinggi dari pada bagian yang lebih bawah (Hebblethwaite, 1982; Husain *et al*, 1990). Asumsi bahwa profil tanah pada zona perakaran hanya satu lapisan dengan kedalaman 1 m dalam perhitungan defisit air, terbukti memberikan hasil pendugaan yang lebih tinggi dari keadaan yang sesungguhnya pada kondisi kering. Disamping asumsi di atas, penentuan nilai kadar air pada saat tanam juga sangat menentukan hasil perhitungan defisit air pada fase selanjutnya. Dalam simulasi ini, kadar air pada saat tanam digunakan sebagai nilai awal dalam perhitungan dari neraca air sehingga besarnya sangat menentukan keadaan neraca air pada fase selanjutnya.

Defisit air pada perlakuan kekeringan mulai meningkat setelah hari ke 63 setelah tanam, dan mencapai maksimum pada akhir masa pertumbuhan. Defisit yang paling parah terjadi pada kondisi W3, yaitu mencapai 140 mm untuk kedua musim tanam. Irigasi setelah pembungaan (pada hari ke 63 untuk 1989 dan 66 untuk 1990), terbukti dapat menurunkan defisit air tanah sampai ke tingkat 44 mm pada kedua musim tanam, sehingga mengakibatkan peningkatan bobot kering tanaman hingga lebih tinggi dari perlakuan W3 dan W4. Pada W1, tidak tercapai tingkat LWD, sehingga tanaman pada kondisi ini dapat mencapai tingkat produksi paling tinggi.

Hasil simulasi ini sesuai dengan temuan dari Grashoff (1990a) yang membuktikan bahwa produksi tanaman yang paling tinggi dicapai pada tanaman yang diairi selama musim pertumbuhannya, terutama pada fase setelah pembungaan. Produksi yang paling rendah terjadi

bila tanaman mengalami stres kekeringan pada periode setelah pembungaan dan yang ditanam pada kondisi tadah hujan. Hal Ini membuktikan bahwa variasi hasil tanaman berkaitan erat dengan pengaturan pengairan.

Kemungkinan yang lain penyebab perbedaan hasil adalah faktor distribusi asimilat. Karena terbatasnya informasi mengenai nilai parameter dari kultivar yang digunakan dalam model secara khusus, maka digunakan nilai parameter untuk kultivar yang berbeda untuk menghitung distribusi asimilat ke organ-organ tanaman. Tidak dimasukkannya faktor stres air terhadap perkembangan fase pertumbuhan dan distribusi asimilat dalam model juga dapat menjadi penyebab perbedaan hasil.

KESIMPULAN DAN SARAN

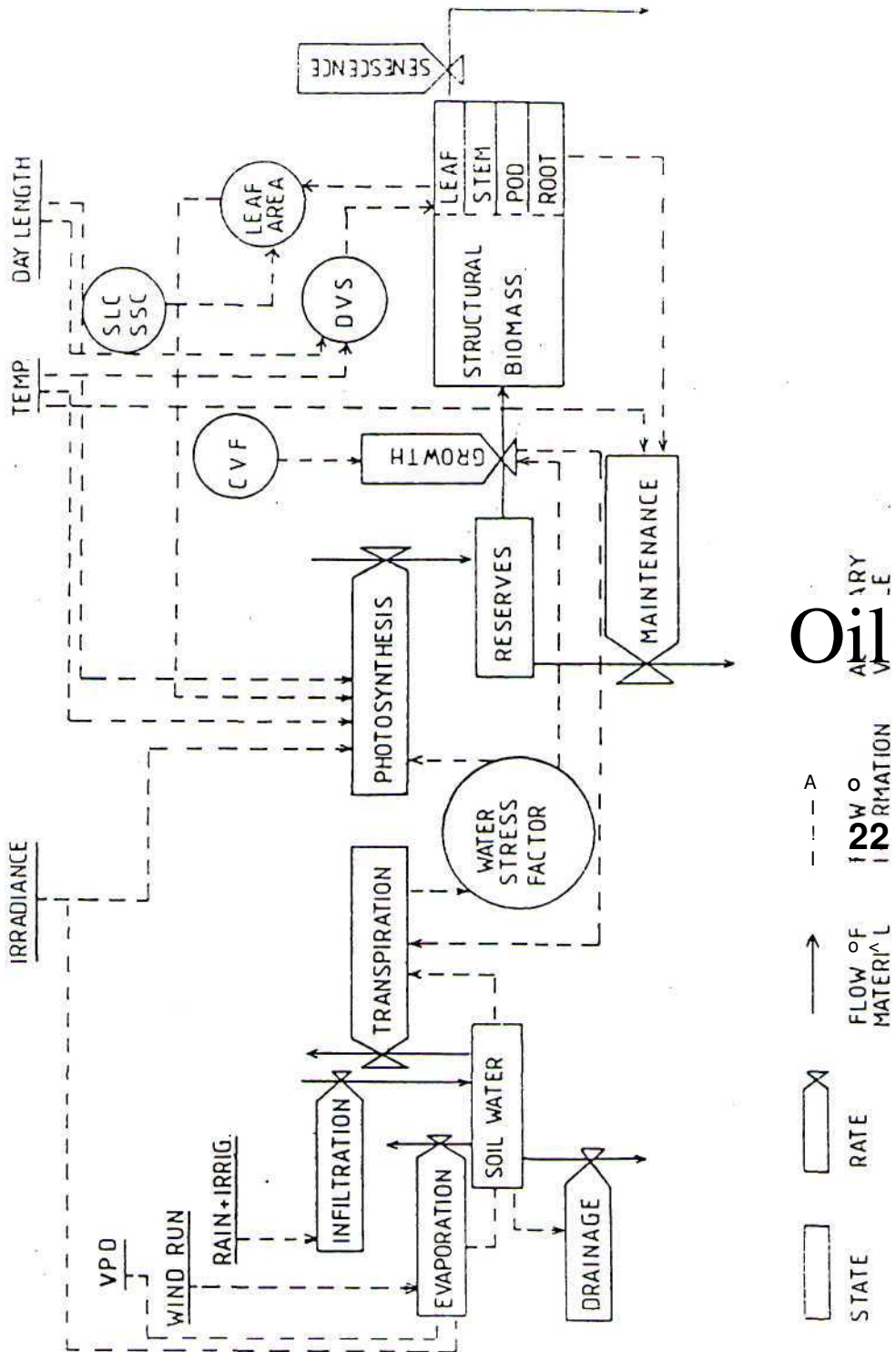
Dapat disimpulkan bahwa model mensimulasikan produksi tanaman cukup baik pada kondisi penanaman dengan pengairan W1 dan W4 cukup baik untuk kedua musim tanam. Tetapi model cenderung memberikan hasil yang berbeda untuk produksi pada kondisi tanam yang kurang air (W2 and W3), terutama pada hari ke 76 (1989) dan ke 101(1990). Perbedaan ini lebih besar terjadi pada pendugaan hasil biji pada saat panen.

Ketelitian model dalam mensimulasikan neraca air tanah pemakaian air oleh tanaman sudah dapat diterima untuk tujuan studi ini. Walaupun masih ada beberapa asumsi dan nilai parameter yang perlu diperbaiki dan diteliti lebih lanjut.

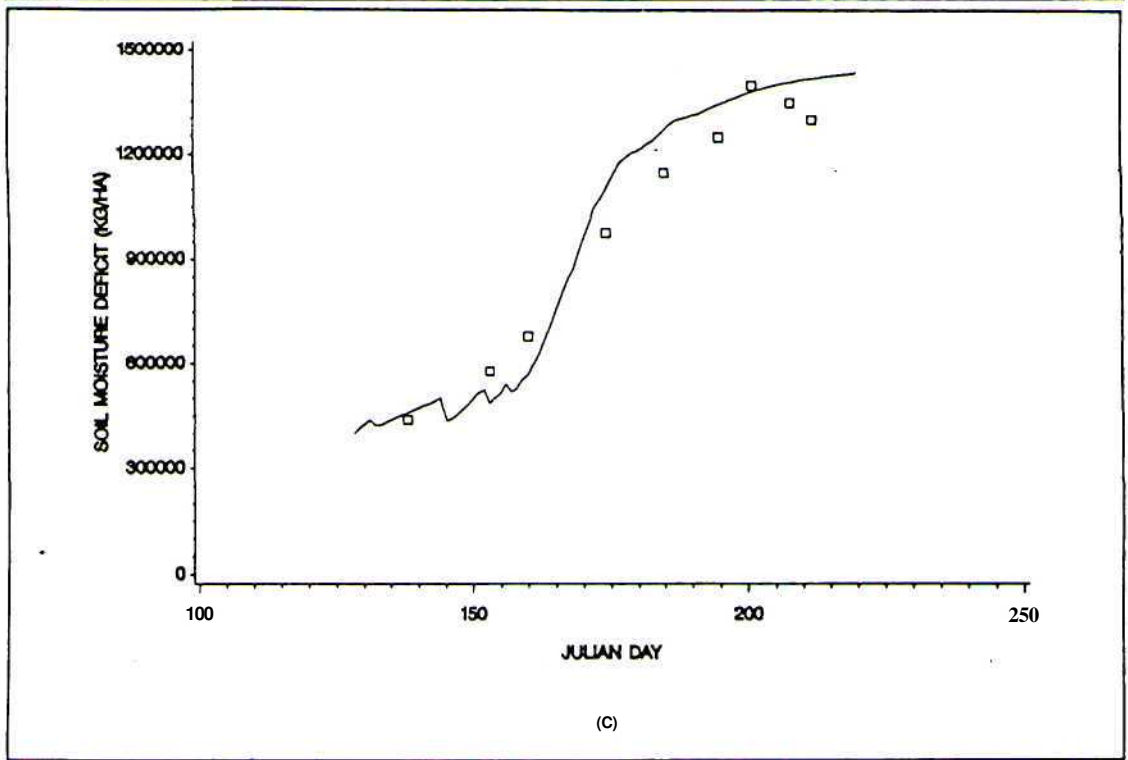
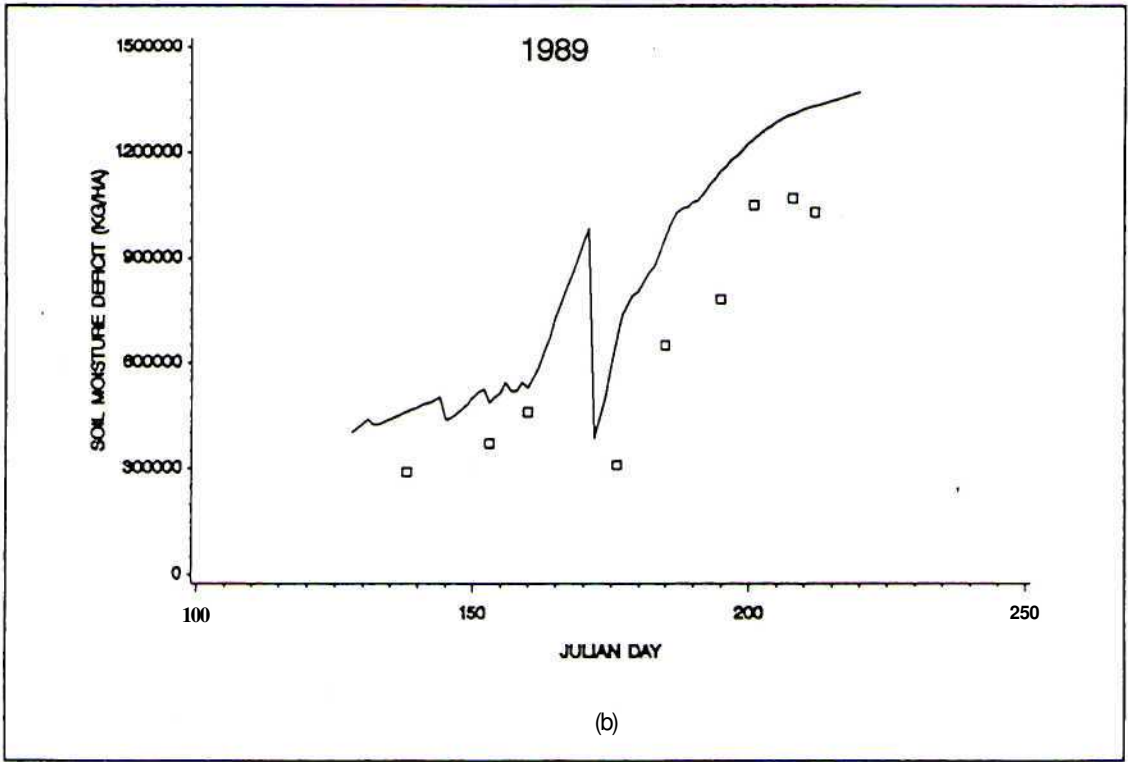
DAFTAR PUSTAKA

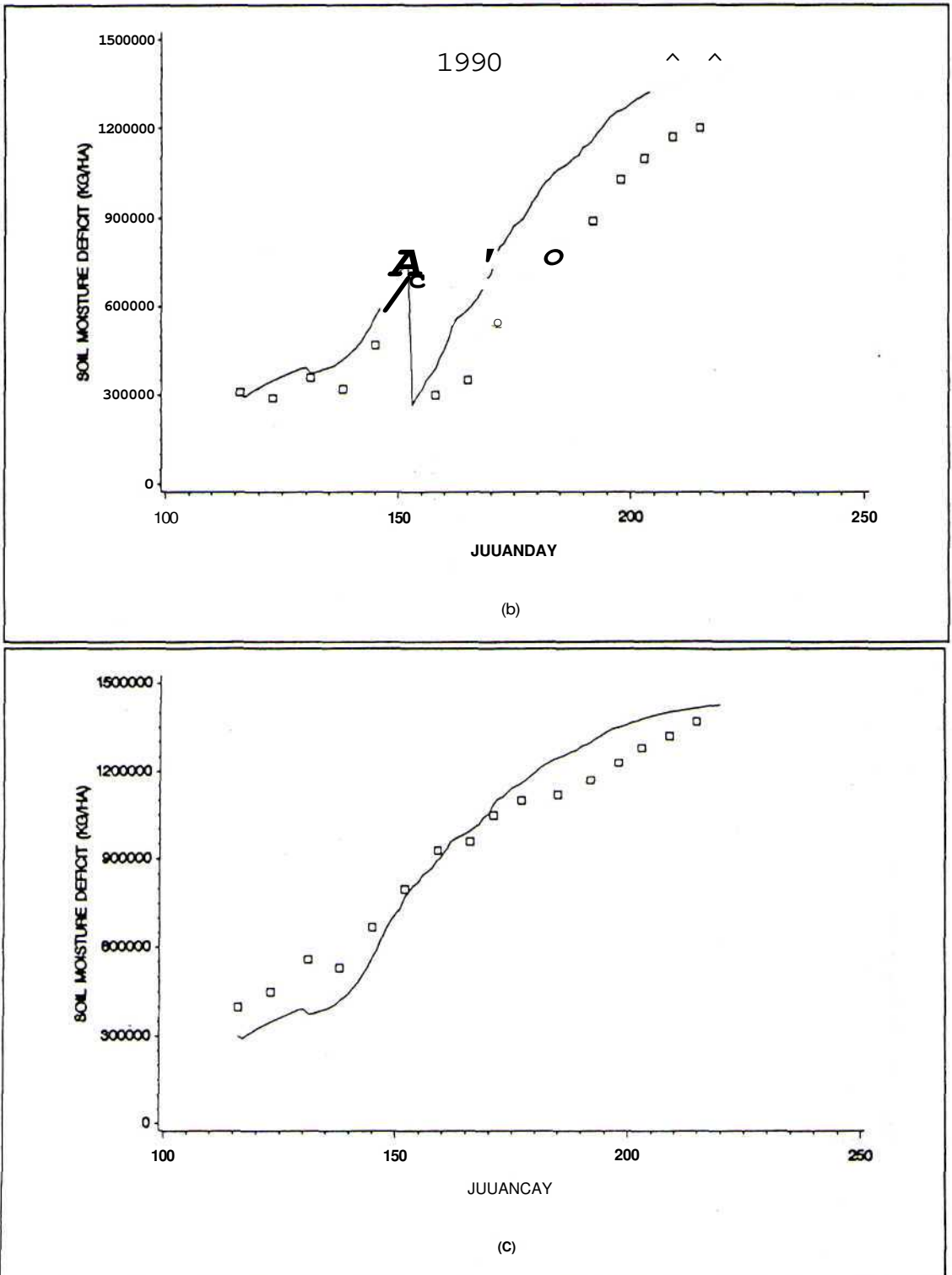
- de Costa WAJM. **1992**. *Effects of Contrasting Water Regimes on Dry Matter Production, Radiation and Water Use and Stomatal Conductance of Determinate and Indeterminate Faba Bean (Vicia faba L.)*. A PhD Thesis, Reading University. **608** pp.
- del Pozo A and MD **Dennett**. **1992**. *Modelling the Effect of Leaf Nitrogen Content on Crop Photosynthesis and Radiation Use Efficiency. Aspect of Applied Biology*. The

- Art and Craft of Modelling in Applied Biology 26,285 - 289.
- de Wit CT. 1958.** *Transpiration on Crop Yields.* Institute for Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage, Wageningen. No. **64.6. 58** pp.
- de Wit CT. 1982.** Simulation of Living Systems. In : *Simulation of Plant Growth and Crop Production.* Penning de Vries FWT and HH van Laar (Eds.). Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen.
- Ellis RH, EH Robert & RJ Summerfield. 1990.** Flowering in Faba bean: Genotype Differences in Photoperiod Sensitivity, Similarities in Temperature Sensitivity and Implication for Screening Germplasm. *Annals of Botany* 65, 129 - 138.
- Fisher RA and NCTurner. 1978.** Plant Productivity in the Arid and Semi Arid Zone. *Annual Review of Plant Physiology* 29,277-317.
- French BK and BJ Legg 1979.** Rothamsted Irrigation 1964 - 76. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 92, 15 - 37.
- Goudriaan J and HH van Laar. 1978.** Calculation of Daily Totals of Gross CO₂ Assimilation of Leaf Canopies. *Netherland Journal of Agricultural Science* 26, 373 - 382.
- Grashoff C. 1990a.** Effects of Pattern of Water Supply on *Vicia faba* L. 1. Dry Matter Partitioning and Yield Stability. *Netherland Journal Agricultural Science* 38,21-44.
- Heblethwaite PD. 1982.** The Effects of Water Stress on the Growth, Development and Yield of *Vicia faba* L. in : *Faba Bean Improvement World Crops : Production, Utilization*, vol. 6. Hawtin H and C Webb (Eds.). Martinus Nijhof, The Hague, pp. 165 -175.
- Husain MM, JB Reid, H Othman & JN Gallagher. 1990.** Growth and Water Use of Faba Beans (*Vicia faba* L.) in a Sub-Humid Climate. I. Root & Shoot Adaptation to Drought Stress. *Field Crop Research*, 23, 1-17.
- Keulen H van. 1975.** *Simulation of Water Use and Herbage Growth in Arid Regions.* Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen.
- Keulen H van. 1982.** Crop Production Under Semi-Arid Conditions, as Determined by Nitrogen and Moisture Availability. In: *Simulation of Plant Growth and Crop Production.*
- Keulen H van, FWT Penning de Vries and EM Drees. 1982.** A Summary Model of Crop Growth. In: *Simulation of Plant Growth and Crop Production.* Penning de Vries FWT and HH van Laar (Eds.). Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen. pp. 87 - 98.
- Penmann HL. 1948.** Natural Evaporation from Water, Bare Soil and Grass. *Proceeding of Royal Society, A* 193, 120 - 146.
- Penmann HL. 1970.** Woburn Irrigation 1960 - 8. VI. Results for Rotation Crops. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 75, 89 - 102.
- Penning de Vries FWT and HH van Laar (Eds).** *Simulation Monograph.* Pudoc, Wageningen. pp. 234 - 249.
- Penning de Vries FWT, DM Jansen, HFM Ten Berge and A Bakema. 1989.** *Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops.* Pudoc, Wageningen, 271 pp.
- Ratnaweera U. 1991.** *Dry Matter Production in Determinate and Indeterminate Cultivars of Vicia faba Under Water Stress.* A PhD Thesis. Reading University.

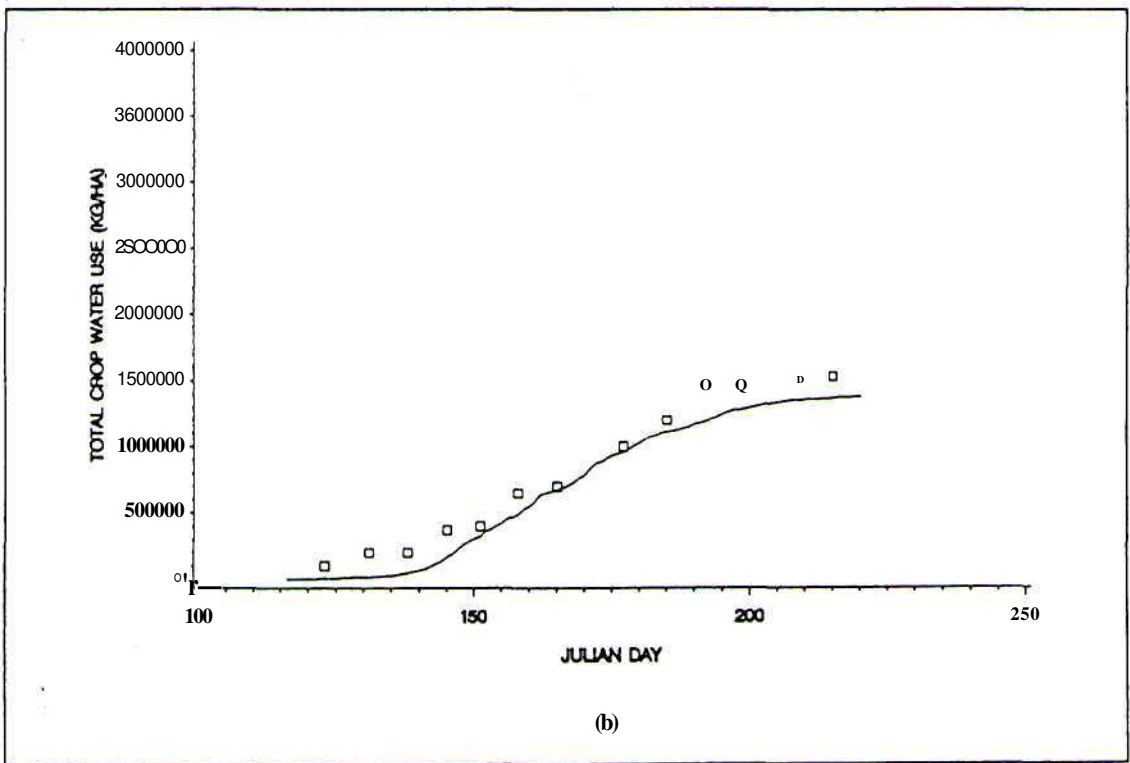
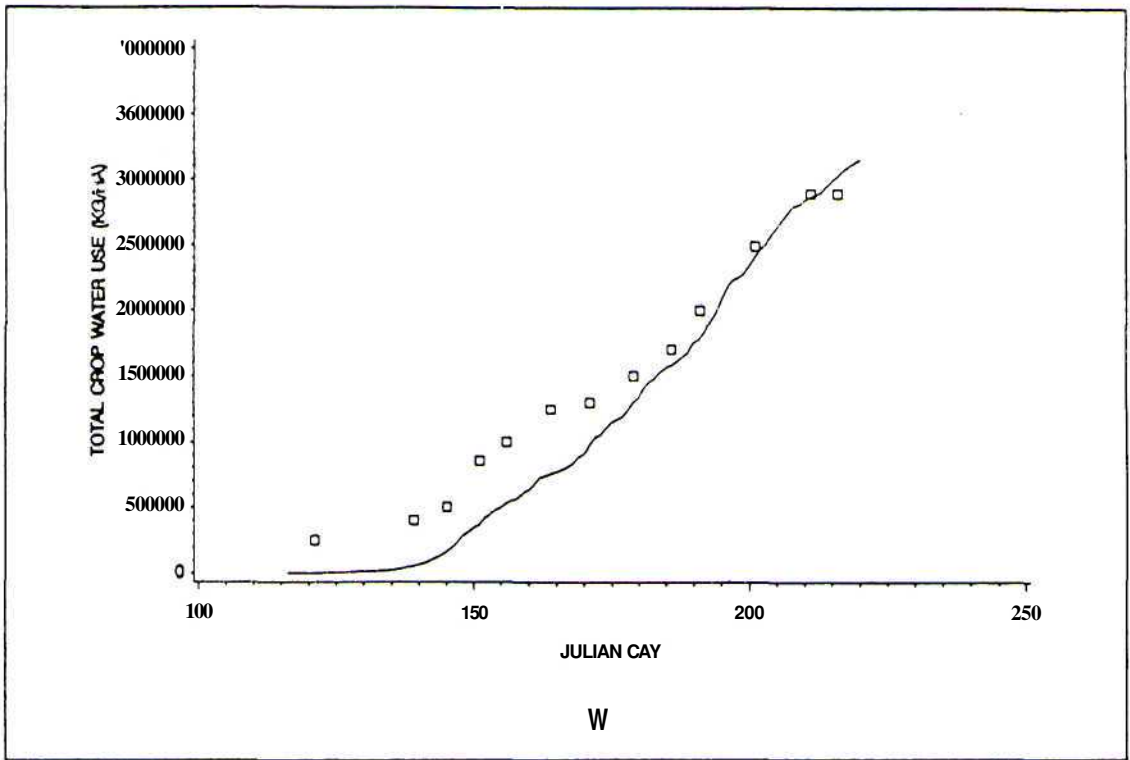


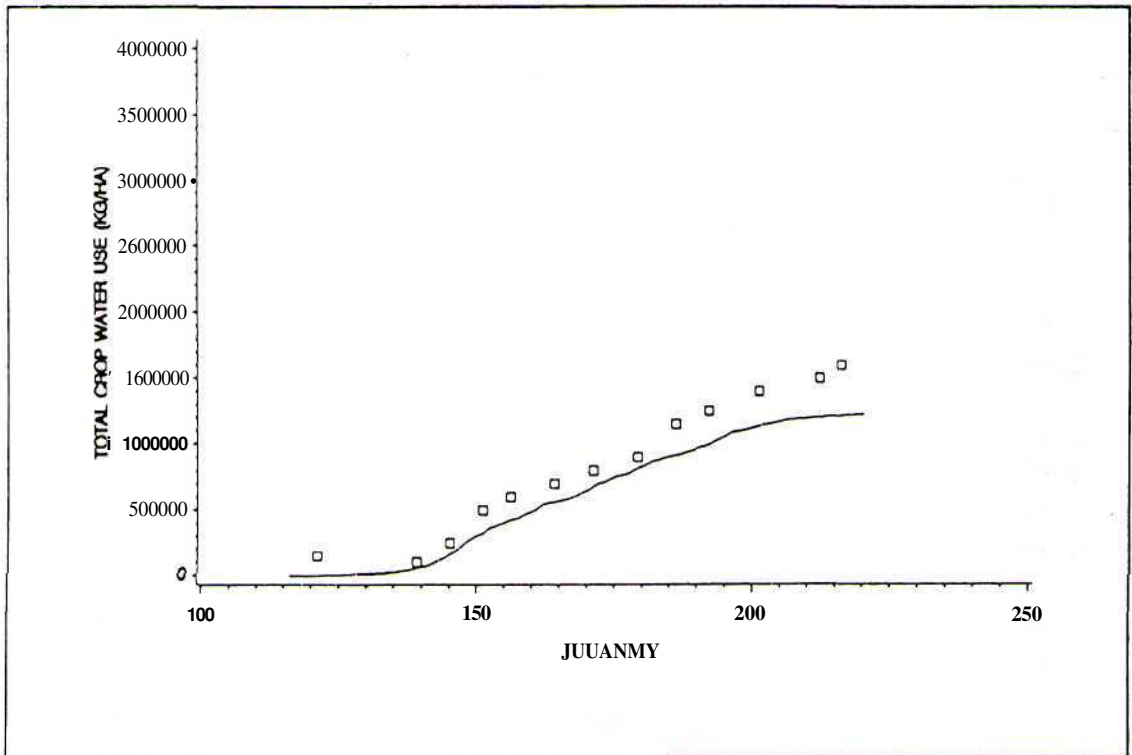
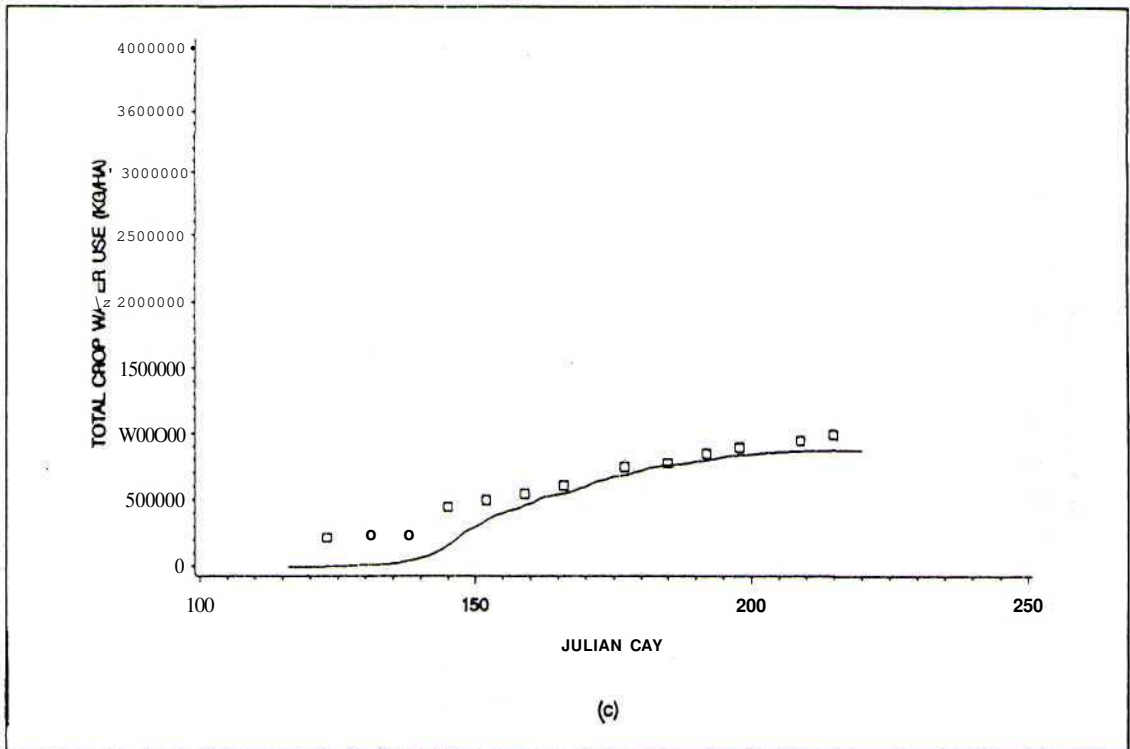
Gambar 1. Diagram Model Pertumbuhan *Vicia faba* L. (VICIMOD) digabungkan dengan Model Neraca Air (Diadaptasi dan Dikembangkan dari Penning de Vries, 1982)



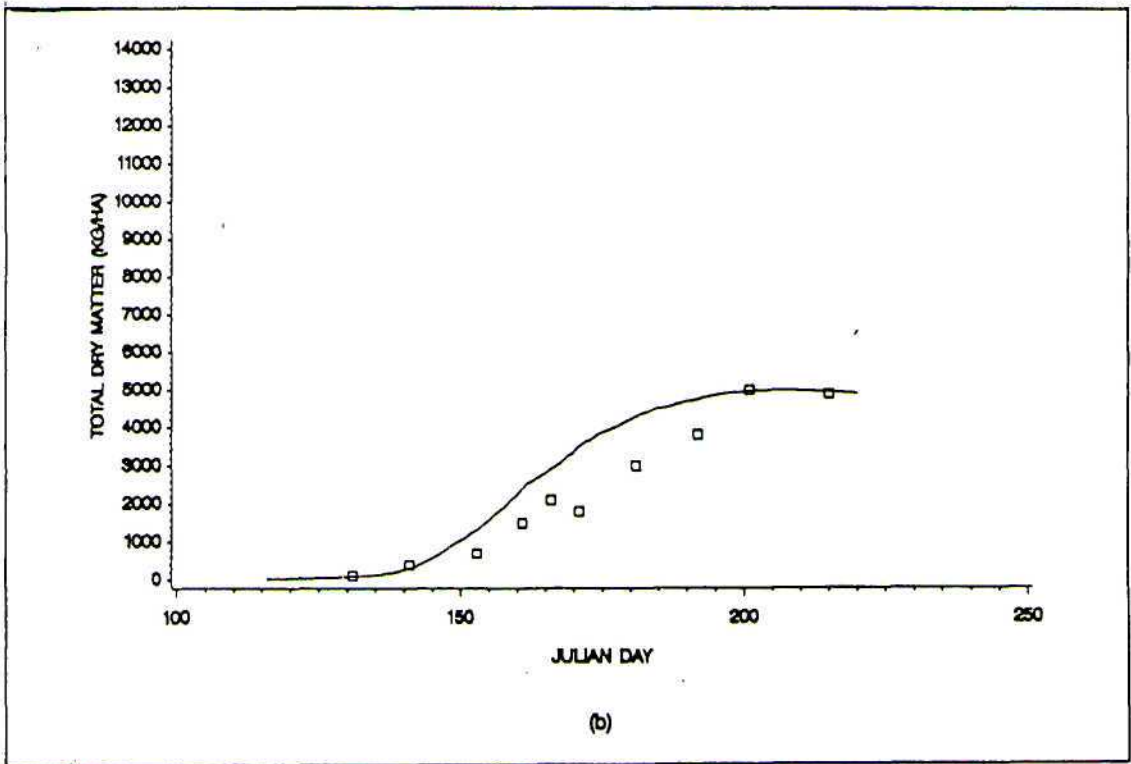
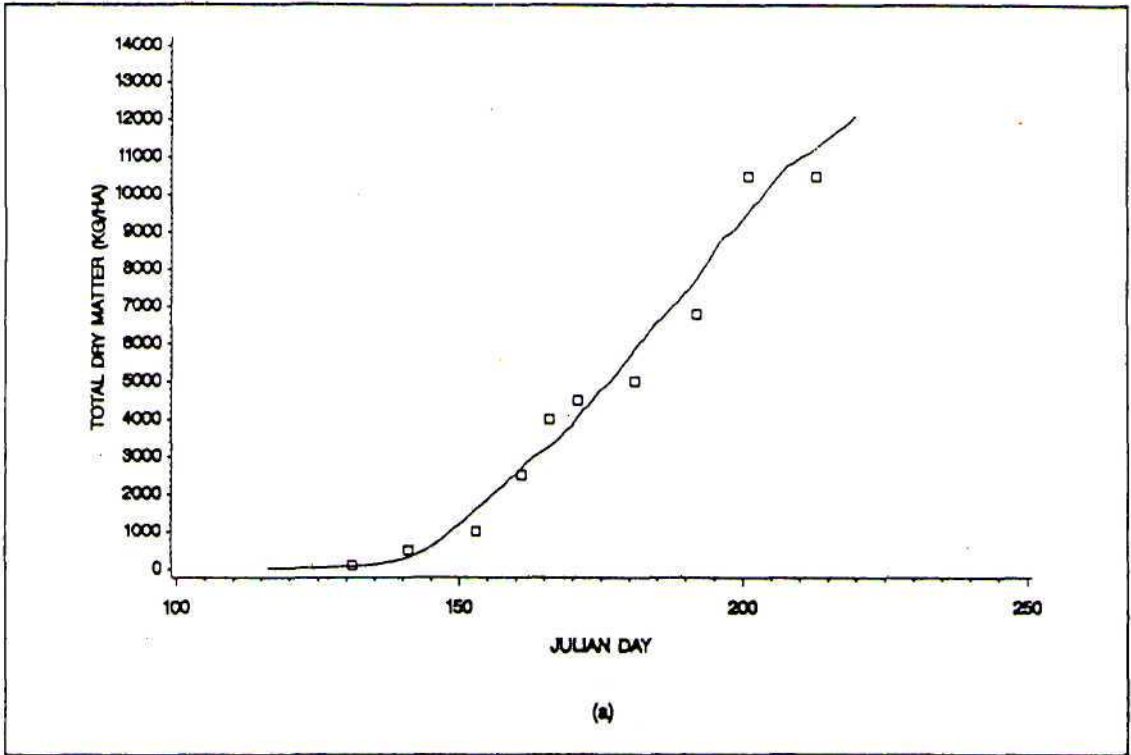


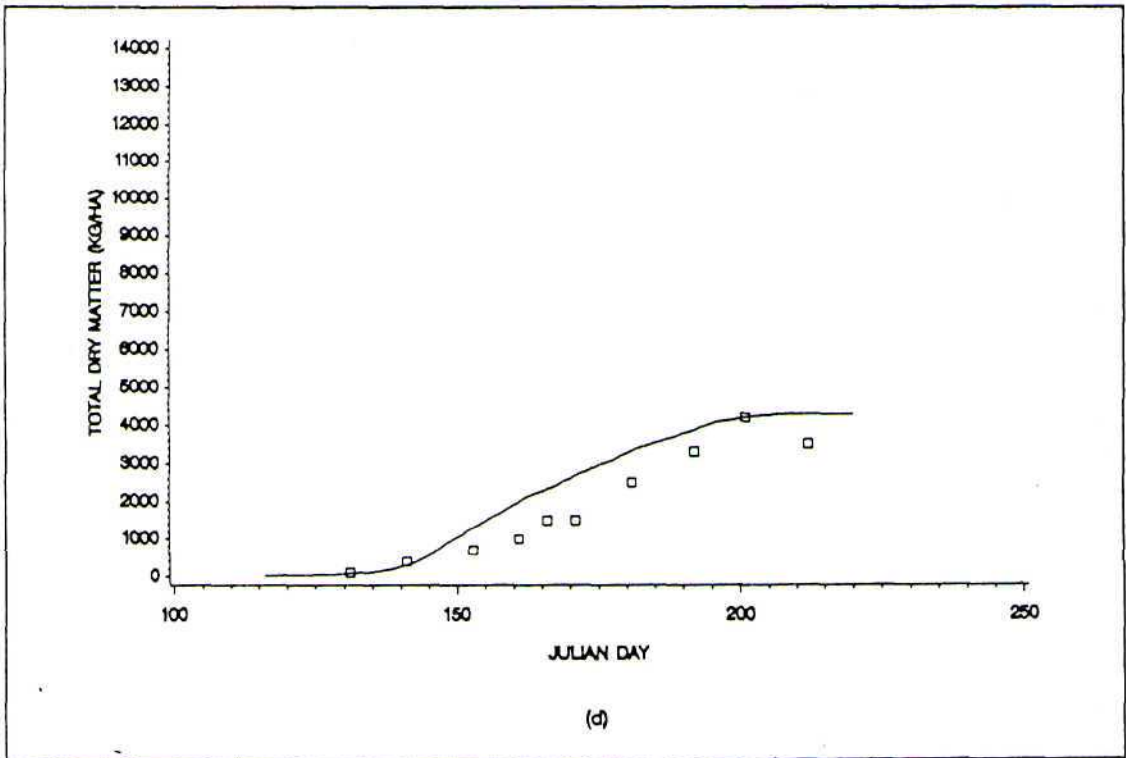
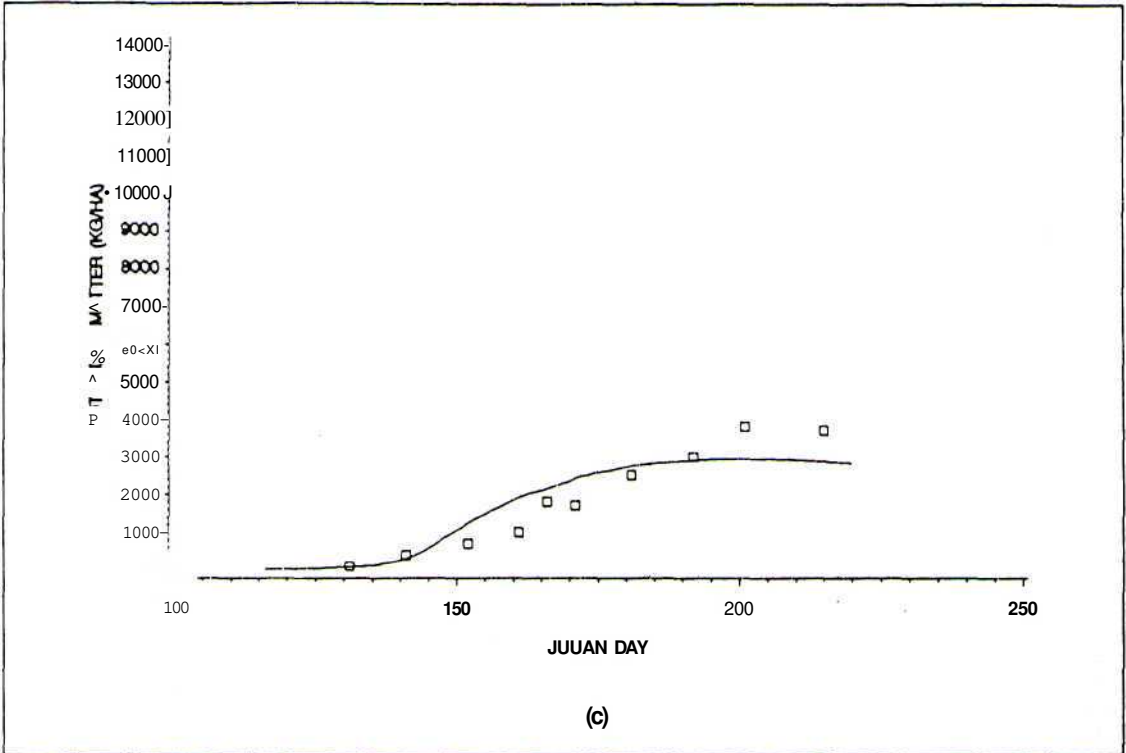
Gambar 2. Defisit air pada perlakuan irigasi setelah pembungaan (b) dan Kering (W3) pada musim tanam 1989 dan 1990. Perbandingan antara simulasi (-) dan hasil penelitian (o).



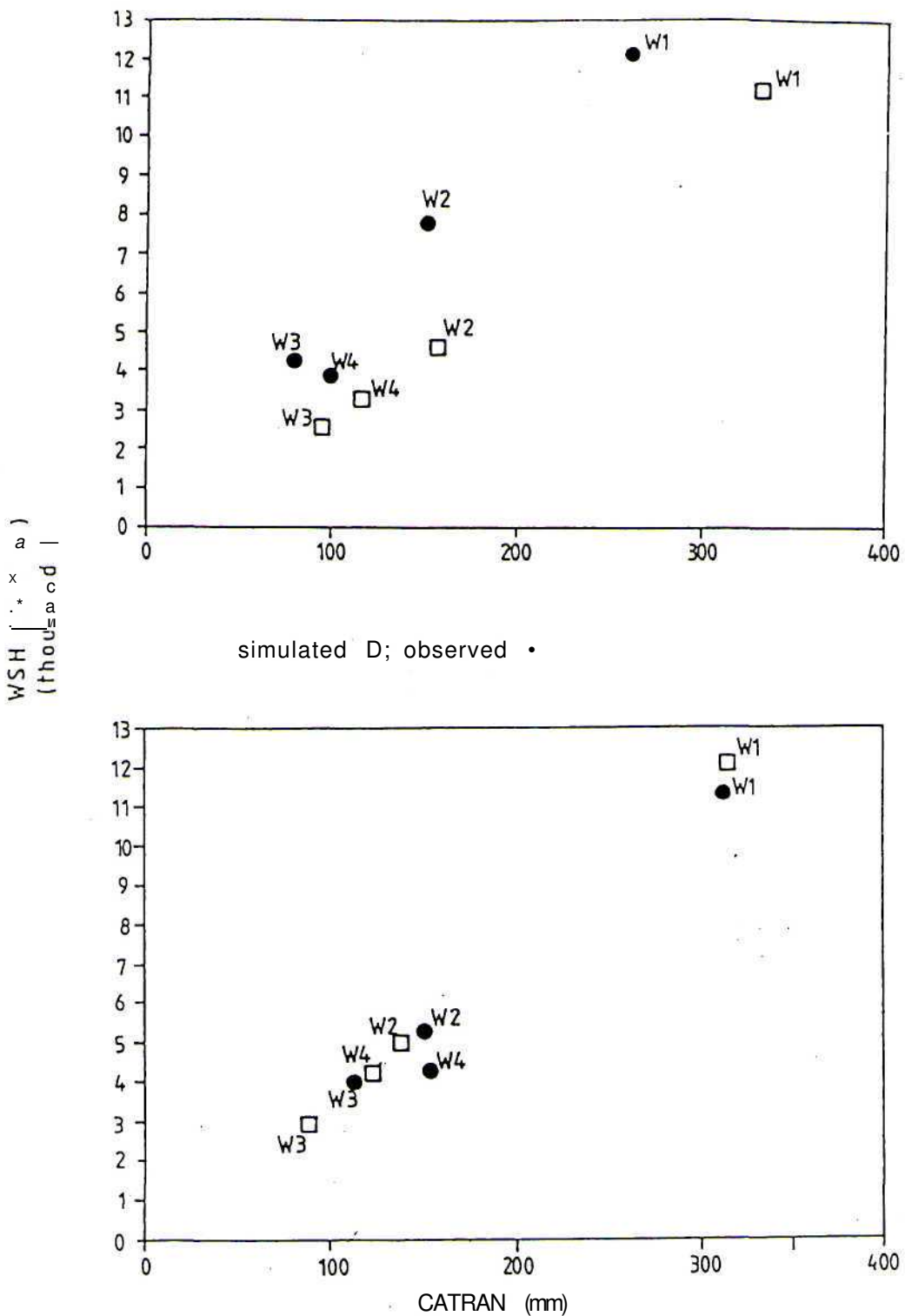


Gambar 3. Transpirasi pada perlakuan irigasi (a), irigasi setelah pembungaan (b), kering (c) dan tadah hujan (d) pada musim tanam 1990. Perbandingan antara simulasi (-) dan hasil penelitian (o).





Gambar 4. Produksi berat kering pada perlakuan irigasi (a), irigasi setelah pembungaan (b), kering (c) dan tadah hujan (d) pada musim tanam 1990. Perbandingan antara simulasi (-) dan hasil penelitian (•).



Gambar 5. Hubungan antara berat kering dan pemakaian air pada perlakuan irigasi (W1), irigasi setelah pembungaan (W2), kering (W3) dan tadah hujan (W4) pada musim tanam 1989 (atas) dan 1990 (bawah). Perbandingan antara simulasi (□) dan hasil penelitian (•).