

APLIKASI SIMULASI MODEL DINAMIS PERTUMBUHAN TANAMAN UNTUK MENDUGA PRODUKSI TANAMAN PADI

Dede Dirgahayu Domiri

Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

e-mail: dede_dirgahayu03@yahoo.com

ABSTRACT

The study was conducted to explore the physical processes and weather and its influence on the development of rice plants, and to analyze the simulation results that can be applied to predict rice crop production. Methods which used in this research are water balance model, growth and development model through Dynamic Modeling Simulation. Results of a study showed that the optimal planting time can be predicted from the simulation model; rice yield potential can be estimated based on the maximum leaf area index, and a decrease in rice yield can be predicted from changes in ratio value of Actual and Maximum Evapotranspiration (ET_a/ET_m) which generated by the model.

Keywords: *Simulation model, Water balance, Rice crop production*

ABSTRAK

Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mendalami proses fisik dan cuaca serta pengaruhnya terhadap perkembangan tanaman padi, dan menganalisis hasil-hasil model simulasi yang dapat diterapkan untuk prediksi produksi tanaman padi. Metode yang digunakan adalah model neraca air, model pertumbuhan dan model perkembangan tanaman padi melalui simulasi pemodelan dinamis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu tanam yang optimal dapat diprediksi berdasarkan simulasi model; potensi hasil padi dapat diestimasi berdasarkan indeks luas daun maksimum, dan penurunan hasil padi dapat diprediksi berdasarkan perubahan nilai rasio Evapotranspirasi Aktual dan maksimum ET_a/ET_m yang dihasilkan Model.

Kata kunci: *Model simulasi, Neraca air, Produksi tanaman padi*

1 PENDAHULUAN

Sebuah model merupakan representasi sederhana dari suatu sistem di alam nyata yang bermanfaat untuk kepentingan tertentu. Model menurut referensi waktu terdiri dari:

- Model Statis yaitu model yang tidak memasukan faktor waktu dalam perumusannya.
- Model Dinamis yaitu model yang mempunyai unsur waktu dalam perumusannya dan menunjukkan perubahan setiap saat akibat aktivitas-aktivitasnya.

Dewasa ini pada bidang pertanian, model-model yang dikembangkan ber-

dasarkan pendekatan sistem dinamis yang ditujukan untuk memahami proses yang kompleks dan dilakukan melalui simulasi model dinamis. Model simulasi pertanian tersebut mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan hasil penelitian agronomi di lapangan khususnya dalam penghematan waktu dan biaya. Keunggulan lain dari model simulasi ini adalah dapat diterapkan pada musim dan tempat yang berbeda-beda, asalkan asumsi-asumsi yang ada dipenuhi. Model simulasi dilakukan dengan tujuan: (1) untuk pemahaman proses, (2) prediksi, dan (3) untuk keperluan manajemen (Handoko, 1994).

Penggunaan komputer dalam mengkaji bagaimana sebuah model berperilaku disebut simulasi. Pemodelan komputer telah menjadi sebuah alat untuk meningkatkan pemahaman bagaimana realitas fisik dan biologis bekerja dan untuk mengeksplorasi kemungkinan perilaku sistem ketika hipotesis-hipotesis alternatif diimplementasikan dalam model-model tersebut (Vos *et al.*, 2007).

Model simulasi tanaman merupakan alat analisis kuantitatif dalam hubungan pertumbuhan tanaman dengan lingkungannya (iklim dan tanah). Model ini membantu pemahaman pengaruh lingkungan, khususnya variasi unsur-unsur cuaca terhadap tanaman termasuk untuk keperluan prediksi. Model simulasi yang handal dapat digunakan untuk mengurangi jumlah percobaan lapangan yang memerlukan biaya dan waktu yang banyak. Dengan memahami mekanisme proses yang terjadi selama pertumbuhan tanaman (yang biasanya sangat rumit) yang dijelaskan oleh model, keputusan-keputusan taktis dapat dilakukan, seperti penentuan saat tanam yang optimum, waktu serta jumlah air irigasi yang harus diberikan (Lin Wu, *et al.*, 2004). Dalam model simulasi tanaman, faktor penting yang juga patut diperhitungkan dalam model adalah ketersediaan air untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tanaman sangat tergantung pada ketersediaan air tanah untuk proses transpirasi (Handoko, 2005). Kondisi ketersediaan air bagi tanaman tersebut dapat digambarkan melalui neraca air lahan.

Tujuan dari pembuatan model simulasi dalam kajian ini adalah: (1) untuk lebih memahami pengetahuan

tentang pemrograman simulasi neraca air tanaman dan perkembangan tanaman, (2) mengaplikasikan model-model simulasi pada tanaman padi pertanian, (3) mendalami proses-proses fisik dan cuaca dalam hubungan pengaruhnya terhadap perkembangan tanaman, dan (4) mampu menganalisis hasil-hasil simulasi sehingga hasil simulasinya dapat diterapkan untuk pengelolaan dan prediksi (pertumbuhan, perkembangan, dan hasil) tanaman padi.

Simulasi tanaman dan neraca air pada penelitian ini diterapkan pada tanaman padi varietas IR64 untuk wilayah kajian di Semarang.

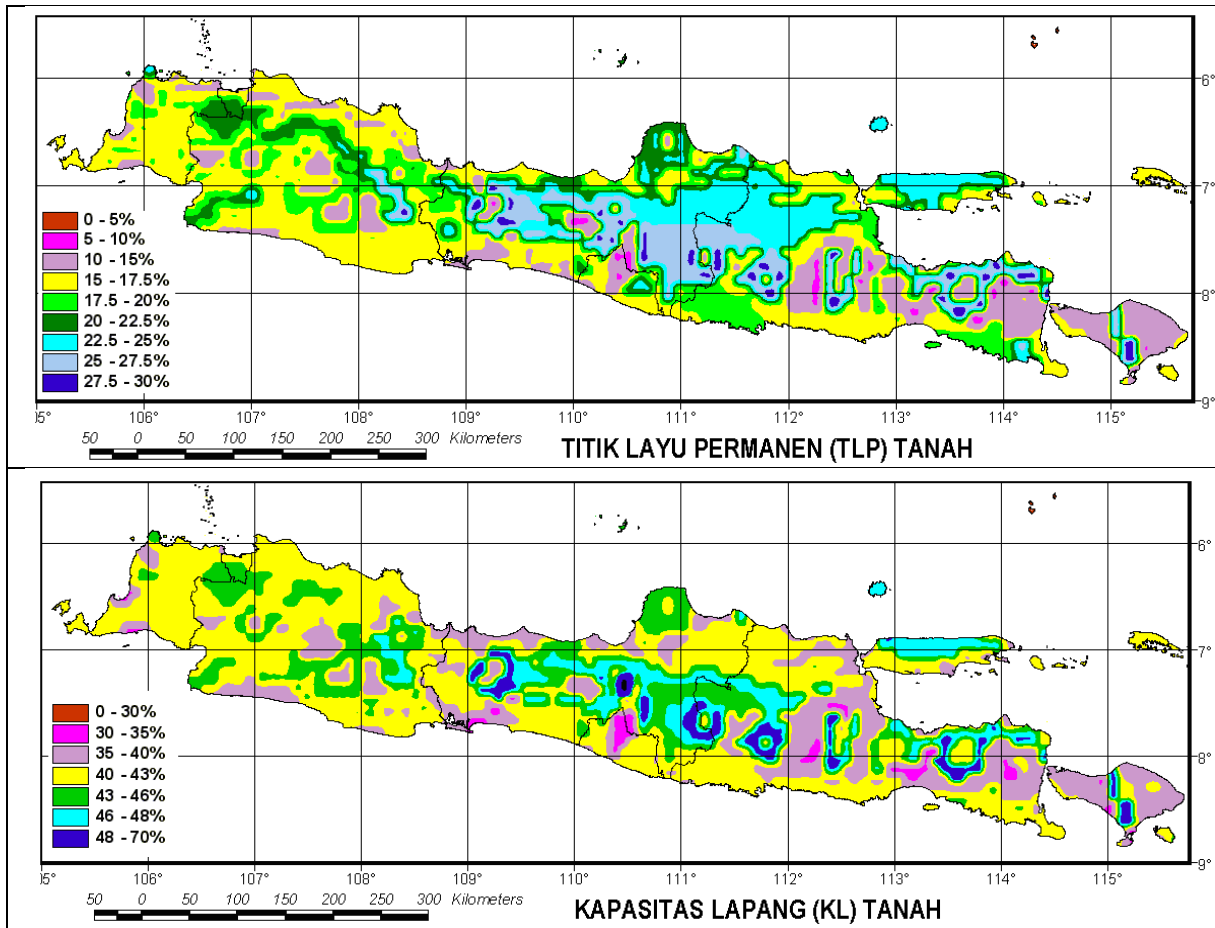
2 METODOLOGI

2.1 Data dan Alat

Data yang digunakan dalam simulasi ini adalah data iklim harian tahun 2001-2005 Stasiun Meteorologi-Semarang, yaitu data curah hujan, data evaporasi panci, suhu udara rata-rata, dan radiasi Matahari. Sedangkan, data sifat fisik tanah berupa Titik Layu Permanen (TLP) dan Kapasitas Lapang (KL) yang digunakan adalah informasi hasil analisis spasial dan interpretasi Geomorfologi yang didukung oleh survey lapangan oleh tim FAO. Hasil interpolasi spasial menggunakan SW ArcView dapat dilihat pada Gambar 2-1.

2.2 Metode

Dalam kajian ini digunakan dua model simulasi, yakni simulasi neraca air dan simulasi pertumbuhan tanaman padi Varietas IR64 dan Ciliwung di lahan sawah, sekitar stasiun meteorologi wilayah Semarang.



Gambar 2-1: Sebaran Spasial Titik Layu Permanen (TLP) dan Kapasitas Lapang (KL) di Pulau Jawa - Bali (Sumber IGBP, FAO)

2.2.1 Neraca air

Komponen neraca air yang diperhitungkan dalam model simulasi ini meliputi curah hujan (Pg), intersepsi tajuk (Ic), infiltrasi (Inf), perkolasi (Pc), limpasan permukaan (Ro), kadar air tanah (SWC), evaporasi dan transpirasi. Untuk memahami mekanisme proses yang terjadi dalam neraca air secara lengkap disajikan dalam diagram Forrester pada Gambar 2-2. Sedangkan perinciannya dapat dilihat pada Diagram Alir Neraca Air Tanaman (Gambar 2-3).

Jumlah air yang diintersepsi oleh kanopi (Ic) ditentukan oleh nilai Indeks Luas Daun (LAI) dari kanopi dan curah hujan (Pg) dengan persamaan sebagai berikut (Zinke, 1967 dalam Handoko, 2005):

$$Ic = \min (Ic^*, Pg), \tag{2-1}$$

dimana $Ic^* = 1.27$, jika $Lai \geq 3.0$ dan $Ic^* = 0.4233 * Lai$, jika $Lai < 3.0$

Curah hujan neto (Pn) merupakan air yang tersisa yang akan bergerak ke permukaan tanah melalui aliran batang (*stem flow*) dan air lolos tajuk (*through fall*) yang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Pn = Pg - Ic \tag{2-2}$$

Di permukaan tanah, sebagian air akan bergerak mengikuti kemiringan lahan sebagai limpasan dan air yang tersisa akan berinfiltrasi masuk lapisan tanah atas. Air yang terinfiltrasi ini dihitung sebagai fungsi dari curah hujan neto (Pn), kemiringan permukaan tanah (α) dan kandungan air tanah (SWC₁) dari lapisan atas. Limpasan akan meningkat dengan makin curamnya kemiringan lahan dan kandungan air tanah meningkat sampai kapasitas lapang tercapai (FC₁), tetapi menurun dengan makin banyaknya tegakan pohon yang diwakili oleh meningkatnya nilai Lai.

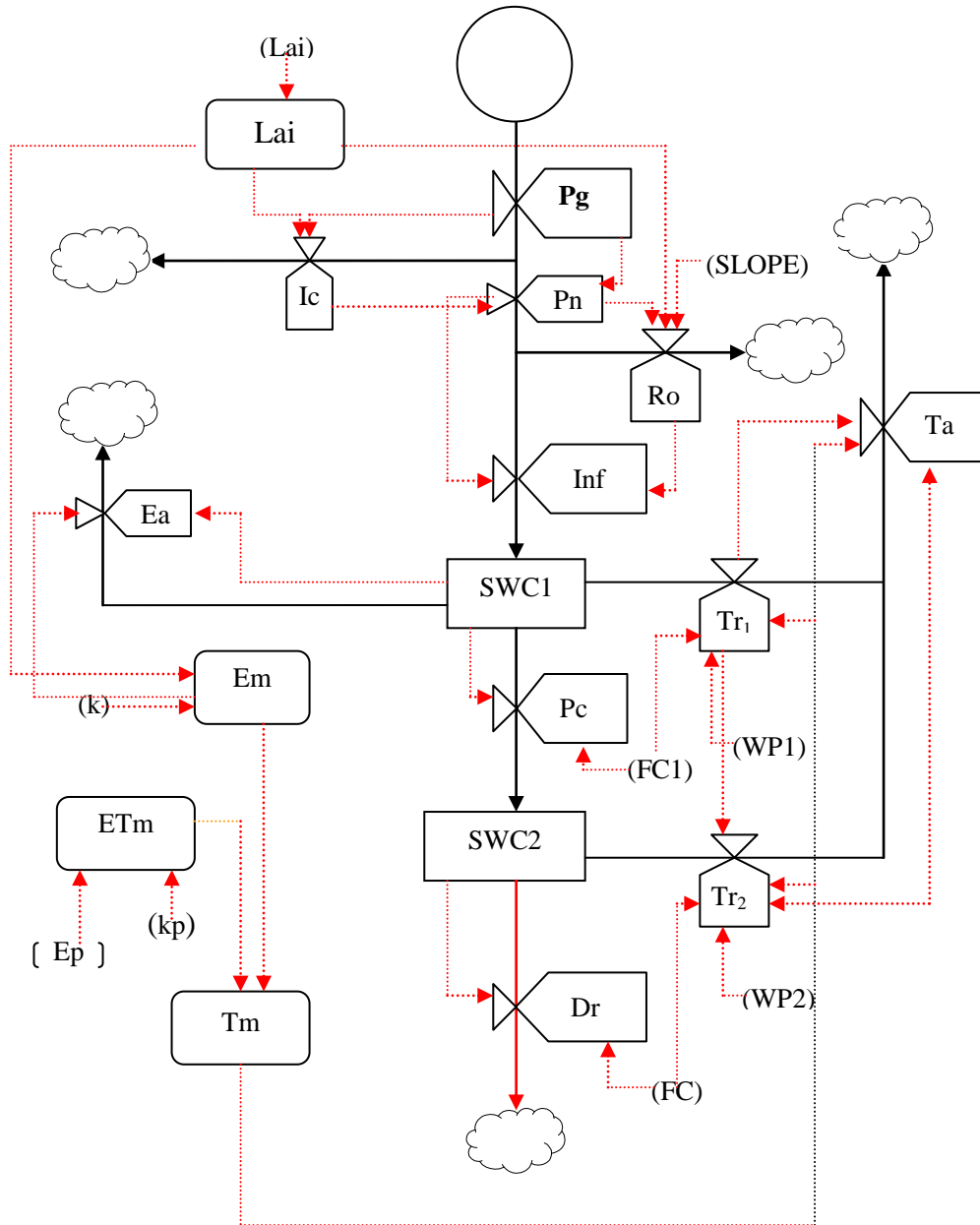
Limpasan dihitung dengan persamaan (Handoko, 2005):

$$Ro = Pn * \sin \alpha * (SWC1 / FC1) / (LAI + 1), \quad (2-3)$$

Jika $\alpha < 90$
 Jika $\alpha \geq 90$
 $Ro = Pn$

Infiltrasi (Inf) dihitung berdasarkan selisih antara curah hujan neto (Pn) dengan limpasan (Ro), sebagai berikut:

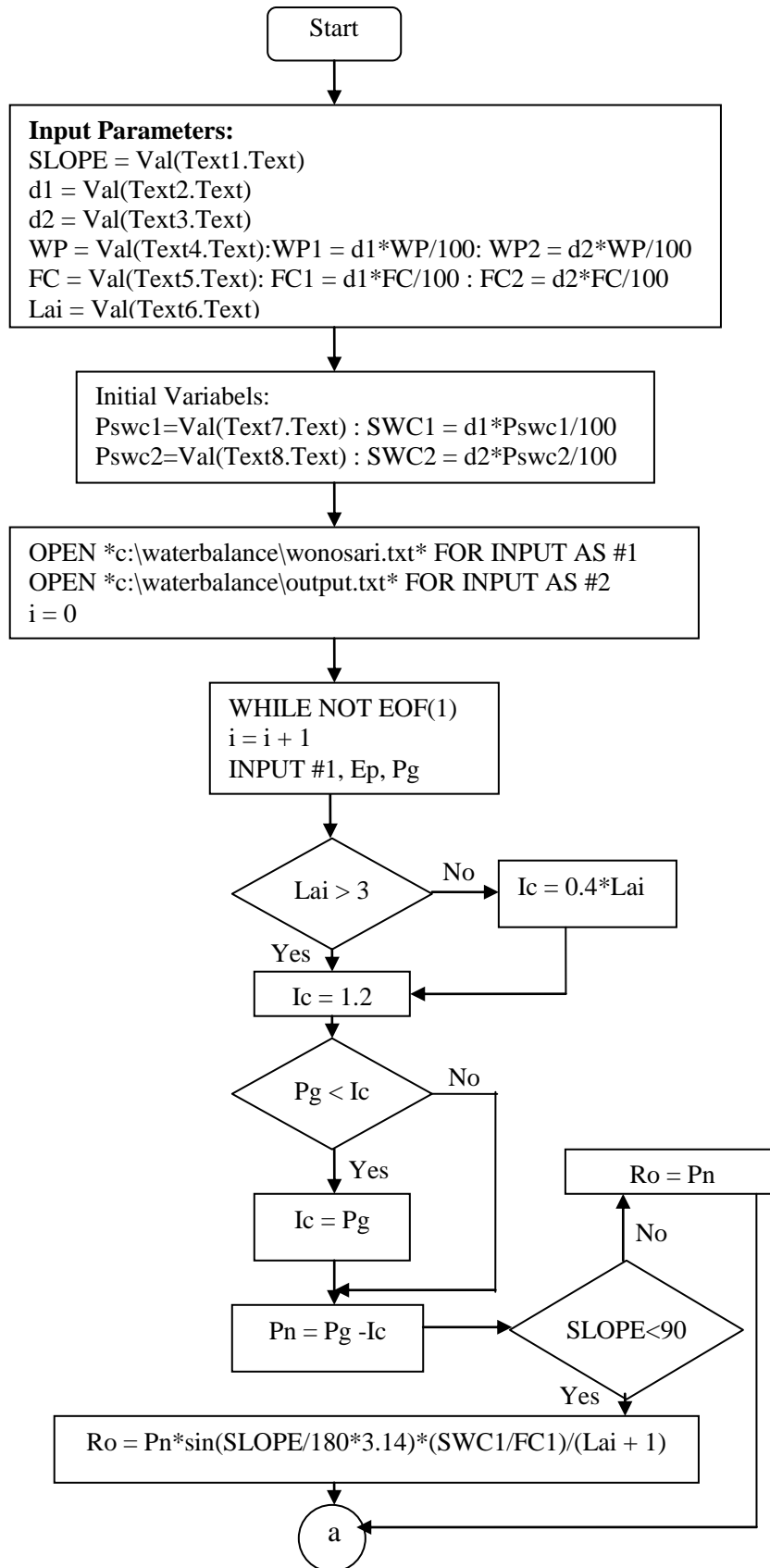
$$Inf = Pn - Ro \quad (2-4)$$

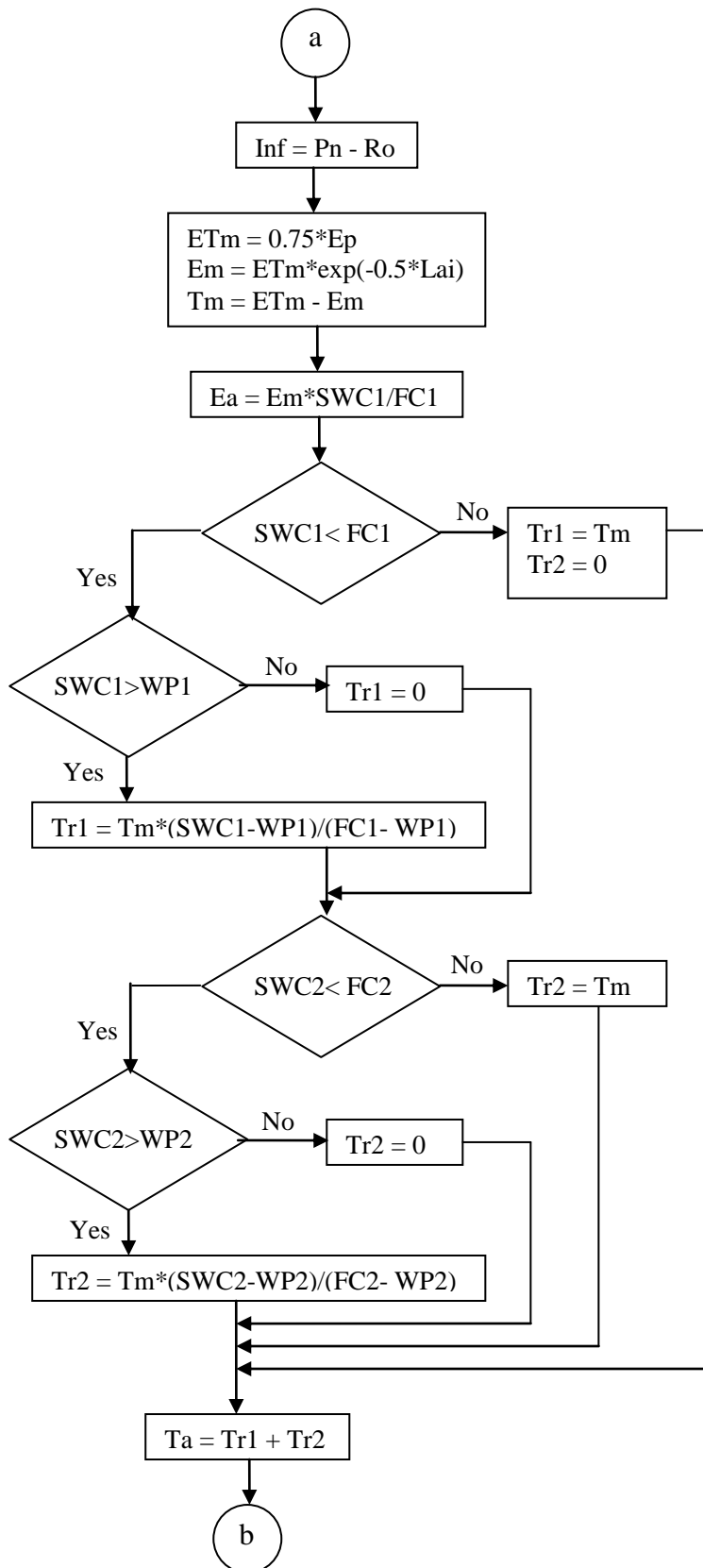


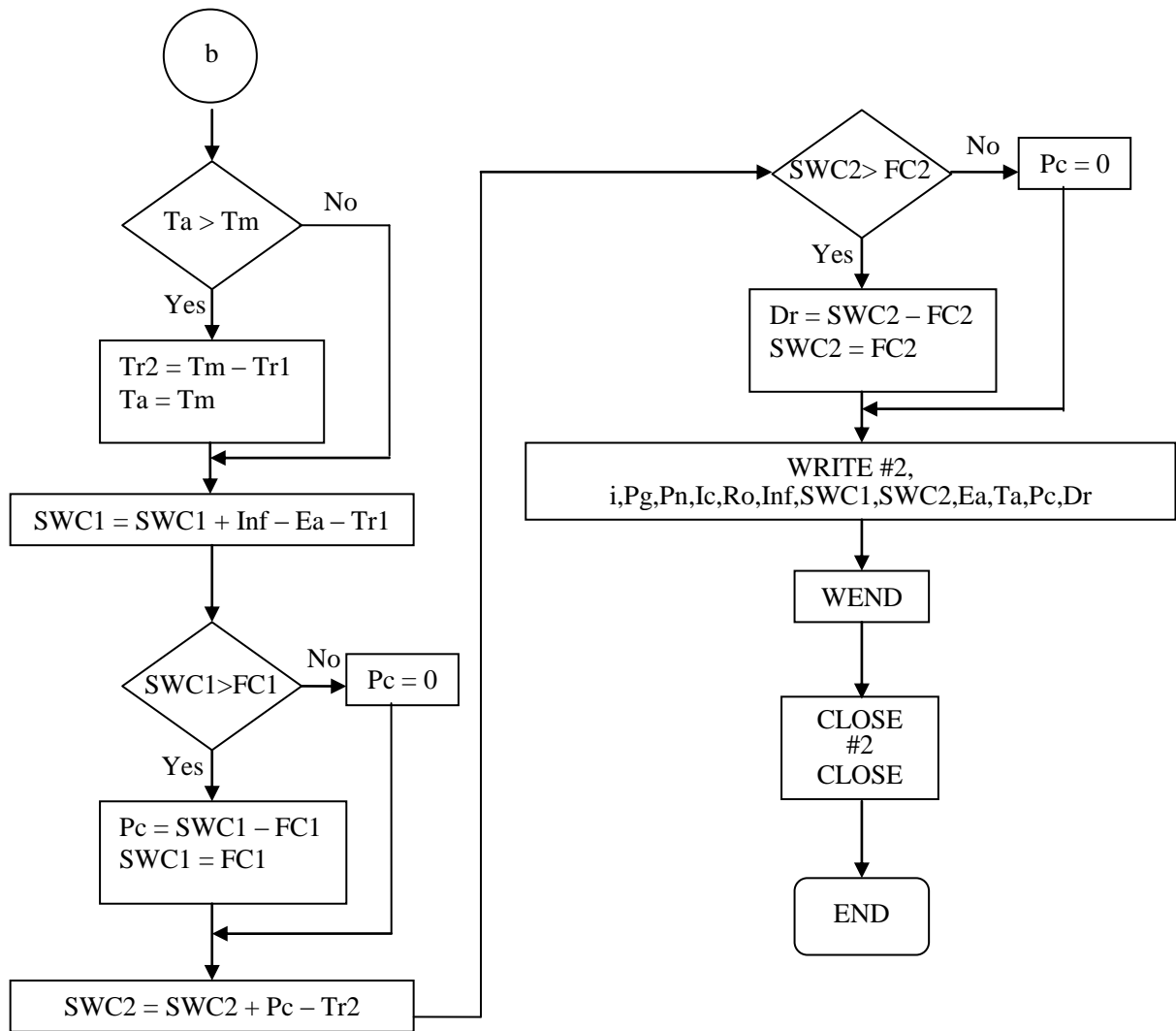
Gambar 2-2: Diagram forrester neraca air

Keterangan:

- Aliran Massa/air
- Aliran informasi
- () : persamaan matematik







Gambar 2-3: Diagram alir model neraca air

Evaporasi tanah (E_a) dan air yang diserap oleh akar (Tr_1) akan diambil dari air yang berasal dari lapisan atas. Pada lapisan bawah, hanya terjadi pengambilan air oleh akar (Tr_2). Jumlah Tr_1 dan Tr_2 adalah transpirasi vegetasi (T_a). Vegetasi akan mengambil air pertama kali dari lapisan atas kemudian dari lapisan bawah hingga jumlah air sama dengan transpirasi maksimum (T_m). Evaporasi tanah juga ditentukan oleh laju maksimumnya (E_m). E_m dan T_m dihitung dari evapotranspirasi maksimum (E_{tm}) yang menentukan batas atas kehilangan air ke atmosfer seperti yang ditentukan oleh peubah cuaca. Dalam model ini, E_{tm} dihitung berdasarkan hasil pengukuran evaporasi panci (E_p). Perhitungan besarnya E_{tm} adalah (Handoko, 1994):

$$E_{Tm} = k_p \cdot E_p \quad (2-5)$$

Dengan k_p adalah koefisien panci yang ditentukan sebesar 0.75. Selanjutnya, E_{Tm} terbagi menjadi E_m dan T_m berdasarkan persamaan berikut ini yang didasarkan pada perbandingan antara radiasi Matahari yang ditransmisikan dan diintersepsi oleh kanopi vegetasi.

$$E_m = E_{Tm} \cdot e^{-k \cdot I_{ai}} \quad (2-6)$$

$$T_m = E_{Tm} - E_m \quad (2-7)$$

k adalah koefisien pemadaman dari kanopi vegetasi yang diasumsikan sebesar 0.5, berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran lapangan

Evaporasi tanah (E_a) dihitung sebagai fungsi dari E_m dan kandungan air tanah lapisan atas hingga mencapai kapasitas lapang (FC)

$$E_a = E_m (SWC_1 / FC_1) \quad (2-8)$$

Akar akan menyerap air pertama kali dari lapisan atas selanjutnya dari lapisan bawah jika transpirasi (T_a) lebih kecil dari laju maksimumnya (T_m). Air yang diserap akar pada tiap lapisan (Tr_1 dan Tr_2) terjadi ketika kandungan air tanah lebih besar dari titik layu permanen (WP) dan meningkat hingga mencapai kapasitas lapang (FC) dimana lajunya sama dengan transpirasi maksimum. Tr_1 dan Tr_2 dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} Tr_1 &= 0, \text{ jika } SWC_1 \leq WP_1 \\ &= T_m \cdot (SWC_1 - WP_1) / (FC_1 - WP_1), \text{ jika } WP_1 < SWC_1 < FC_1 \\ &= T_m, \text{ Jika } SWC_1 \geq FC_1 \\ Tr_2 &= 0, \text{ jika } SWC_2 \leq WP_2 \\ &= T_m \cdot (SWC_2 - WP_2) / (FC_2 - WP_2), \text{ jika } WP_2 < SWC_2 < FC_2 \\ &= T_m, \text{ Jika } SWC_2 \geq FC_2 \end{aligned}$$

Selanjutnya, transpirasi (T_a) dihitung sebagai jumlah air yang diserap tanaman dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_a = Tr_1 + Tr_2$$

Ketika T_a dibatasi oleh T_m dan dengan anggapan bahwa akar pertama kali menyerap air dari lapisan atas sehingga Tr_2 dan T_a dihitung kembali jika T_a lebih besar dari T_m dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} Tr_2 &= T_m - Tr_1, \quad T_a > T_m \\ \text{dan } T_a &= T_m, \quad T_a > T_m \end{aligned}$$

Sehingga, Neraca air tanah lapisan atas dihitung dengan persamaan:

$$SWC_{1,t} = SWC_{1,t-1} + Inf_t - Ea_t - Tr_{1,t}$$

t menunjukkan waktu (hari) perhitungan. Jika SWC yang dihitung lebih besar dari FC , maka air berlebih akan bergerak ke lapisan lebih dalam sebagai perkolasi (Pc_1) hingga SWC sama dengan FC .

$$\begin{aligned} Pc_1 &= SWC_{1,t} - FC_1 \quad \text{Jika } SWC_{1,t} > FC_1 \\ Pc_1 &= 0 \quad \text{Jika } SWC_{1,t} \leq FC_1 \end{aligned}$$

Sedangkan, neraca air tanah pada lapisan bawah dan *drainase* (Dr) dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned} SWC_{2,t} &= SWC_{2,t-1} + Pc_t - Tr_{2,t} \\ Dr_t &= SWC_{2,t} - FC_2 \quad \text{Jika } SWC_{2,t} > FC_2 \\ Dr_t &= 0 \quad \text{Jika } SWC_{2,t} \leq FC_2 \end{aligned}$$

2.2.2 Pertumbuhan dan perkembangan tanaman

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman merupakan dua buah proses yang saling berhubungan. Pertumbuhan tidak akan berlangsung tanpa adanya tahapan perkembangan, demikian pula sebaliknya. Pertumbuhan tanaman diindikasikan dengan perubahan ukuran berupa massa, luas, tinggi, dan jumlah dari organ-organ tanaman (daun, batang, akar, dan biji) selama musim pertumbuhan tanaman. Sedangkan perkembangan tanaman merupakan proses perubahan fase tanaman (vegetatif, generatif, dan panen). Fase perkembangan pada tanaman semusim umumnya berawal dari perkecambahan atau persemaian sampai dengan matang fisiologis.

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur cuaca, seperti suhu, panjang hari, hujan, radiasi surya, dan kelembaban udara (defisit tekanan uap). Unsur cuaca yang dominan mempengaruhi perkembangan tanaman adalah suhu dan panjang hari.

2.2.2.1 Perkembangan tanaman

Laju perkembangan pada kejadian fenologi tanaman padi dapat didekati dengan konsep *heat unit* atau derajat panas. Perkembangan tersebut dapat terjadi jika suhu rata-rata harian lebih besar dari suhu dasar (T_b). Kejadian fenologi perkembangan tanaman padi dihitung dari semai hingga panen (matang fisiologis) berdasarkan nilai fase (s) dengan skala 0-1. Fase tersebut dapat dibagi menjadi 5 kejadian, yaitu semai ($s=0$), tanam ($s=0.25$), tunas maksimum ($s=0.5$), pembungaan/*anthesis* ($s=0.75$), dan panen ($s=1$). Fase perkembangan antara masing-masing kejadian fenologi dapat dimodelkan dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 2-1: KRITERIA DAN PERHITUNGAN FASE PERKEMBANGAN TANAMAN (HANDOKO, 1994)

No.	Periode	Kriteria Fase (s)	Syarat
1.	Semai(S) - Tanam(T)	$s = 0.25*(T-Tb1)/TU1$	$T > Tb1$
2.	T - Tunas Maksimum (TM)	$s = 0.25+0.25*(T-Tb2)/TU2$	$T > Tb2$
3.	TM - Pembungaan (A)	$s = 0.50+0.25*(T-Tb4)/TU3$	$T > Tb2$
4.	A - Panen/Matang Fisiologis (MF)	$s = 0.75+0.25*(T-Tb4)/TU4$	$T > Tb2$

Keterangan : T = Suhu rata-rata harian ; Tb = Suhu dasar : TU = Thermal unit

Tabel 2-2: PARAMETER PERKEMBANGAN TANAMAN PADI

No.	Fase	IR 64		Ciliwung	
		Tb	TU	Tb	TU
1	S - T	17	230	17	230
2	T - TM	17	310	17	310
3	TM - A	17	135	17	185
4	A -MF	17	305	17	355

Untuk tanaman padi varietas IR 64 dan Ciliwung berdasarkan hasil penelitian diperoleh parameter (Tabel 2-2) (handoko, 1994):

2.2.2.2 Pertumbuhan tanaman

Sub model pertumbuhan tanaman mensimulasi aliran biomassa hasil fotosintesa ke organ-organ tanaman serta kehilangannya berupa respirasi. Batang dianggap termasuk pelepah-pelepah daun dan bagian dari bunga selain biji. Perkembangan luas daun dapat diduga berdasarkan perubahan berat kering daun dan parameter luas daun spesifik yang telah diketahui sebelumnya (fungsi dari TU). Dengan demikian indeks luas daun (LAI) dapat diduga selama pertumbuhan tanaman hingga fase tunas maksimum dan selanjutnya terjadi pengurangan luas sampai panen.

Produksi biomassa hasil fotosintesis (Pb) dihitung berdasarkan radiasi surya yang diintersepsi tajuk tanaman padi serta efisiensi penggunaan radiasi surya (e) dengan formula (Handoko, 1994):

$$Pb = e * Ri = e * (1 - t) * Rd$$

Keterangan:

Rd, Ri : Radiasi surya yang datang (terukur di stasiun klimat) dan yang diintersepsi tajuk

t : transmisi/proporsi radiasi yang diteruskan tajuk = $\exp(-k * LAI)$

k : koefisien pemadaman.

Berat kering aktual (Pa) dipengaruhi oleh status ketersediaan air tanaman selama pertumbuhan yang diindikasikan oleh nilai rasio antara Transpirasi aktual dan maksimum yang diperoleh dari hasil neraca air atau $fw = Ta/Tm$. Jadi $Pa = fw * Pb$.

Produksi biomassa selanjutnya didistribusikan ke daun, batang, dan akar hingga fase pembungaan ($s=0.75$), setelah itu hanya ke biji untuk pemasakan. Sebagian dari biomassa yang terkumpul pada masing-masing organ tanaman akan berkurang/hilang karena proses respirasi untuk pertumbuhan (Rg) dan pemeliharaan (Rm). Dengan demikian perubahan berat kering (dW) setiap organ tanaman (x) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$dWx = Nx * (1 - Rg) * Pa - Rm * Q10 * Wx$$

dengan $Q10 = 2^{[(T - 20)/10]}$ dan $Nx =$ proporsi alokasi biomassa organ x
 Nilai Nx dapat diduga berdasarkan fungsi fase (s) hasil pengamatan di lapangan, sebagai berikut:

Batang : $Ns = 0.22 + 0.49 * s$; jika $s \leq 0.75$ dan $Ns = 0$ jika $s > 0.75$

Akar : $Nr = 0.27 - 0.23 * s$; jika $s \leq 0.75$ dan $Nr = 0$ jika $s > 0.75$

Daun : $Nl = 1 - Ns - Nr$; jika $s \leq 0.75$ dan $Nl = 0$ jika $s > 0.75$

Biji : $Ng = 0$; jika $s \leq 0.75$ dan $Ng = 1$ jika $s > 0.75$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada form utama program, pemakai harus mengisi beberapa parameter lahan/tanah, tanaman, dan inisial awal untuk beberapa variabel. Tampilan form utama tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-1.

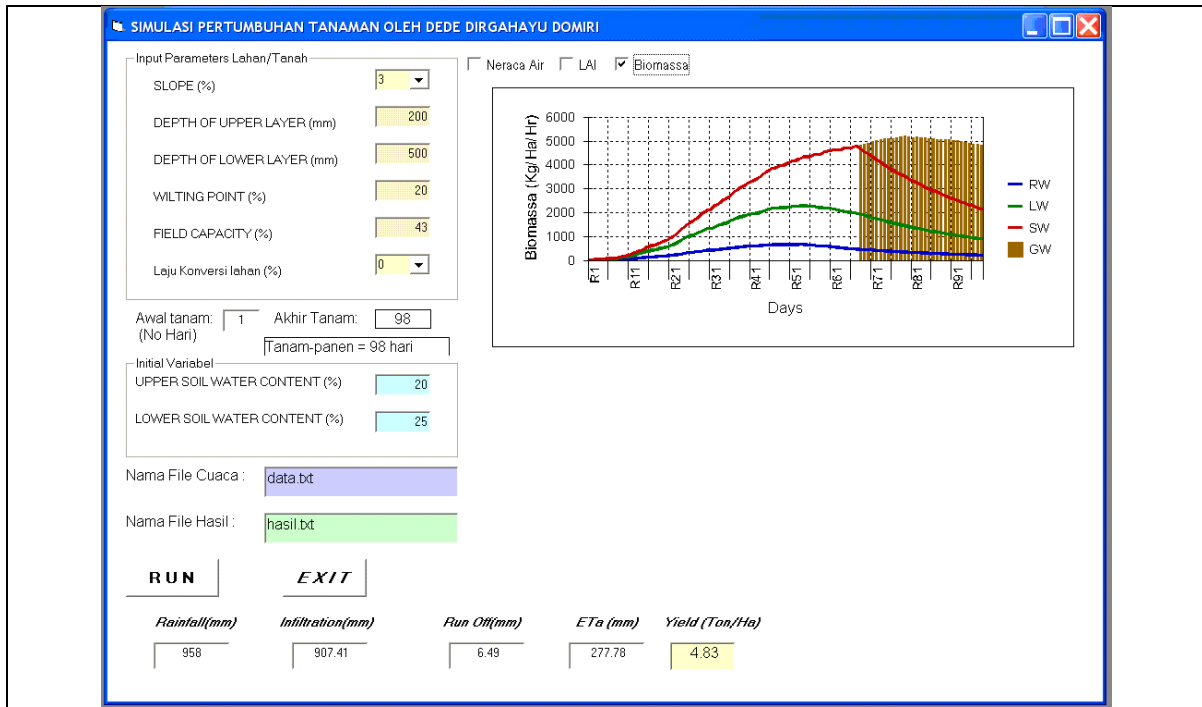
Selanjutnya hasil runing program disajikan dalam bentuk grafik Neraca Air, perubahan indeks luas daun (LAI), dan penambahan Berat Kering untuk bagian-bagian Tanaman, yaitu daun (LW), Batang (SW), Akar (RW), serta hasil akhir berupa berat biji Total (GW). Contoh Form yang menampilkan hasil pertumbuhan Berat kering beserta Formnya disajikan dalam Gambar 3-2. Grafik Neraca Air dan perubahan LAI yang telah dicuplik dari Form disajikan pada Gambar 3-3 dan Gambar 3-4.

Simulasi dapat dilakukan dengan mengubah isian awal tanam (dinyatakan dalam no hari/Julian date), varietas IR 64 dan Ciliwung, serta nilai lereng/slope. Hasil rekapitulasi simulasi model Neraca Air, Pertumbuhan dan Perkembangan disajikan pada Tabel 3-1 dan Tabel 3-2.

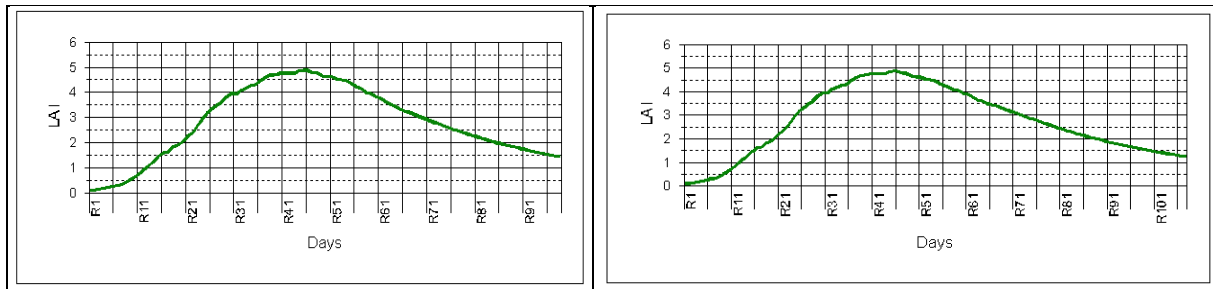
LAI maksimum pada Gambar 3-3 terjadi pada saat $s = 0.5$, yaitu sekitar 50 – 55 hari setelah tanam disebabkan oleh aktifitas pertumbuhan vegetatif yang meningkat menjelang pembungaan. LAI tanaman padi dapat diestimasi dengan menggunakan Indeks vegetasi (EVI) dari data MODIS dengan persamaan (Dirgahayu D., 2005) :

$$LAI = 0.9617 * \exp(3.0658 * EVI)$$

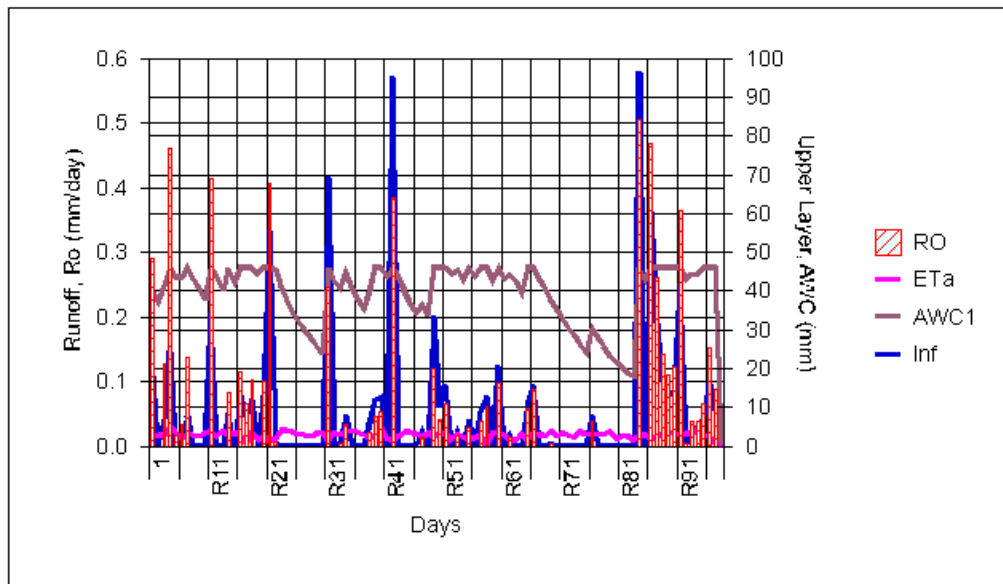
Gambar 3-1: Tampilan Form Utama Program dan Hasil Simulasi Pertumbuhan untuk Tanaman Padi Varietas IR 64 yang ditanam pada Tanggal 1 Januari



Gambar 3-2: Tampilan Hasil Simulasi Pertumbuhan berupa Grafik Biomasa untuk Tanaman Padi Varietas IR 64 yang ditanam pada Tanggal 1 Januari



Gambar 3-3: Perubahan LAI Padi Varietas IR 64 dan Ciliwung, Awal Tanam 1 Januari



Gambar 3-4: Neraca Air selama Pertumbuhan Padi IR 64, Awal Tanam 1 Januari

Awal tanam pada periode Oktober-Desember pada Gambar 3-5 berdasarkan simulasi model menunjukkan produktivitas padi yang lebih tinggi dibandingkan awal tanam pada periode yang lain. Keadaan tersebut disebabkan oleh faktor cuaca dan ketersediaan air yang mencukupi kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi pada periode tersebut, sehingga akumulasi biomassa dapat dicapai secara optimal.

LAI maksimum terjadi pada saat $s = 0.5$ (50 - 55 hari setelah tanam)

berkorelasi tinggi dengan hasil, sehingga LAI maksimum dapat digunakan sebagai indikator penduga produktivitas padi saat panen (Gambar 3-6).

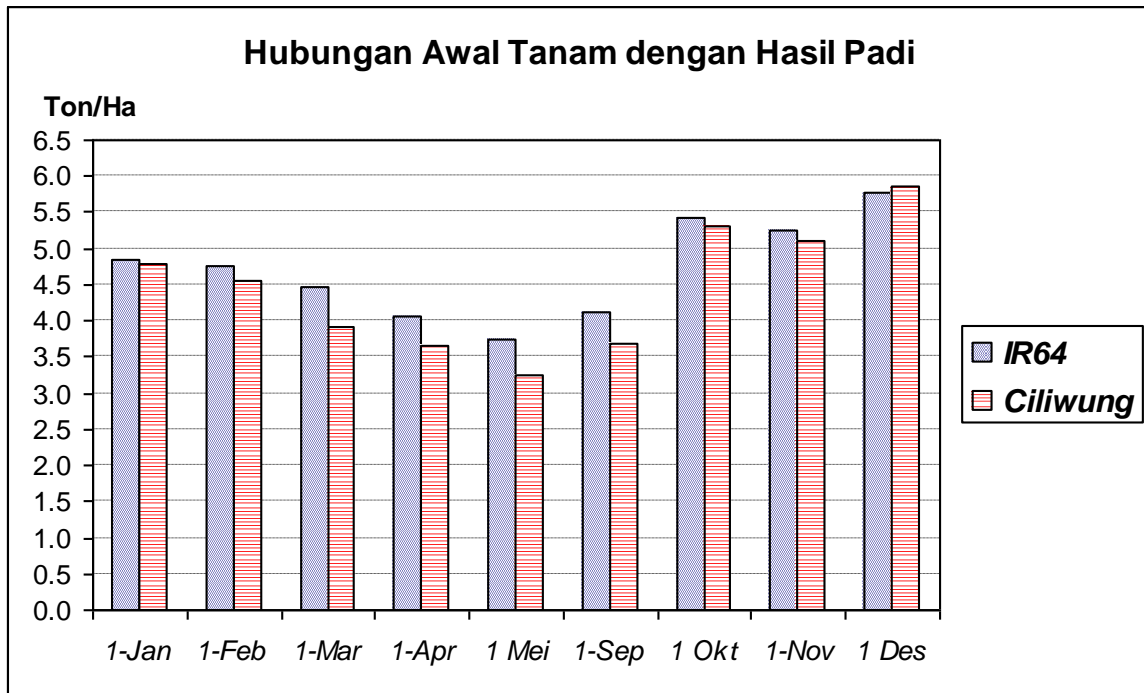
Kekurangan air yang direpresentasikan oleh nilai $Ky = (1 - ETa / ETm)$ selama proses pertumbuhan dan perkembangan hasil dapat menyebabkan terjadinya penurunan produksi padi seperti diperlihatkan pada Gambar 3-7 dan potensi persentase kehilangan hasil pada Tabel 3-3.

Tabel 3-1: HASIL SIMULASI PERTUMBUHAN DAN HASIL PADI VARIETAS IR 64 DI SEMARANG

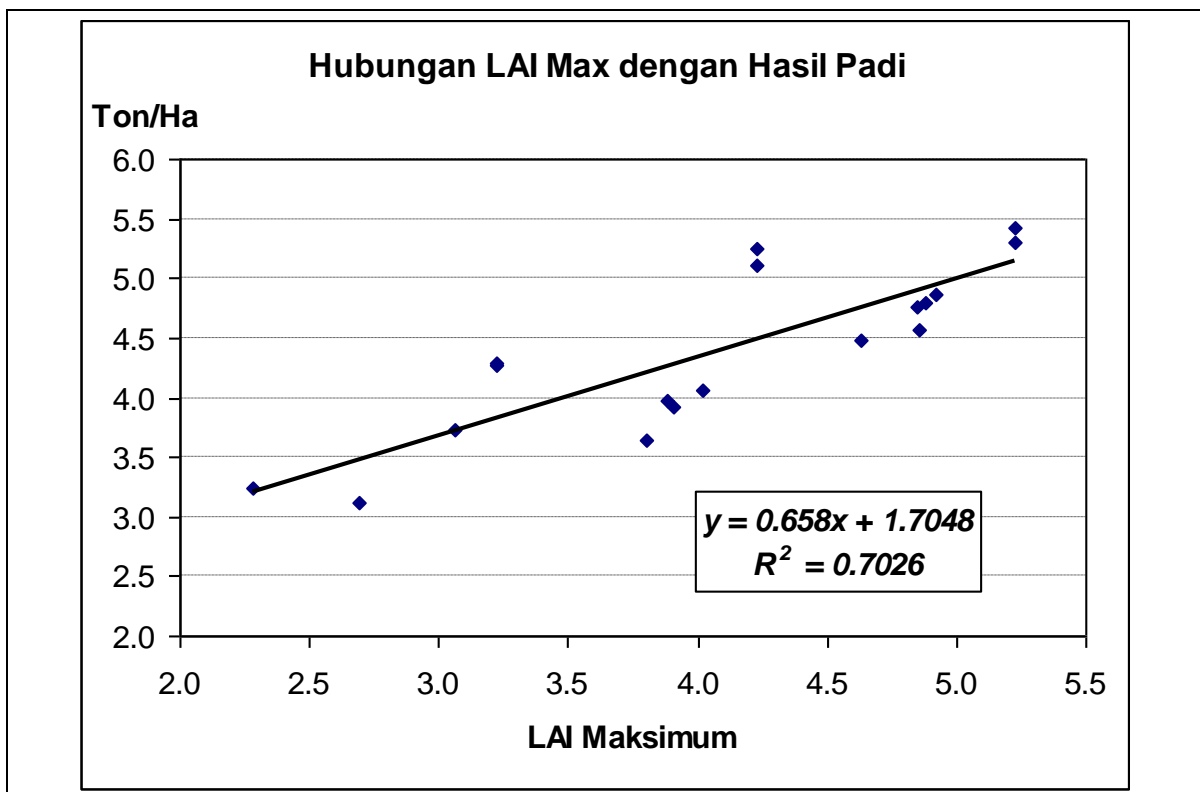
No.	Awal Tanam	Tahun	Jumlah Hujan	ETm	ETa	LAI Maks	Hasil (Ton/Ha)
1.	1 Januari	2005	958	286.65	278.26	4.92	4.86
2.	1 Februari	2005	747	287.25	273.63	4.85	4.76
3.	1 Maret	2005	507	298.65	273.90	4.63	4.48
4.	1 April	2005	529	292.73	273.13	4.02	4.06
5.	1 Mei	2005	496	289.35	256.04	3.06	3.73
6.	1 September	2001	555	306.90	264.29	3.22	4.26
7.	1 September	2005	638	311.25	274.00	3.88	3.98
8.	1 Oktober	2001	567	278.70	269.27	5.22	5.43
9.	1 November	2001	805	270.60	256.71	4.23	5.25
10.	1 Desember	2001	921	283.80	266.76	4.47	5.77

Tabel 3-2: HASIL SIMULASI PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN PADI VARIETAS CILIWUNG

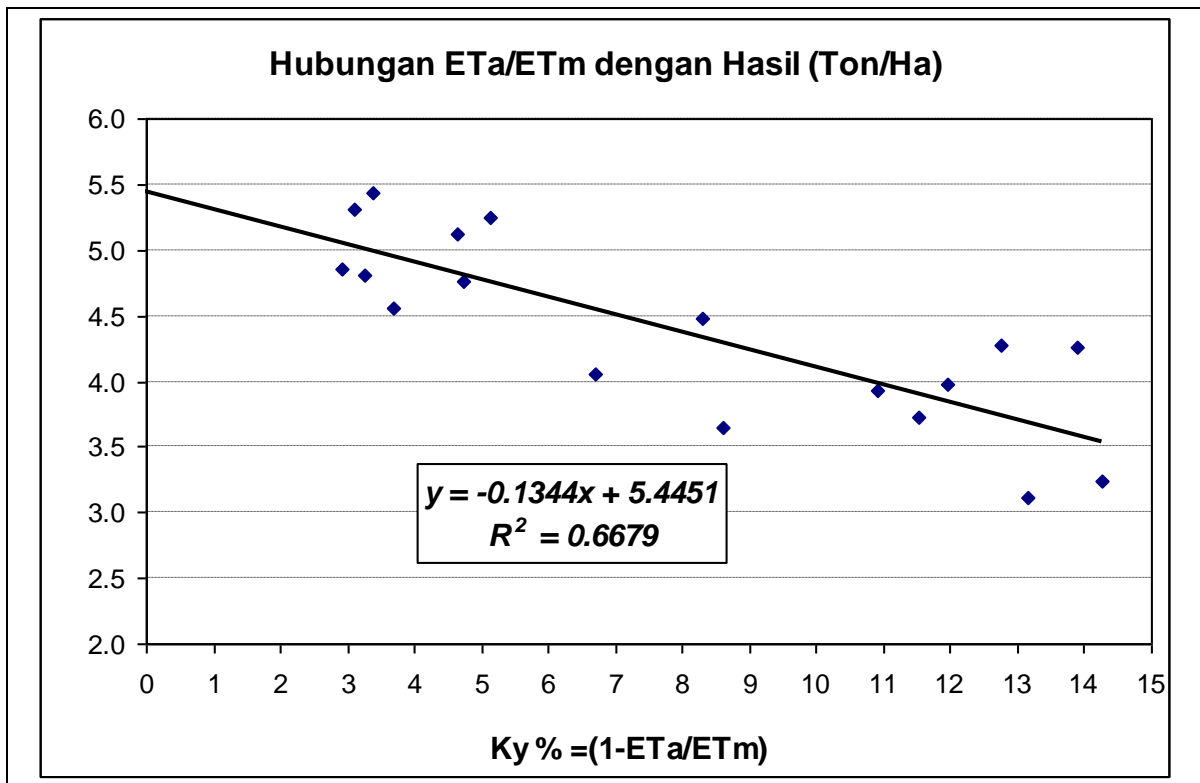
No.	Awal Tanam	Tahun	Jumlah Hujan	ETm	ETa	LAI Maks	Hasil (Ton/Ha)
1.	1 Januari	2005	976	317.33	306.94	4.88	4.80
2.	1 Februari	2005	826	313.73	302.14	4.85	4.56
3.	1 Maret	2005	592	325.80	290.29	3.91	3.93
4.	1 April	2005	544	322.13	294.37	3.80	3.64
5.	1 Mei	2005	496	303.68	260.40	2.28	3.24
6.	1 September	2001	616	337.80	294.69	3.22	4.28
7.	1 September	2005	683	339.38	294.71	2.69	3.11
8.	1 Oktober	2001	649	302.78	293.38	5.22	5.30
9.	1 November	2001	1011	297.90	284.04	4.23	5.12
10.	1 Desember	2001	1005	312.08	294.20	4.47	5.85



Gambar 3-5: Pengaruh Waktu Tanam terhadap Hasil Tanaman Padi



Gambar 3-6: Estimasi Hasil Padi berdasarkan LAI maksimum hasil simulasi model



Gambar 3-7: Penurunan Hasil Tanaman Padi Akibat Kekurangan Air

Tabel 3-3: POTENSI KEHILANGAN HASIL (Hp) AKIBAT KEKURANGAN AIR

No.	Ky (%)	Yp (Ton/Ha)	Hp(%)
1	0	5.45	0
2	1	5.31	2.5
3	2	5.18	4.9
4	3	5.04	7.4
5	4	4.91	9.9
6	5	4.77	12.3
7	6	4.64	14.8
8	7	4.50	17.3
9	8	4.37	19.7
10	9	4.24	22.2
11	10	4.10	24.7
12	20	2.76	49.4

Keterangan : $Ky = 100 \cdot (1 - ETa/ETm)$

Berdasarkan hasil tersebut, maka jadwal pemberian irigasi dan efisiensi pemberian air irigasi dapat dilakukan dengan memperhatikan perubahan ETa/ETm dari Neraca Air Tanaman.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

- Potensi hasil padi dapat diestimasi berdasarkan indeks luas daun maksimum hasil simulasi model.

- Waktu tanam yang optimal dapat diprediksi berdasarkan simulasi model.
- Potensi penurunan hasil padi dapat diprediksi berdasarkan perubahan nilai rasio Evapotranspirasi Aktual dan maksimum ETa/ETm yang dihasilkan Model.
- Simulasi lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan varietas dan jenis tanaman yang lain serta perbedaan lokasi berdasarkan elevasi dan tipe iklim.

DAFTAR RUJUKAN

- Dirgahayu, D., 2005. *Model Pendugaan Indeks Luas Daun Tanaman Padi Menggunakan Data MODIS*. PIT MAPIN XIV, ITS, Surabaya.
- Handoko, 2005. *Quantitative Modeling of System Dynamics for Natural Resources Management*. SEAMEO BIOTROP. Bogor. Indonesia.
- Handoko, 1994. *Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer untuk Pertanian*. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. FMIPA. IPB.
- Vos, J., L. F. M. Marcelis, and J. B. Evers, 2007. *Chapter I: Functional-Structural Plant Modelling in Crop Production*. Springer. Printed in the Netherlands. p: 1- 12. http://library.wur.nl/frontis/functional-structural-modelling/01_vos.pdf. Diakses tanggal 24 Juni 2008.
- Wu, L., F. X. Le Dimet, B. G. Hu, P. H. Cournède, P. de Reffye, 2004. *A Water Supply Optimization Problem for Plant Growth Based on GreenLab Model*. Cari 2004 - Hammamet. p: 101 – 108.