

PENGGUNAAN MODEL DENGAN PROGRAM CSMP UNTUK MENDUGA POTENSI HASIL PADI BERDASARKAN PENDEKATAN IKLIM, TANAH DAN TANAMAN

[Model Utilization by CSMP (Continuous System Modelling Program) in Rice Yield Potential Prediction with References to Climate, Soil and Plants]

Woro Estiningtyas

Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat
Jin. Ir. Juanda 98, Bogor 16123

ABSTRACT

Most of rice yield potential prediction models are focussed on optimization of two factors (i. e. soil and crop factors) than another (climate). It is probably due to significant influence of soil and crop factors than another in rice production. In fact, the result of yield prediction taking into account soil and climate is not sufficient because climate will become limiting factor. In order to integrate climate with soil and crop factors in rice yield potential prediction, the CSMP (Continuous System Modelling Program) model is used in this research. The results of simulation shows that through climate optimization, actual rice yield production can be increased 1500-2000 kg more than actual production. Yield potential during one year can be optimised. Moreover, CSMP can give suggestion in the efficient use of natural resources such as nitrogen, phosphor and potassium.

Kata kunci/ keywords: padi/rice, potensi hasil/ yield potential, program CSMP, iklim/climate, tanah/soil, tanaman/ crop plants.

PENDAHULUAN

Kejadian iklim yang ekstrim (*exceptional*) terutama berupa kekeringan, akhir-akhir ini cenderung meningkat baik intensitas maupun frekuensinya dan bahkan pada tahun tertentu (1997) telah mengganggu pasokan pangan nasional. Untuk itu variasi iklim menurut ruang dan waktu perlu dikuantifikasi agar kontribusinya terhadap proses produksi pertanian dapat direpresentasikan. Selanjutnya berdasarkan informasi tersebut, maka dapat direkayasa strategi optimasinya agar penggunaan sumberdaya, tenaga dan waktu dapat dioptimalkan serta resiko yang ditimbulkan dapat ditekan.

Salah satu upaya tersebut adalah dengan melakukan pemodelan dengan mengintegrasikan komponen iklim, tanah dan tanaman ke dalam satu sistem. Dengan menggunakan model pendugaan berdasarkan unsur iklim, tanah dan tanaman diharapkan dapat diketahui besarnya keragaman hasil yang dijelaskan oleh besarnya keragaman ketiga unsur tersebut terhadap produksi tanaman (Bey, 1986). Lebih jauh dikatakan bahwa karena selang waktu pengamatan cukup panjang dan produksi sangat dipengaruhi oleh faktor iklim, tanah dan

tanaman, maka pengambilan keputusan yang cepat dan tepat menjadi amat penting dalam mengelola pertanaman. Pada situasi ini model dibutuhkan untuk menentukan kapan produksi tersebut akan berubah, sehingga dapat dilakukan tindakan-tindakan yang antisipatif dalam upaya meningkatkan produksi pertanian. Oleh karena itu model pendugaan merupakan bantuan penting dalam perencanaan yang efektif dan efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) merepresentasikan kesenjangan (*gap*) antara produksi tanpa perlakuan (ASAL), produksi dengan perlakuan (HASIL) dan produksi berdasarkan potensi iklim (POTENSI) dan (2) mencari kombinasi optimum berdasarkan komponen iklim.

BAHAN DAN CARA KERJA

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan dengan simulasi model CSMP untuk tanaman padi lahan sawah. Data yang digunakan dalam model adalah data hasil percobaan yang telah dilakukan di Kebun Percobaan Tamanbogo pada MK 1999 (April-Juli 1999). Jenis tanah Podsolik dengan tekstur liat berpasir dan pH

4.9-5.2. Kandungan hara N, P dan K umumnya rendah. Varietas yang digunakan adalah IR 64, umur semai 25 hari. Jarak tanam 20cm x 20cm dengan 2 tanaman/lubang. Luas plot 4m x 5m. Pupuk yang digunakan adalah urea 250 kg/ha, SP36150 kg/ha dan KCl 100 kg/ha. Penanaman dilakukan pada 28 April 1999. Data iklim diambil dari stasiun Tanjung Karang (Branti) periode April-Juli 1999 (untuk satu musim tersebut), sedangkan untuk simulasi digunakan data selama satu tahun yang mencakup data satu musim tersebut, yaitu periode Januari-Desember 1999. Data tanaman satu musim tersebut digunakan sebagai pembandingan nilai HASIL antara percobaan lapangan dengan hasil simulasi.

CARA KERJA

Pemodelan tanaman pangan (padi) yang digunakan dalam penelitian ini adalah model dengan program CSMP (*Continuous System Modelling Program*) (Makarim, 1999). Model dibangun dengan bahasa FORTRAN V.2. Tahap pertama digunakan simulasi Macros LID dan neraca air dengan memanfaatkan data fisik tanah, cekaman air dan iklim. Pada tahap kedua dilakukan pendugaan potensi hasil tanaman padi.

Dasar pemikiran pendugaan potensi hasil ini adalah bahwa apabila tanaman berada dalam kondisi hara dan air yang optimum dan tidak ada serangan hama dan penyakit, maka hanya faktor iklim yang berpengaruh selama pertumbuhannya. Unsur-unsur iklim tersebut diperlukan oleh tanaman dalam proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat. Selanjutnya besarnya karbohidrat yang dihasilkan disetarakan dengan tanaman padi jika menghasilkan produksi sebesar nilai tertentu (gabah kering giling, kg/ha atau ton/ha). Nilai adalah selanjutnya disebut nilai dugaan potensi produksi tanaman padi (POTENS).

Ketersediaan air terutama dampak tingkat cekaman air terhadap tanaman padi dihitung dengan model neraca air, sehingga akan menentukan tingkat hasil yang dapat dicapai dengan dan tanpa irigasi.

Model ini membedakan antara lahan sawah dengan lahan kering. Apabila penelitian berlokasi di lahan kering, maka digunakan input data curah hujan, kapasitas lapangan serta titik layu permanen. Sedangkan untuk lahan sawah tidak digunakan input data curah hujan, karena diasumsikan air sudah tercukupi dari irigasi. Model ini memiliki 3 tahapan perhitungan, yaitu (1) neraca air tanah, (2) kebutuhan hara bagi tanaman padi, dan (3) pertumbuhan dan hasil tanaman. Masing-masing tahapan saling terkait satu dengan lainnya. Pertumbuhan dan hasil tanaman diduga dengan masukan data dari hasil perhitungan neraca air tanah (untuk ketersediaan air) dan kebutuhan hara bagi tanaman padi.

Input/masukan data yang diperlukan dalam model, antara lain:

- Data iklim harian (*Julian date*), antara lain: curah hujan, suhu udara maksimum, suhu udara minimum dan radiasi matahari.
- Data fisik tanah: tebal lapisan tanah, kadar air kapasitas lapangan (WHC) dan titik layu permanen (WPC).
- Data kesuburan tanah: ketersediaan hara tanah, N-total (%), Bray P-2 (ppm P), K-dd (me K/100 g), Fe tanah dan KTK_
- Data tanaman padi: varietas, dosis pupuk (urea, SP36 dan KCL) dan tanggal tanam (*Julian date*).

Selanjutnya dalam model diperhitungkan pula faktor-faktor lain seperti: bobot bagian tanaman, kecepatan pertumbuhan dan penyusutan, ketersediaan karbohidrat untuk tumbuh dan translokasi, fotosintesis total dan bersih, respirasi, keseimbangan karbon, luas daun, perkembangan fenologi (fase tumbuh) tanaman, faktor cekaman air, faktor cekaman hara tanah, efisiensi pemupukan, hara optimum tanaman, hara optimum tanah dan perubahan kadar air tanah.

Hasil simulasi dinyatakan dengan beberapa nilai yang merupakan keluaran model, antara lain:

1. POTENS, yaitu nilai dugaan dari hasil tanaman

yang optimum bisa dicapai berdasarkan masukan unsur iklim, yaitu suhu udara maksimum, suhu udara minimum dan radiasi, dengan asumsi tanaman menerima cukup hara dan air. Dasar pemikiran pendugaan potensi hasil adalah bahwa dengan jumlah akumulasi radiasi, suhu udara maksimum, suhu udara minimum dalam waktu tertentu akan menghasilkan karbohidrat dalam jumlah tertentu pula. Selanjutnya jumlah karbohidrat tersebut diperkirakan dapat dihasilkan oleh tanaman dengan produksi tertentu. Nilai ini yang merupakan nilai dugaan hasil tanaman (POTENS).

2. HASIL, yaitu hasil tanaman apabila diberikan dosis pemupukan tertentu sebagai masukan dalam model. Apabila menggunakan percobaan di lapangan, nilai ini yang dipergunakan sebagai pembandingan antara hasil simulasi model dengan kenyataan di lapangan sesuai dengan perlakuan-perlakuan yang diberikan.
3. ASAL, yaitu produksi tanaman apabila tidak diberikan pemupukan selama pertumbuhannya. Jadi hanya faktor tanah dan iklim saja yang berpengaruh.
4. NFOP, PFOP, KFOP yaitu besarnya dosis pupuk N, P, K yang disarankan oleh model (optimum) sesuai dengan umur tanaman.
5. NUPTK, PUPTK, KUPTK yaitu besarnya dosis pupuk N, P, K yang sebenarnya digunakan oleh tanaman.

Untuk mendekati kondisi lapangan maka dilakukan dua skenario simulasi yaitu (1) dengan menggunakan data tanggal tanam sesuai di lapangan dan (2) menggunakan tanggal tanam dengan interval 15 harian. Skenario pertama ditujukan untuk menguji model dalam memprediksi HASIL sekaligus merekonstruksi dan merepresentasikan secara langsung kondisi lapangan. Sedangkan skenario 2 dimaksudkan untuk mencari tanggal tanam yang terbaik untuk tanaman padi di lokasi penelitian dengan memperhitungkan kombinasi optimum tanah,

iklim dan tanaman, menentukan tiga periode tanam (*period of planting*) terbaik dalam satu tahun serta embutan (*fluctuation*) hasil sebagai salah satu respon fisiologis tanaman. Lebih jauh penelitian juga ditujukan untuk menetapkan potensi hasil yang optimum untuk tiga musim tanam dalam satu tahun.

HASIL

Simulasi berdasarkan tanggal tanam aktual di lapangan (Skenario 1)

Keluaran model untuk skenario tanggal tanam sesuai dengan kondisi lapangan disajikan pada Tabel 1. Hasil simulasi (Tabel 1) menunjukkan bahwa umur padi mencapai 98 hari. Sampai dengan umur tersebut potensi hasilnya (POTENS) mencapai 6.489,3 kg/ha, hasil tanpa perlakuan (ASAL) 2.258,3 kg/ha dan hasil yang diperoleh (HASIL) 5.074,5 kg/ha. Selain itu dosis pupuk yang dianjurkan agar tercapai hasil optimum adalah 193,72 kg/ha N (NFOP) dan 64,689 kg/ha K (KFOP). Apabila dibandingkan dengan kenyataan di lapangan, maka hasil yang diperoleh melalui simulasi (5.074 kg/hektar) lebih rendah (*underestimate*) 136 kg/ha dibandingkan hasil lapangan 5.200 kg/ha. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain: kondisi iklim aktual runtut waktu (*time series*) yang lebih menguntungkan (*favourable*) dibandingkan masukan iklim yang ada untuk pemodelan. Masukan data berupa rata-rata harian menyebabkan terjadinya penyederhanaan masukan data iklim sehingga tidak dapat merepresentasikan akumulasi hasil fotosintesis secara menyeluruh. Dengan kata lain proses fotosintesis yang terjadi dari pagi sampai dengan sore hari hanya diwakili oleh satu data saja.

POTENSI yang dapat dicapai menurut hasil simulasi sebesar 6,5 ton/ha. Jadi ada kesenjangan antara hasil lapangan (5,2 ton/ha) dengan potensinya sebesar 1,3 ton/ha. Perbedaan ini menunjukkan bahwa masih terbuka peluang peningkatan produksi sekaligus optimasi penggunaan sumberdaya utamanya pupuk apabila masukan iklim diperhitungkan secara seksama. Selanjutnya

berdasarkan perbandingan antara takaran pupuk yang digunakan di lapangan yaitu berturut-turut: Urea 250 kg/ha, SP36 150 kg/ha dan KCl 100 kg/ha dengan dosis optimalnya, maka dapat dikatakan bahwa peningkatan produksi padi sawah di lokasi penelitian masih sangat memungkinkan; antara lain melalui penambahan dosis pupuk (berupa selisih senjang/gap antara takaran lapangan dengan dosis optimalnya) sekaligus memilih masa tanam yang tepat agar pemanfaatan sumberdaya iklim terjadi secara optimal. Dengan demikian komponen hara, iklim dan tanaman berada dalam kondisi optimum.

Salah satu cara pemanfaatan sumberdaya iklim yang paling efisien dan murah adalah menyesuaikan tanggal tanam dengan pola karakteristik unsur iklim yang ada. Untuk itu dilakukan simulasi dengan menggunakan berbagai tanggal tanam.

Simulasi berdasarkan skenario tanggal tanam 2 mingguan (Skenario 2)

Hasil simulasi model CSMP berdasarkan skenario tanggal tanam dua mingguan di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 2.

PEMBAHASAN

Hasil simulasi masa tanam dua mingguan selama kurun waktu satu tahun memperlihatkan bahwa sebagian besar tanaman berumur antara 98-100 hari. Sedangkan potensi hasil tertinggi diperoleh pada saat penanaman dilakukan tanggal 30 Mei, yaitu sebesar 7.124,6 kg/ha (7,1 ton/ha) dengan umur tanaman 100 hari, dan terendah 5.880,8 kg/ha (5,9 ton/ha) apabila penanaman dilakukan pada tanggal 27 September dengan umur tanaman 99 hari. Selisih potensi hasil tersebut sebesar 1.243,8 kg/ha atau 1,2 ton/ha. Potensi hasil tertinggi pada periode tersebut disebabkan faktor iklim yang sangat mendukung. Suhu udara maksimum, minimum dan radiasi surya sangat optimal bagi tanaman untuk melaksanakan

proses fotosintesis, sehingga mampu menghasilkan karbohidrat yang cukup tinggi (Gambar 1).

Gambar ini menunjukkan bahwa simulasi yang menghasilkan potensi hasil tertinggi terjadi pada suhu maksimum yang lebih tinggi dan suhu minimum yang lebih rendah dibandingkan dengan simulasi yang menghasilkan potensi hasil terendah. Demikian juga embutan (*fluctuation*) suhu maksimum dan minimum pada potensi hasil maksimum lebih besar dibandingkan dengan pada simulasi yang menghasilkan potensi hasil terendah. Fakta ini mengindikasikan bahwa fluktuasi suhu maksimum dan minimum yang signifikan dan terjadi pada malam hari akan sangat menguntungkan dalam proses pembentukan karbohidrat, sehingga hasil fotosintesis bersih (*net photosynthetic yield*) lebih tinggi dibandingkan suhu maksimum dan minimum yang tidak berfluktuasi. Molga (dalam Chang, 1967) menyatakan bahwa laju fotosintesa meningkat pada temperatur antara 30-37° Celcius. Lebih jauh dikatakan bahwa peningkatan ini disebabkan oleh peningkatan laju proses reaksi biokhemis.

Selain itu dari Gambar 2 terlihat bahwa radiasi surya yang menghasilkan potensi hasil maksimum cenderung lebih tinggi dan berfluktuasi dibandingkan pada potensi hasil terendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa radiasi surya yang tinggi akan menyebabkan proses fotokimia berlangsung dengan lebih cepat, sejalan dengan yang ditampilkan pada suhu maksimum dan minimum.

Sehubungan dengan data suhu udara, kelembaban dan radiasi berembut menurut ruang dan waktu, maka informasi untuk masukan model berdasarkan data polanya. Artinya perlu memanfaatkan data runtut waktu (*time series*) yang panjang sehingga dapat diketahui pola umum dan penyimpangannya. Lebih jauh, akan lebih baik lagi apabila masukan data suhu maksimum, minimum dan radiasi surya yang digunakan interval pengukurannya (*time step of measurement*) lebih singkat (per jam). Dengan demikian dapat diketahui

lebih rinci kontribusi komponen iklim terhadap potensi hasil padi.

.Asal, Hasil dan Potensi

Fluktuasi antara potensi, asal dan hasil berdasarkan skenario tanggal tanam dua minggu disajikan dalam Gambar 3. Hasil tertinggi yang diperoleh apabila tidak dilakukan pemupukan (ASAL) adalah 1.880,9 kg/ha apabila dilakukan penanaman pada tanggal 30 Mei , dan terendah 1.552,5 kg/ha pada tanggal tanam 27 September. Sedangkan hasil simulasi model dengan perlakuan yang diberikan (HASIL) pada tanggal tanam tersebut

menunjukkan nilai tertinggi 5.440,3 kg/ha (5,4 ton/ha) dan terendah 4.742,9 kg/ha (4,7 ton/ha).

Pada skenario tanggal tanam dua minggu (Skenario 2) ini kita tidak bisa membandingkan antara hasil simulasi dengan data hasil nil di lapangan, karena tanggal tanam riil yang digunakan di lapangan tidak masuk dalam *Julian date* atau tanggal tanam selang 15 harian yang digunakan dalam Skenario 2. Apabila kita ingin membandingkan dengan hasil riil di lapangan, maka dapat dilihat dalam hasil simulasi berdasarkan tanggal tanam aktual di lapangan (Skenario 1).

Tabel 1. Hasil simulasi tanaman padi sawah di Tamanbogo, Lampung pada tanggal tanam 28 April 1999

TIME	POTENS	WST	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	10.3	0	0	0.4474	0	0.32619	0.1859	3.52E-02	0.5614
20	-2.23E-05	247.91	-2.21 E-05	-3.21E-04	8.9608	0	6.5326	3.7222	0.70496	11.244
40	6.36E-06	1453.2	2.21E-06	6.28E-06	47.393	0	34.551	19.686	3.7285	59.469
60	-1.36E-04	3749.4	-1.34E-04	-3.20E-04	88.267	0	64.349	36.665	6.9441	110.76
80	2295.1	4958.8	798.7	2113.3	132.72	0	69.691	55.132	13.05	119.95
98	6489.3	4958.8	2258.3	5074.5	193.72	0	64.689	80.466	22.614	111.34

Perbedaan antara ASAL, HASIL dan POTENSI merupakan suatu hal yang sangat menarik untuk dikaji. Potensi hasil rata-rata pada skenario ASAL yang rendah (sekitar 1.600 kg/hektar) menunjukkan bahwa tanpa masukan teknologi, maka budidaya padi sawah di lokasi penelitian akan kurang menguntungkan meskipun kondisi tanah dan iklimnya mendukung. Sedangkan hasil yang berfluktuasi sekitar 5.000 kg/hektar menunjukkan kemampuan penguasaan dan aplikasi teknologi yang ada sampai saat ini. Lebih jauh hasil skenario HASIL menunjukkan bahwa telah terjadi lompatan peningkatan produksi lebih dari 300% dibandingkan keadaan sebelumnya. Adapun POTENSI produksi yang bisa mencapai 7.124,6 kg/ha atau sekitar 7,1 ton/ha (sementara produksi yang bisa dicapai berdasarkan input data yang ada berkisar antara 4,6-5,5 ton/ha) mengindikasikan bahwa dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya iklim, maka selain dapat meningkatkan produksi sekitar 2 ton/ha atau 40% juga dapat menghemat penggunaan

sumberdaya pupuk.

Upaya optimalisasi pemanfaatan sumberdaya pupuk dapat dilakukan dengan jalan memberikan pupuk sesuai dengan kebutuhannya. Masih tingginya selisih antara pupuk optimal (NFOP, PFOP dan KFOP) dengan pupuk yang digunakan (NUPK, PUPK dan KUPK) pada hasil simulasi menunjukkan bahwa jenis dan cara pemberian pupuk yang dilakukan belum seperti yang diharapkan. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan antara lain dengan memberikan pupuk (N, P dan K) sesuai dengan kondisi tanahnya. Misalnya dengan pupuk yang kelaratannya rendah sehingga penyediaannya lebih kontinyu. Pemberian bahan organik untuk meningkatkan efisiensi pertukaran hara juga perlu dilakukan agar efisiensi pemberian pupuk dapat ditingkatkan. Sementara itu kelebihan pupuk fosfor misalnya yang berupa residu perlu dioptimalkan pemanfaatannya agar konsumsi pupuk dapat dioptimalkan dan pencemaran dapat ditekan serta penggunaan sumberdaya dapat dioptimalkan.

Optimasi produksi dan intensitas tanam tahunan

Berdasarkan hubungan antara periode tanam dan potensi hasil dalam satu tahun (Gambar 3), maka dapat dilakukan optimasi produksi dan intensitas. Ada dua skenario yang dapat dibuat. Pertama, untuk intensitas tanam tiga kali padi sawah setahun dan kedua, untuk dua kali tanam setahun. Apabila skenario pertama yang dipilih, maka perlu dicari kombinasi terbaik dari ketiga masa tanam dalam satu tahun. Sedangkan jika diproyeksikan hanya dua kali masa tanam padi setahun sedangkan sisanya palawija, maka perlu dilakukan optimasi padi dan palawija sekaligus.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa hasil simulasi tanggal tanam dua mingguan dapat memberikan informasi untuk optimasi intensitas tanam tiga kali setahun. Optimasi ini ditetapkan berdasarkan total potensi hasil tertinggi tiga intensitas tanam berturut-turut. Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa untuk tiga kali intensitas tanam setahun potensi tertinggi dicapai pada masa tanam pertama tanggal 27 Oktober dengan potensi sebesar 6.145,5 kg, masa tanam kedua tanggal 14 Februari dengan potensi hasil 6.653,7 kg dan masa tanam ketiga tanggal 30 Mei dengan potensi hasil 7.124,6 kg. Total potensi hasil setahun 19.923,8 kg. Potensi terendah didapatkan pada masa tanam pertama tanggal 28 Agustus dengan potensi hasil 6.063,5 kg, masa tanam kedua tanggal 11 Desember dan masa tanam ketiga 31 Maret dengan potensi hasil 6.444,6 kg. Total potensi hasil terendah sebesar 1.8819,2 kg. Selisih potensi hasil setahun yang relatif besar (1.104,6 kg) menunjukkan betapa besar peranan iklim dalam menentukan potensi hasil tanaman.

Penentuan masa tanam ini berlaku pada lokasi di mana dilakukan percobaan (spesifik lokasi). Apabila ingin diberlakukan untuk lokasi yang lain, maka perlu masukan data lokasi yang bersangkutan ditunjang dengan data iklim dalam periode yang cukup panjang (sekitar 10 tahun).

Hasil simulasi ini dapat digunakan oleh petani (dengan arahan pemerintah) dalam menentukan strategi produksi padi sesuai dengan kebutuhan dan harga pasar.

Fluktuasi potensi hasil selama satu tahun berdasarkan hasil simulasi disajikan pada Gambar 4, yang memperlihatkan bahwa potensi hasil akan tercapai di bawah 19.500 kg setahun apabila padi ditanam pada alternatif tanam ke 7-10 (minggu ke 14-20). Hal ini disebabkan karena pada periode tersebut potensi hasil untuk masa tanam kedua dan ketiga relatif rendah, sehingga total potensi hasil setahun menjadi rendah. Sedangkan rendahnya potensi hasil untuk alternatif tanam ke 15-20 (minggu ke 30-40) disebabkan oleh potensi hasil masa tanam pertama yang rendah. Hal ini terjadi akibat curah hujan yang sangat tinggi, suhu udara maksimum yang rendah dan suhu udara minimum yang relatif tinggi, sehingga hasil fotosintesis bersihnya menjadi rendah pula.

Keunggulan model CSMP

Model CSMP dapat merepresentasikan senjang (*gap*) antar ASAL, HASIL dan POTENSI secara simultan, sehingga dapat diketahui status penguasaan teknologi dan peluang peningkatan produksinya berdasarkan keadaan iklim, tanah dan tanaman serta penguasaan teknologi yang ada. Meskipun masih belum terinci, model CSMP dapat mengkuantifikasikan parameter iklim (suhu maksimum, minimum dan radiasi surya) pada simulasi yang menghasilkan potensi tertinggi dan terendah. Hasil simulasi tanggal tanam dua mingguan memungkinkan untuk dilakukan optimasi potensi hasil untuk tiga dan dua masa tanam dalam satu tahun (Tabel 3 dan Gambar 4).

Model ini juga dapat menampilkan takaran pupuk optimum sekaligus yang digunakan pada setiap hasil simulasi. Hal ini dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dalam pemberian pupuk, sekaligus upaya memanfaatkan residu yang tersedia. Dengan demikian penggunaan sumberdaya pupuk, tenaga dan dana dapat dioptimalkan.

Tabel 2. Hasil simulasi model PCSMP di Tamanbogo, Lampung pada beberapa tanggal tanam (2 mingguan)

DATE 1									
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2.51E-05	-2.48E-05	-3,69E-04	8,7507	0	10,439	3,6349	0,68843	8,33
40	3.59E-06	9.47E-07	3.54E-06	44,653	0	53,269	18,548	3,5129	42,507
60	-8.64E-05	-8.53E-05	-2.14E-04	81,538	0	97,271	33,87	6,4147	77,618
80	2106,3	556,05	1687,9	124,12	0	107,42	51,556	12,158	85,714
98	6332,5	1671,8	5029,4	186,18	0	99,888	77,335	21,843	79,706
DATE 15									
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1.89E-05	-1.87E-05	-2.73E-04	8,9311	0	10,654	3,7098	0,70262	8,5017
40	-3.72E-05	-3.67E-05	-1,38E-04	44,309	0	52,859	18,405	3,4859	42,179
60	-1.44E-04	-1.42E-04	-3.55E-04	81,801	0	97,584	33,979	6,4354	77,868
80	2265,3	598,04	1808,7	127,74	0	101,67	53,063	12,624	80,716
98	6572,5	1735,1	5166,3	191,15	0	108,19	79,4	22,507	86,743
DATE 30									
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1.45E-05	-1.43E-05	-2.15E-04	8,6727	0	10,346	3,6025	0,68229	8,2557
40	-9.30E-06	-9.18E-06	-3.43E-05	44,502	0	53,089	18,486	3,5011	42,363
60	-9.54E-05	-9.42E-05	-2.33E-04	83,346	0	99,428	34,621	6,557	79,339
80	2432,2	642,11	1936,6	131,27	0	102,65	54,526	13,091	81,499
97	6540,7	1726,7	5135,1	191,74	0	109,51	79,647	22,517	87,797
DATE 45									
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1.84E-05	-1.82E-05	-2.77E-04	8,553	0	10,203	3,5528	0,67287	8,1418
40	1.81E-05	4.78E-06	1.79E-05	45,106	0	53,809	18,736	3,5485	42,937
60	-1.23E-04	-1.21E-04	-2.96E-04	84,753	0	101,11	35,205	6,6676	80,678
80	2516	664,23	1990,2	134,61	0	104,03	55,915	13,449	83,392
98	6653,7	1756,6	5190,3	194,96	0	112,17	80,983	22,899	89,12
DATE 60									
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1.97E-05	-1.95E-05	-2.94E-04	8,6194	0	10,283	3,5804	0,6781	8,205
40	-1.97E-05	-1.95E-05	-7.12E-05	45,958	0	54,826	19,09	3,6156	43,749
60	-1.38E-04	-1.37E-04	-3.28E-04	87,606	0	104,51	36,39	6,8921	83,395
80	2246,4	593,06	1768,3	131,77	0	113,84	54,734	12,919	90,837
98	6581,7	1737,6	5130,2	195,35	0	106,02	81,145	22,848	84,598
DATE 75									
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2.02E-05	-2,00E-05	-2.82E-04	9,2742	0	11,064	3,8524	0,72962	8,8284
40	-5.15E-05	-5,09E-05	-1.78E-04	48,86	0	58,288	20,296	3,8439	46,511
60	-1.64E-04	-1.62E-04	-3,85E-04	88,55	0	105,64	36,782	6,9664	84,293
80	2464,5	650,62	1937,9	135,63	0	105,24	56,339	13,471	84,157
98	6580,9	1737,4	5131,2	195,19	0	114,85	81,081	22,835	91,463

DATE		90								
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK	
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592	
20	-1,79E-05	-1,77E-05	-2,44E-04	9,523	0	11,36	3,9557	0,74918	9,0651	
40	-1,79E-05	-1,77E-05	-6,20E-05	48,843	0	58,267	20,288	3,8425	46,494	
60	-1,07E-04	-1,05E-04	-2,52E-04	88,183	0	105,2	36,63	6,9374	83,943	
80	2240,4	591,45	1762,5	131,86	0	114,06	54,772	12,919	84,018	
98	6444,6	1701,4	5047,7	192,92	0	105,76	80,134	22,5	91,393	

DATE		105								
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK	
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592	
20	-2,67E-05	-2,64E-05	-3,43E-04	10,152	0	12,11	4,2168	0,79864	9,6636	
40	-6,52E-07	-6,44E-07	-2,24E-06	49,3	0	58,812	20,478	3,8785	46,93	
60	-1,44E-04	-1,42E-04	-3,42E-04	87,356	0	104,21	36,286	6,8724	83,156	
80	2151,6	568,02	1687,4	131,42	0	106,25	54,589	12,784	84,966	
99	6594,6	1741	5135,3	195,84	0	115,36	81,348	22,901	91,867	

DATE		120								
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK	
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592	
20	-1,50E-05	-1,48E-05	-2,08E-04	9,3373	0	11,139	3,8786	0,73458	8,8884	
40	-3,07E-05	-3,03E-05	-1,08E-04	47,316	0	56,446	19,654	3,7224	45,041	
60	-1,79E-04	-1,77E-04	-4,24E-04	87,781	0	104,72	36,463	6,9058	83,56	
80	1984	523,77	1559,8	127,91	0	105,3	53,132	12,117	84,208	
99	6782,2	1790,5	5254,9	198,43	0	114,83	82,425	23,318	91,446	

DATE		135								
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK	
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592	
20	-2,38E-05	-2,35E-05	-3,18E-04	9,704	0	11,576	4,0309	0,76343	9,2375	
40	-2,38E-05	-2,35E-05	-8,26E-05	48,56	0	57,93	20,171	3,8203	46,225	
60	-1,05E-04	-1,03E-04	-2,48E-04	87,388	0	104,25	36,3	6,8749	83,187	
80	2233,5	589,64	1750,9	132,88	0	106,42	55,198	12,992	85,1	
99	6927,2	1828,8	5335,5	201,57	0	115,77	83,728	23,729	92,196	

DATE		150								
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK	
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592	
20	-1,76E-05	-1,74E-05	-2,41 E-04	9,4448	0	11,267	3,9232	0,74304	8,9908	
40	-7,18E-06	-7,08E-06	-2,53E-05	47,471	0	56,63	19,719	3,7346	45,189	
60	-1,04E-04	-1,02E-04	-2,45E-04	87,94	0	104,91	36,529	6,9184	83,712	
80	2101,4	554,76	1638,9	132,44	0	108,44	55,014	12,807	86,712	
100	7124,6	1880,9	5440,3	206,29	0	117,59	85,689	24,325	93,65	

DATE		165								
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK	
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592	
20	-2,02E-05	-2,00E-05	-2,60E-04	10,097	0	12,045	4,1941	0,79434	9,6115	
40	-2,80E-05	-2,77E-05	-9,61E-05	49,415	0	58,949	20,526	3,8875	47,039	
60	-1,43E-04	-1,41E-04	-3,32E-04	90,712	0	108,22	37,68	7,1364	86,351	
80	2076,3	548,16	1608,6	134,3	0	110,14	55,787	12,925	88,87	
100	7089,2	1871,6	5400,4	207,62	0	120,86	86,242	24,39	95,462	

180

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2.51E-05	-2.48E-05	-3.47E-04	9,3556	0	11,161	3,8862	0,73602	8,9059
40	-6.85E-06	-6.76E-06	-2.33E-05	49,867	0	59,489	20,714	3,9231	47,47
60	-1.40E-04	-1.38E-04	-3.24E-04	91,031	0	108,6	37,813	7,1616	86,655
90	2057,1	543,08	1592,9	134,17	0	110,36	55,732	12,893	88,039
100	7014	1851,7	5355,3	206,34	0	120,79	85,71	24,203	96,403

DATE

195

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2.54E-05	-2.51E-05	-3.32E-04	9,954	0	11,875	4,1347	0,78309	9,4754
40	-5.68E-05	-5.60E-05	-1.90E-04	50,943	0	60,773	21,161	4,0078	48,494
60	-1.59E-04	-1.56E-04	-3.66E-04	91,761	0	109,47	38,116	7,219	87,349
80	2026,6	535,03	1567,3	134,13	0	110,89	55,714	12,855	88,468
100	6854	1809,5	5256,6	203,88	0	120,94	84,689	23,828	96,526

DATE

210

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2.15E-05	-2.13E-05	-2.72E-04	10,298	0	12,285	4,2775	0,81013	9,8026
40	-1.63E-05	-1.61E-05	-5.42E-05	51,568	0	61,518	21,421	4,0569	49,089
60	-1.29E-04	-1.27E-04	-2.96E-04	92,053	0	109,81	38,237	7,2419	87,627
80	1950,1	514,83	1509,6	132,53	0	110,47	55,053	12,643	87,131
100	6648,3	1755,2	5137,4	199,84	0	120,09	83,011	23,277	96,849

DATE

225

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1.92E-05	-1.90E-05	-2.48E-04	10,082	0	12,027	4,1879	0,79316	9,5973
40	1.21E-05	3.19E-06	1.19E-05	50,949	0	60,779	21,163	4,0082	48,499
60	-6.62E-05	-6.54E-05	-1.54E-04	90,657	0	108,15	37,658	7,1321	86,299
80	1899,4	501,45	1477,9	129,97	0	108,39	53,989	12,384	86,473
100	6439,9	1700,1	5025,8	194,73	0	118,02	80,888	22,638	94,194

DATE

240

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1.73E-05	-1.71E-05	-2.27E-04	9,8774	0	11,783	4,1029	0,77707	9,4025
40	4.53E-05	1.20E-05	4.48E-05	50,054	0	59,711	20,791	3,9378	47,647
60	-1.06E-04	-1.05E-04	-2.49E-04	88,814	0	105,95	36,892	6,9871	84,544
80	1840	485,77	1441,5	126,72	0	105,66	52,639	12,061	84,296
99	6063,5	1600,8	4808,9	186,84	0	115,87	77,612	21,59	92,483

DATE

255

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2.38E-05	-2.35E-05	-3.17E-04	9,7482	0	11,629	4,0493	0,76691	9,2796
40	-2.94E-06	-2.90E-06	-1.01E-05	48,924	0	58,364	20,322	3,8489	46,572
60	-1.15E-04	-1.14E-04	-2.75E-04	86,59	0	103,3	35,968	6,8121	82,427
80	1790,7	472,74	1414,5	123,3	0	103,53	51,216	11,735	82,792
99	5932	1566,1	4750,6	182,33	0	113,03	75,737	21,085	89,211

DATE 270

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2,25E-05	-2,22E-05	-3,07E-04	9,4683	0	11,295	3,933	0,74488	9,0131
40	-3,56E-05	-3,51E-05	-1,25E-04	47,416	0	56,565	19,696	3,7303	45,136
60	-1,1E-04	-1,10E-04	-2,70E-04	83,874	0	100,06	34,84	6,5985	79,842
80	1767,8	466,7	1409,3	120,16	0	100,23	49,914	11,462	79,162
99	5880,8	1552,5	4742,9	179,17	0	109,25	74,425	20,778	87,993

DATEB 285

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2,27E-05	-2,24E-05	-3,16E-04	9,2762	0	11,066	3,8532	0,72977	8,8302
40	-2,19E-05	-2,15E-05	-1,01E-04	45,876	0	54,728	19,056	3,6092	43,671
60	-1,37E-04	-1,36E-04	-3,40E-04	81,55	0	97,285	33,874	6,4156	77,629
80	1767,1	466,52	1419,5	117,96	0	98,61	48,997	11,288	78,071
99	5945	1569,5	4802,2	178,48	0	106,184	74,138	20,797	85,346

DATEB 300

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1,4E-05	-1,3E-05	-1,64E-04	8,9952	0	10,731	3,7365	0,70766	8,5627
40	-1,66E-05	-1,64E-05	-6,15E-05	44,48	0	53,063	18,476	3,4993	42,342
60	-1,04E-04	-1,03E-04	-2,60E-04	79,727	0	95,111	33,118	6,2723	75,894
80	1949,9	514,78	1574,4	119,47	0	96,89	49,627	11,615	77,699
99	6145,5	1622,4	4939,9	180,65	0	104,902	75,039	21,195	83,323

DATEB 315

TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2,64E-05	-2,61E-05	-3,86E-04	8,8012	0	10,499	3,6559	0,6924	8,378
40	-2,64E-05	-2,61E-05	-9,91E-05	43,551	0	51,955	18,091	3,4262	41,458
60	-1,62E-04	-1,60E-04	-4,08E-04	79,041	0	94,292	32,832	6,2183	75,241
80	1923,6	507,82	1554,2	118,85	0	104,66	49,37	11,536	83,518
99	6188,7	1633,8	4966,5	181,39	0	96,947	75,345	21,302	77,359

DATE 330

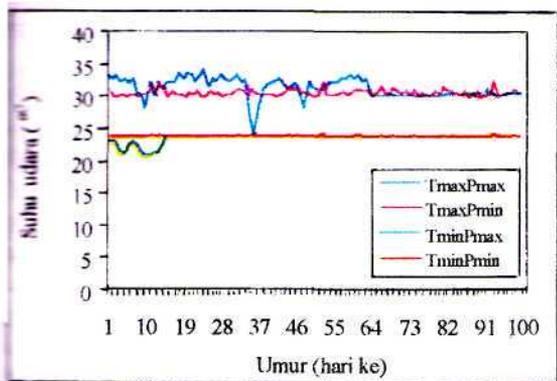
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1,55E-05	-1,53E-05	-2,30E-04	8,65	0	10,319	3,5931	0,6805	8,2341
40	-3,64E-05	-3,59E-05	-1,37E-04	43,11	0	51,428	17,907	3,3915	41,038
60	-1,43E-04	-1,42E-04	-3,59E-04	79,588	0	94,945	33,06	6,2613	75,762
80	2014	531,71	1622,8	121,07	0	97,57	50,292	11,814	78,236
99	6208,8	1639,1	4971,6	182,39	0	105,758	75,762	21,404	84,007

DATE 345

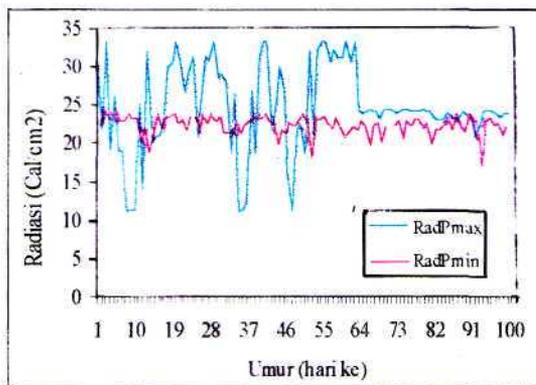
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-2,19E-05	-2,16E-05	-3,26E-04	8,6049	0	10,265	3,5743	0,67696	8,1912
40	-1,92E-05	-1,90E-05	-7,20E-05	43,704	0	52,137	18,154	3,4383	41,603
60	-1,24E-04	-1,22E-04	-3,07E-04	80,61	0	96,164	33,484	6,3417	76,735
80	2062,6	544,54	1656,9	122,73	0	98,61	50,981	11,999	78,066
99	6311,1	1666,1	5027	184,82	0	106,677	76,77	21,711	84,74

DATE 360

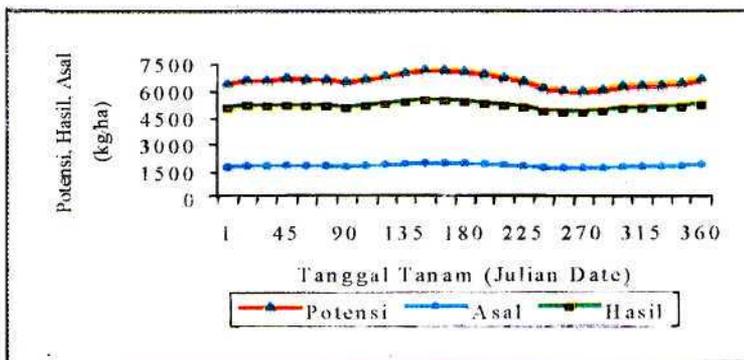
TIME	POTENS	ASAL	HASIL	NFOP	PFOP	KFOP	NUPK	PUPK	KUPK
0	0	0	0	0,44743	0	0,53376	0,18586	3,52E-02	0,42592
20	-1,86E-05	-1,84E-05	-2,75E-04	8,6788	0	10,353	3,605	0,68277	8,2615
40	-2,64E-05	-2,61E-05	-9,71E-05	44,805	0	53,45	18,611	3,5249	42,651
60	-1,23E-04	-1,21E-04	-3,05E-04	81,104	0	96,753	33,689	6,3806	77,205
80	2078,7	548,78	1667,3	123,41	0	107,1	51,262	12,071	85,462
99	6529,9	1723,9	5156,6	188,9	0	99,32	78,464	22,281	79,253



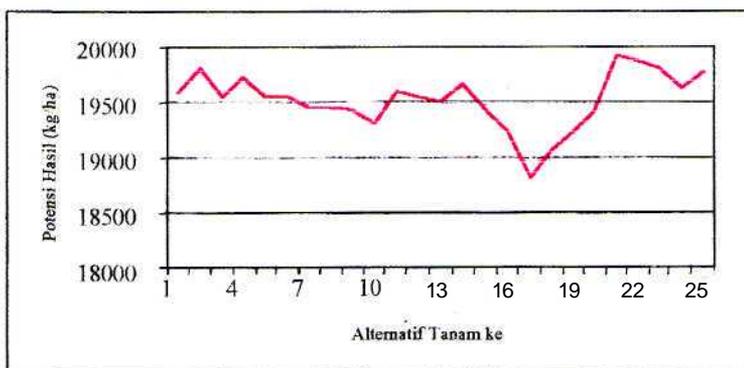
Gambar 1. Embutan suhu udara maksimum dan minimum da lain kondisi potensi hasil lertiaggi dan tercnadah.



(Jambar 2. Embutan radiasi pada potensi hasil fertinggi dan tercnadah



Ciambar 3. Asal, Hasil dan Potensi berdasarkan hasil simulasi tanggal tanam 2 iningguan



Gambar 4. Fluktuasi potensi hasil selama satu tahun berdasarkan hasil simulasi masa tanam dua mingguan

Tabel 3. Alternatif tanam tanaman padi selama 1 tahun berdasarkan model CSMP

Alternatif Tanam	1			2			3			Total
	Tgl. Tanam	Umur (hari)	Potensi (kg/ha)	Tgl. Tanam	Umur (hari)	Potensi (kg/ha)	Tgl. Tanam	Umur (hari)	Potensi (kg/ha)	Potensi (kg/ha)
1	1	98	6332,5	105	99	6594,6	210	100	6648,3	19575
2	15	98	6572,5	120	99	6782,2	225	100	6439,9	19795
3	30	97	6540,7	135	99	6927,2	240	99	6063,5	19531
4	45	98	6653,7	150	100	7124,6	255	99	5932	19710
5	60	98	6581,7	165	100	7089,2	270	99	5880,8	19552
6	75	98	6580,9	180	100	7014	285	99	5945	19540
7	90	98	6444,6	195	100	6854	300	99	6145,5	19444
8	105	99	6594,6	210	100	6648,3	315	99	6188,7	19432
9	120	99	6782,2	225	100	6439,9	330	99	6208,8	19431
10	135	99	6927,2	240	99	6063,5	345	99	6311,1	19302
11	150	100	7124,6	255	99	5932	360	99	6529,9	19587
12	165	100	7089,2	270	99	5880,8	15	98	6572,5	19543
13	180	100	7014	285	99	5945	30	97	6540,7	19500
14	195	100	6854	300	99	6145,5	45	98	6653,7	19653
15	210	100	6648,3	315	99	6188,7	60	98	6581,7	19419
16	225	100	6439,9	330	99	6208,8	75	98	6580,9	19230
17	240	99	6063,5	345	99	6311,1	90	98	6444,6	18819
18	255	99	5932	360	99	6529,9	105	99	6594,6	19057
19	270	99	5880,8	15	98	6572,5	120	99	6782,2	19236
20	285	99	5945	30	97	6540,7	135	99	6927,2	19413
21	300	99	6145,5	45	98	6653,7	150	100	7124,6	19924
22	315	99	6188,7	60	98	6581,7	165	100	7089,2	19860
23	330	99	6208,8	75	98	6580,9	180	100	7014	19804
24	345	99	6311,1	90	98	6444,6	195	100	6854	19610
25	360	99	6529,9	105	99	6594,6	210	100	6648,3	19773

Kritik terhadap model CSMP

Model CSMP ditujukan untuk mengintegrasikan komponen iklim dalam pemodelan potensi hasil tanaman padi bersama komponen tanah dan tanaman. Upaya ini belum maksimal karena masukan data iklim yang digunakan masih berupa data rata-rata harian. Untuk mengatasi hal ini disarankan untuk menggunakan data dengan kurun waktu yang panjang (sekitar 10 tahun).

Apabila ditujukan untuk melihat proses yang lebih detail, seperti hasil fotosintesis, respirasi, alokasi karbohidrat dan sebagainya, maka keluaran model CSMP akan meningkat kualitasnya apabila masukan data iklim yang digunakan lebih rinci (per jam) dan model dirubah menjadi skala quarter atau per jam. Hal ini sangat disarankan mengingat hasil padi merupakan akumulasi hasil fotosintesis yang bersifat runtut waktu (*time series*).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi CSMP dapat disimpulkan bahwa hasil padi yang dicapai saat ini masih terbuka untuk ditingkatkan (40 %) apabila komponen iklim diperhitungkan dengan seksama. Untuk itu besaran dan fluktuasi serta pola unsur iklim perlu dikuantifikasi agar kontribusinya terhadap produksi padi dapat dioptimalkan.

Suhu maksimum yang ringgi (siang hari) dan minimum yang lebih rendah (malam hari) serta radiasi surya yang lebih ringgi akan memberikan potensi hasil padi lebih baik dibandingkan suhu maksimum yang rendah, minimum yang ringgi dan radiasi yang rendah.

Hasil simulasi masa tanam dua minggu memungkinkan untuk menampilkan embutan ASAL, HASIL dan POTENSI dalam satu tahun. Dengan demikian dapat ditetapkan kombinasi optimum hasil tanaman padi untuk satu tahun. Bahkan lebih jauh dapat diprediksi sistem produksi yang optimum

berdasarkan kemampuan pembentukan karbohidrat per satuan waktu (nisbah antara hasil dibagi umur tanaman).

DAFTAR PUSTAKA

- Bey A. 1989.** Metode *Kausal dan Time Series untuk Analisis Data Iklim. Agroklimatologi.* Institut pertanian Bogor dan BKS-B. Bogor. 56 p.
- Chang Y. 1967.** *Climate and Agriculture: An Ecological Survey.* Adline. 303p.
- CIRAD France. 2000.** *SARRA, Systeme d'Analyse Regionale des Risque Agroclimatiques (Sistem Analisis Regional Resiko Agroklimat),* Modul SARRABIL. CIRAD.
- Darwis SN. 1982.** Efisiensi Pemupukan Nitrogen terhadap Padi Sawah pada Berbagai Lokasi Agroklimat. *Disertasi Doktor,* Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- De Datta SK. 1981.** *Principles and Practices of Rice Production.* John Wiley & Sons, New York. 618 p.
- Fagi AM and De Datta SK. 1981.** Environmental factors affecting nitrogen efficiency in flooded tropical rice. *Fertilizer Research* 2, 53-67.
- Fathan M. 1988.** Karakteristik Tanaman Jagung. Dalam: *Jagung.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Irianto G, Las I, Lidon B dan Muller B. 2000.** Aplikasi Agrometeorologi di Bidang Pertanian. *Makalah dalam Pelatihan Pemeliharaan Peralatan dan Pengelolaan serta Analisis Data Iklim.* Ungaran, 11-13 April 2000.
- Gris DH. 1975.** *Rice.* Tropical Agricultural Series. 4th Edition. Longmans, London. 601 p.
- IBSNAT Project. 1989.** *DSSAT User's Guide.* IBSNAT Project. Department of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii. Honolulu.
- IRRI 1974.** *An agroclimatic classification for evaluating cropping systems potentials in Southeast Asian Rice Growing Regions.* IRRI, Los Banos, Philippines.
- Jones CA and Kiniry JR. 1986.** *Ceres-Maize A Simulation Model of Maize Growth and Development.* Texas A&M University, Texas, USA. 194 p.
- Las I. 1992.** *Pewilayahan Komoditi Pertanian*
- Untuk memperoleh hasil dugaan yang lebih menyeluruh, maka model perlu divalidasi pada berbagai tipe iklim, dan jenis tanah.
- Berdasarkan Model Iklim Kabupaten Sikka dan Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur. *Disertasi Doktor.* Program Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Las I. 2000.** Pengantar Agroklimatologi dan Beberapa Pendekatannya. *Makalah dalam Pelatihan Pemeliharaan Peralatan dan Pengelolaan serta Analisis Data Iklim,* Ungaran, 11-13 April 2000.
- Makarim AK, Las I, Djulin AM dan Sutoro. 1999.** Penentuan Takaran Pupuk untuk Tanaman Padi Berdasarkan Analisis Sistem dan Model Simulasi. *Agronomika* 1, 32-39.
- Mustari K. 1985.** Model dan Simulasi untuk Perencanaan Penggunaan Lahan di Daerah Aliran Sungai Bila Walane Propinsi Sulawesi Selatan (Studi Kasus Sub DAS Walane Bagian Hulu). *Disertasi Doktor.* Fakultas Pascasarjana IPB, Bogor.
- Nishiyama I. 1976.** Effect of temperature on vegetative growth of rice plant. Dalam: *Climate and Rice,* 159-186. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Oldeman LR. 1975.** An agroclimatic map of Java and Madura. *Contr. Res. Inst. Agric. No. 17,* Bogor. 22 p.
- Penning de Vriest FWT, Jansen DM, ten Berge HFM and Bakema A. 1989.** *Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops.* IRRI, Los Banos, Philippines.
- Redjekiningrum P. 1993.** Penggunaan Model Simulasi "DSSAT" Untuk Menduga Potensi Hasil Padi Sawah di Empat Lokasi. *Tesis S2, Program Pasca Sarjana IPB,* Bogor.
- Tanaka I. 1976.** Climate influence on photosynthesis and photorespiration of rice. Dalam: *Climate and Rice,* 223-248. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Vergara BS. 1980.** Rice plant growth and development. Dalam: *Rice: Production and Utilization.* BS Lut (Ed.), 75-86. AVI, Westport, Connecticut.
- Yoshida S. 1981.** *Fundamental of Rice Crop Science.* IRRI, Los Banos, Philippines. 269 p.