

**PENENTUAN KELEMBABAN TANAH OPTIMUM UNTUK BUDIDAYA PADI SAWAH SRI
(SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION) MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA**
*DETERMINING OPTIMAL SOIL MOISTURE FOR SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION
PADDY FIELD USING GENETIC ALGORITHMS*

Oleh :

Chusnul Arif*)✉, Budi Indra Setiawan *) , Masaru Mizoguchi **)

*)Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB, Bogor, Indonesia

**) Department of Global Agricultural Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku, Tokyo, Japan

✉Komunikasi penulis, email : chusnul_ar@yahoo.com

Naskah ini diterima pada 21 Februari 2014 ; revisi pada 24 Maret 2014 ;

disetujui untuk dipublikasikan pada 21 April 2014

ABSTRACT

In this study, an optimal soil moisture level that maximizes both yield and water productivity of system of rice intensification (SRI) paddy field was simulated by genetic algorithms (GA) model. The GA model was performed to find an optimal combination of soil moisture levels according to the empirical data during three cropping seasons at Nusantara Organic SRI Center (NOSC), Nagrak Sukabumi, West Java. Here, we classified soil moisture level into three levels i.e. wet (W), medium (M) or dry (D) based on the soil water retention curve. As the results, the optimal soil moisture was a combination of wet, wet, medium, and dry levels of soil moisture for initial, crop development, mid-season and late season growth stages, respectively. The wet level in the initial and crop development growth stages should be achieved providing enough water for the plant to develop root, stem and tiller, and then the field can be drained into the medium level with the irrigation threshold of field capacity to avoid spikelet sterility in the mid-season stage, and finally, let the field in the dry level to save more water in the late season stage when plant water requirement is minimum. By this scenario, it was simulated that the yield can be increased up to 4.40% and water productivity up to 8.40% with saving water up to 12.28% compared to the empirical data.

Keywords: *genetic algorithms, non-flooded irrigation, system of rice intensification (SRI), water productivity, water saving*

ABSTRAK

Kelembaban tanah yang optimum untuk budidaya padi sawah dengan *System of Rice Intensification* (SRI) sangat penting dengan tujuan untuk meningkatkan produksi padi dan produktifitas air. Makalah ini mengemukakan metode optimasi dengan Algoritma Genetika untuk menentukan kelembaban tanah optimum pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman berdasarkan data empirik selama 3 musim tanam percobaan yang dilakukan di Nusantara Organic SRI Center (NOSC), Nagrak Sukabumi, Jawa Barat. Dalam satu musim tanam, fase pertumbuhan tanaman dibagi menjadi 4 fase, yaitu : fase awal (*initial*), vegetatif (*crop development*), tengah musim (*mid-season*) dan akhir musim (*late season*). Selain itu, kelembaban tanah diklasifikasikan menjadi tiga level berdasarkan kurva retensi air, yaitu basah (*wet*), agak basah (*medium*) dan kering (*dry*). Dari hasil optimasi, didapatkan kelembaban tanah yang optimum adalah kombinasi level kelembaban tanah basah, basah, agak basah dan kering untuk fase pertumbuhan awal, vegetatif, tengah musim dan akhir musim. Kelembaban tanah pada level basah untuk fase awal dan vegetatif sangat penting untuk tanaman khususnya daerah perakaran dalam menyediakan air yang cukup untuk pertumbuhan akar, batang dan daun. Kemudian, air irigasi dapat dikurangi untuk menjaga kelembaban tanah pada level agak basah di fase tengah musim untuk menghindari dan mengurangi jumlah bulir yang tidak produktif. Pada fase pertumbuhan akhir musim, kelembaban tanah pada level kering dapat diterapkan untuk menghemat air irigasi ketika pada fase ini kebutuhan air tanaman minimal. Dengan kombinasi ini, dari hasil simulasi menggunakan Algoritma Genetika didapatkan peningkatan produksi sebesar 4.40% dan produktifitas air sebesar 8.40% dibandingkan data empirik dengan air yang dapat dihemat sebesar 12.28%.

Kata kunci : *algoritma genetika, irigasi tidak tergenang, produktifitas air, produktifitas lahan, system of rice intensification (SRI)*

I. PENDAHULUAN

Saat ini dengan semakin berkurangnya sumberdaya air dan terjadinya kompetisi penggunaan air telah menyebabkan teknologi irigasi hemat air menjadi pilihan dalam menjaga keberlanjutan budidaya padi sawah. Sehingga penelitian tentang teknologi irigasi hemat air telah menjadi skala prioritas utama (Barker et al., 2000). Padi sangat mungkin diproduksi menggunakan teknologi hemat air dengan menerapkan metode *system of rice intensification* (SRI) dengan menerapkan irigasi *intermittent*/berselang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa irigasi tergenang secara terus-menerus tidak selalu berkorelasi positif dengan kenaikan produksi baik gabah maupun biomassa (Lin et al., 2011; Sato et al., 2011; Zhao et al., 2011).

Metode SRI telah dikenal sebagai sekumpulan cara sebagai upaya peningkatan produktifitas lahan sawah irigasi dengan merubah manajemen tanaman, tanah dan pupuk/nutrisi. Meskipun awalnya mendapatkan kritik pedas dari beberapa peneliti seperti Dobermann, 2004; Sheehy et al., 2004; Sinclair and Cassman, 2004; tetapi metode SRI telah diterapkan dan divalidasi oleh beberapa peneliti dilebih 42 negara di Asia, Afrika dan Amerika Latin (Uphoff et al., 2011). Didalam SRI, irigasi berselang diterapkan dimana lahan dimungkinkan basah/jenuh pada waktu tertentu dan kering pada waktu yang lain (Van der Hoek et al., 2001).

Telah banyak penelitian dilakukan dengan membandingkan antara irigasi tergenang dan tidak tergenang/berselang dengan metode SRI (Barison and Uphoff, 2011; Chapagain and Yamaji, 2010; Choi et al., 2012; Hameed et al., 2011; Sato et al., 2011; Zhao et al., 2011). Produktifitas air dapat ditingkatkan melalui metode SRI secara signifikan seperti yang dilaporkan penelitian di beberapa negara, diantaranya peningkatan sebesar 28% di Jepang (Chapagain and Yamaji, 2010), 40% di Indonesia bagian timur (Sato et al., 2011), 38.5% di Irak (Hameed et al., 2011). Selain produktifitas air, produktifitas lahan juga dapat ditingkatkan sebesar 100% di Madagascar (Barison and Uphoff, 2011), 78% di Indonesia bagian timur (Sato et al., 2011), 65% di Afghanistan (Thomas and Ramzi, 2011), 42% di Iraq (Hameed et al., 2011), dan 11.3% di China (Lin et al., 2011). Namun, penelitian tersebut belum menunjukkan kelembaban tanah yang

optimum untuk SRI. Kelembaban tanah optimum merupakan kondisi dimana jumlah air didalam tanah (*water content*) sesuai dengan kebutuhan tanaman baik untuk proses evapotranspirasi maupun metabolisme yang lain. Kelembaban tanah optimum ini sangat penting dalam perencanaan irigasi khususnya ketika menentukan kapan lahan harus basah/jenuh maupun kering, sehingga diharapkan irigasi yang diterapkan sangat efisien dengan tujuan untuk meningkatkan produksi lahan dan air sekaligus.

Dalam menentukan kelembaban tanah optimum untuk SRI, banyak faktor yang harus dipertimbangkan seperti kebutuhan air tanaman, fungsi produksi, hujan, keseimbangan air di lahan dan fase pertumbuhan tanaman (Zhang et al., 2008). Akan tetapi, didalam menentukan kelembaban tanah optimum dengan menggunakan optimasi sederhana cukup sulit karena keterbatasan dalam mengintegrasikan multi-faktor didalam model yang akan dibangun. Untuk itu, didalam makalah ini dipilih metode Algoritma Genetika karena memiliki karakteristik didalam mencari solusi yang optimum dengan cara mencari berbagai macam kombinasi dengan fungsi tujuan tertentu (Kuo et al., 2000).

Adapun tujuan khusus makalah ini adalah menentukan kelembaban tanah yang optimum untuk SRI dengan tujuan memaksimalkan produktifitas lahan dan air sekaligus dalam satu fungsi tujuan menggunakan metode Algoritma Genetika.

Ruang lingkup bahasan pada makalah ini meliputi pengembangan model optimasi yang didasarkan pada data empirik selama 3 musim tanam budidaya padi dengan sistem SRI. Model optimasi tersebut dikembangkan dengan satu fungsi tujuan yang mengakomodasi dua parameter, yaitu produktifitas lahan dan air. Sedangkan parameter yang dicari pada model tersebut adalah kelembaban tanah optimum pada empat fase pertumbuhan tanaman.

Kemudian hasil optimasi model tersebut dibandingkan dengan data empirik untuk melihat peningkatan produktifitas lahan dan air yang dapat dihasilkan dari model tersebut.

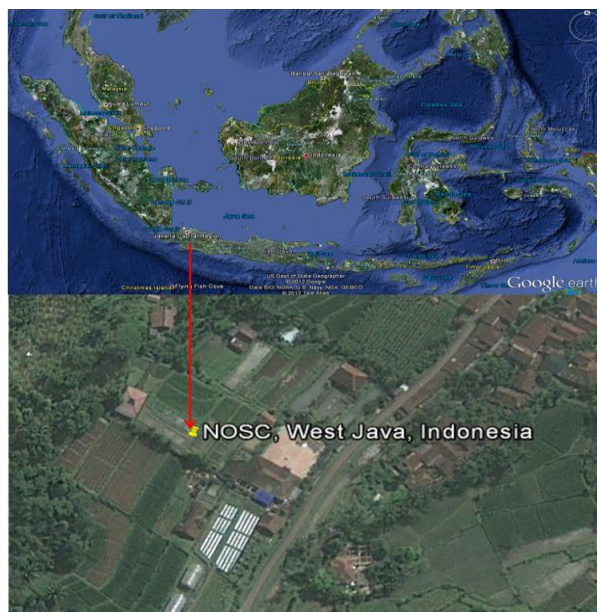
II. METODOLOGI

2.1. Lokasi Penelitian dan Desain Percobaan

Optimasi dengan menggunakan metode Algoritma Genetika didasarkan pada data hasil percobaan

plot SRI di Nusantara Organics SRI Center (NOSC), Sukabumi, West Java, Indonesia dengan koordinat 06°50'43"LS dan 106°48'20"BT dengan

ketinggian 536 mdpl selama 3 musim tanam (Gambar 1 dan Tabel 1).



Gambar 1 Lokasi penelitian

Terdapat 4 plot yang digunakan dengan ukuran 4 x 4 m² dan ditanami varietas padi *Sintanur* dengan beberapa komponen SRI, diantaranya: tanam tunggal dengan benih muda umur 7 hari, jarak tanam 30 cm x 30 cm, menggunakan pupuk organik (kompos) dengan dosis 1 kg/m² pada

persiapan lahan. Penyiangan dilakukan setiap 10 hari selama 4 kali sampai tanaman berumur 40 hari setelah tanam (HST) bersamaan dengan penggunaan mikro organisme lokal (MOL) untuk meningkatkan aktifitas biologi didalam tanah (Uphoff et al., 2011).

Tabel 1 Musim tanam pada percobaan yang dilakukan

Periode	Tanggal tanam	Tanggal panen	Musim
Pertama	14 Oktober 2010	8 Februari 2011	Hujan
Kedua	20 Agustus 2011	15 Desember 2011	Kemarau - Hujan
Ketiga	22 Maret 2012	5 Juli 2012	Hujan - Kemarau

Masing-masing plot diberikan pengairan yang berbeda-beda tanpa penggenangan sehingga memiliki kelembaban tanah dengan level yang berbeda-beda disetiap fase pertumbuhan tanaman. Untuk plot 1, ketinggian air dijaga pada permukaan tanah untuk seluruh fase pertumbuhan sampai seminggu sebelum panen. Untuk plot 2, ketinggian air dijaga pada permukaan tanah sampai 20 HST, kemudian diturunkan sebesar 5 cm dibawah permukaan tanah sampai seminggu sebelum panen. Untuk plot 3 dan 4, ketinggian air dijaga sama seperti plot 2 sampai 20 HST, kemudian diturunkan sebesar 10 cm dibawah permukaan tanah untuk

plot 3 dan 20 cm untuk plot 4 sampai seminggu sebelum panen. Pada waktu seminggu sebelum panen, seluruh plot dikeringkan.

Pada percobaan ini, fase pertumbuhan tanaman dibagi menjadi empat yaitu: fase awal (*initial*), vegetatif (*crop development*), tengah musim (*mid-season*) dan akhir musim (*late season*) (Allen et al., 1998; Mohan and Arumugam, 1994; Tyagi et al., 2000; Vu et al., 2005). Disamping itu, kelembaban tanah diklasifikasikan menjadi tiga level, yaitu: basah (*wet*), agak basah (*medium*) dan kering (*dry*) berdasarkan kurva retensi air. Kondisi level basah dicapai ketika nilai pF tanah antara 0 - 1.6 (kondisi *air entry*). Kondisi level agak basah

dicapai ketika nilai pF tanah diantara 1.6 – 2.54 (kondisi kapasitas lapang). Sedangkan kondisi kering dicapai ketika nilai pF tanah lebih rendah dari kondisi kapasitas lapang (pF 2.54). Detail klasifikasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Kelembaban tanah diukur menggunakan sensor 5-TE yang diproduksi oleh Decagon Devices, Inc., USA. Sedangkan hujan, radiasi matahari, suhu udara dan parameter cuaca lainnya diukur menggunakan stasiun cuaca Davis Vantage Pro2. Parameter cuaca tersebut digunakan untuk menghitung evapotranspirasi acuan. Setelah panen, pada masing-masing plot, produktifitas lahan dicatat untuk menentukan produktifitas air yang didefinisikan sebagai total produksi per jumlah evapotranspirasi dalam satu musim tanam

sesuai dengan persamaan berikut (Bouman et al., 2005):

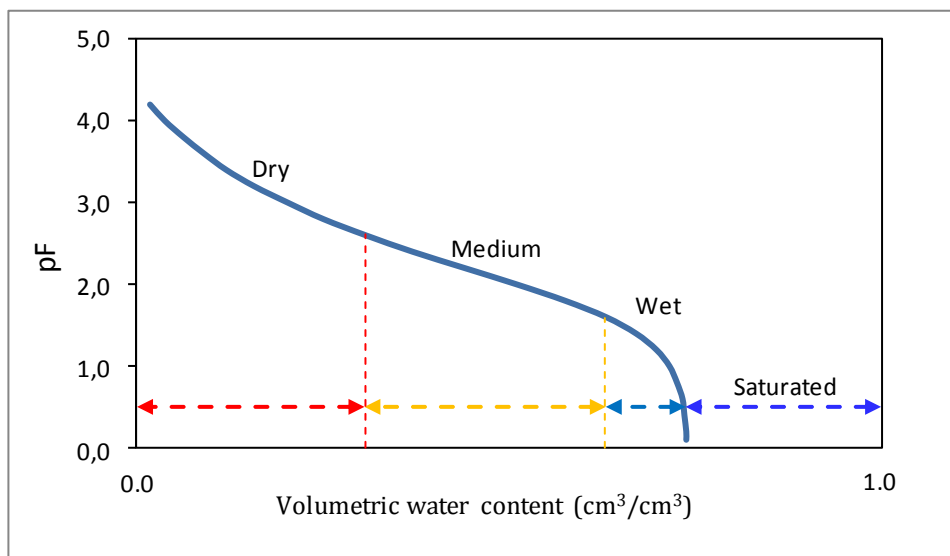
$$WP = \frac{Y}{\sum ET} \dots\dots\dots (1)$$

dimana Y adalah total produksi (ton/ha), ET adalah evapotranspirasi dan WP adalah produktifitas air (g gabah/L air).

Selain produktifitas air, nilai manfaat air (NIMA) juga ditentukan pada masing-masing plot dengan persamaan berikut:

$$NIMA = \frac{Y}{\sum I + R} \dots\dots\dots (2)$$

dimana NIMA adalah nilai manfaat air (kg gabah/m³ air masuk), I adalah total irigasi per plot (mm) dan R adalah hujan (mm)



Gambar 2 Klasifikasi level kelembaban tanah padi sawah pada percobaan ini

2.2 Pengembangan model optimasi

2.2.1 Model identifikasi

Sebelum melakukan optimasi untuk menentukan kelembaban tanah optimum, proses identifikasi dilakukan untuk mencari hubungan antara kelembaban tanah dan parameter cuaca dengan produksi yang dihasilkan. Pada percobaan ini, input produksi seperti pupuk organik dan MOL diberikan dalam jumlah yang sama untuk seluruh perlakuan. Untuk input produksi berupa air irigasi diberikan berbeda untuk masing-masing plot dalam menjaga ketinggian air yang

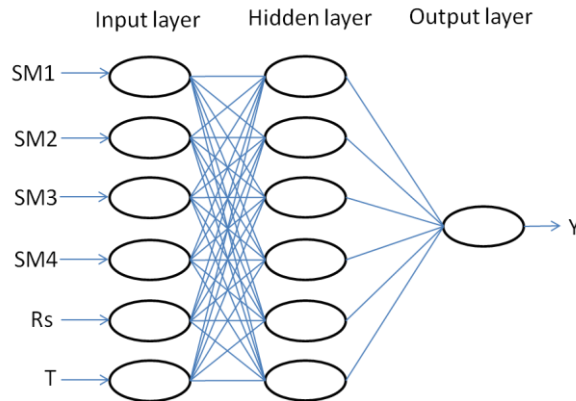
dikehendaki. Input air yang berbeda tersebut akan menyebabkan kelembaban tanah berbeda-beda masing-masing plot, sehingga dalam kasus ini produksi ditentukan oleh level kelembaban tanah dan parameter cuaca dalam hal ini radiasi matahari dan suhu udara dengan persamaan dasar sebagai berikut:

$$Y = f(SM1, SM2, SM3, SM4, Rs, T) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana Y adalah produksi (ton/ha), Rs adalah total radiasi (MJ/m²/musim), T adalah rata-rata suhu udara (°C), SM1, SM2, SM3, SM4 adalah rata-rata kelembaban tanah berturut-turut untuk fase

awal, vegetatif, tengah musim dan akhir musim (cm^3/cm^3). Untuk parameter cuaca, dua parameter tersebut dipilih karena merupakan faktor dominan yang menentukan besarnya evapotranspirasi. Untuk model identifikasi ini, model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) digunakan sebagai model yang mampu memecahkan permasalahan kompleks yang sering dijumpai pada

bidang pertanian (Hashimoto, 1997). Model ini terdiri dari 3 layer, yaitu layer masukan (*input layer*), layer tersembunyi (*hidden layer*) dan layer keluaran (*output layer*) (Gambar 3). Pembelajaran model JST yang digunakan adalah *backpropagation* dimana hubungan antara masukan dan keluaran direpresentasikan dengan pembobot (*weights*).



Gambar 3 Struktur model JST untuk memprediksi produksi yang dipengaruhi oleh kelembaban tanah dan parameter cuaca.

2.2.2 Model Optimasi dengan Algoritma Genetika

Proses optimasi dalam menentukan kelembaban tanah optimum menggunakan model Algoritma Genetika didasarkan pada fungsi obyektif sebagai berikut:

$$F = a_1 Y + b_1 WP \dots\dots\dots(4)$$

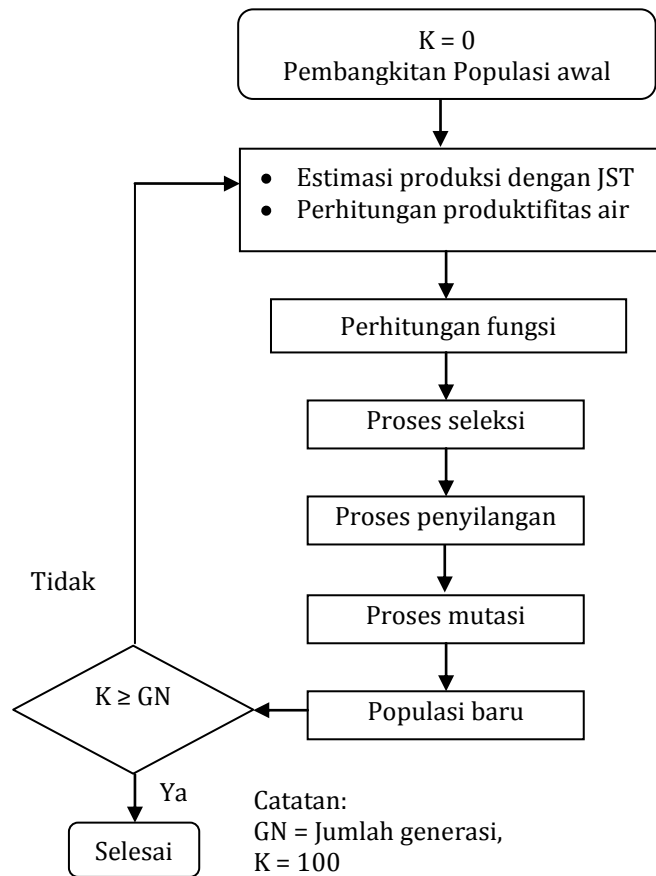
Maksimisasi F, dengan batasan sebagai berikut:

$$SM_{min} \leq SM1, SM2, SM3, SM4 \leq SM_{max} \dots(5)$$

Dimana, a_1 adalah konstanta produksi dan b_1 adalah konstanta untuk produktifitas air. Untuk memberikan bobot yang sama diantara produksi dan produktifitas air, maka masing-masing bobot tersebut diberikan nilai masing-masing 0.5. SM_{min} adalah nilai minimum kelembaban tanah dan SM_{max} adalah nilai maksimum kelembaban tanah yang didapatkan selama percobaan ini.

Proses optimasi dengan Algoritma Genetika mengikuti diagram pada Gambar 4 dan dibuat dengan pemrograman *visual basic* yang ada didalam MS. Excel 2007. Berikut detail proses optimasinya:

- a. Pembangkitan populasi awal secara acak, dalam hal ini terdapat 10 individu dalam satu populasi dan disebut sebagai generasi pertama
 - b. Dari data tiap individu tersebut, diperkirakan jumlah produksinya menggunakan model JST dan kemudian dihitung produktifitas airnya berdasarkan persamaan 1
 - c. Dari hasil estimasi produksi dan perhitungan produktifitas air, kemudian dihitung fungsi obyektifnya berdasarkan persamaan 4
 - d. Performansi masing-masing individu tersebut dievaluasi dengan cara mengurutkan besarnya nilai fungsi obyektifnya. Disini, dipilih 60% individu terbaik/tertinggi nilai fungsi obyektifnya untuk mengikuti proses selanjutnya, sedangkan sisanya dibuang/eliminasi
 - e. Proses penyilangan dan mutasi dilakukan untuk individu terpilih tersebut
 - f. Dari proses tersebut didapatkanlah populasi baru dengan performansi yang lebih bagus
 - g. Langkah b sampai f diulangi sampai 100 generasi
- Nilai kelembaban tanah optimum diperoleh oleh generasi yang memiliki nilai fungsi obyektif yang paling tinggi.



Gambar 4 Proses optimasi dengan Algoritma Genetika

Algoritma Genetika merupakan metode adaptive untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Proses optimasi seperti dijelaskan diatas menunjukkan bahwa algoritma genetika bekerja didasarkan pada proses genetik dengan prinsip siapa yang paling kuat (*fit*) akan bertahan dan dipilih sebagai generasi terbaik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Cuaca selama 3 musim tanam

Tabel 2 merupakan ringkasan data kondisi cuaca selama 3 musim tanam. Pada masing-masing, hujan terjadi dengan tingkat intensitas yang

berbeda. Hujan dengan intensitas tertinggi terjadi pada musim pertama dengan total hujan sebesar 1332 mm. Tingginya curah hujan pada musim tersebut berkorelasi negatif dengan radiasi matahari. Radiasi matahari terendah terjadi pada musim ini dengan nilai sebesar 1464 MJ/m²/musim. Sedangkan suhu udara besarnya relatif sama untuk seluruh musim, dimana suhu maksimum tertinggi terjadi pada musim kedua sebesar 32.8°C dan juga suhu minimum terendahnya sebesar 16.2°C. Kondisi cuaca ini sangat menentukan besarnya proses evapotranspirasi yang terjadi pada masing-masing musimnya.

Tabel 2 Kondisi cuaca selama 3 musim tanam percobaan

Musim	Hujan (mm)	Suhu udara (°C)			Radiasi matahari (MJ/m ² /musim)
		Minimum	Rata-rata	Maksimum	
I (Hujan)	1332	19.5	23.5	31.9	1464
II (Kemarau - Hujan)	626	16.2	24.0	32.8	1827
III (Hujan - Kemarau)	551	17.4	24.3	32.3	1652

3.2 Hubungan antara produksi dan faktor lingkungan

Tabel 3 menunjukkan hasil produksi dengan komponen masing-masing keseimbangan air didalam plot percobaan. Hasil produksi menunjukkan nilai beragam dari masing-masing plot dan musim. Tidak ada perbedaan yang signifikan pada musim pertama dan kedua, dengan hasil tertinggi untuk produksi dan produktifitas air didapatkan pada musim ketiga. Hujan minimum pada musim ketiga menyebabkan kebutuhan air irigasi meningkat. Sedangkan *runoff* cukup tinggi terjadi pada musim pertama ketika

hujan sangat tinggi dengan tingkat perkolasi dan evapotranspirasi yang tidak berbeda signifikan antar musim. Dari data tersebut menunjukkan bahwa irigasi akan lebih efektif ketika hujan turun tidak terlalu tinggi intensitasnya karena air yang diirigasikan tersebut akan mampu menjaga ketinggian air yang diinginkan dilahan. Dari hasil percobaan selama tiga musim, hasil produksi maksimum didapatkan sebesar 10 ton/ha dengan produktifitas air sebesar 2.73 g/L di plot pertama. Data ini akan dijadikan acuan untuk mencari kelembaban tanah optimum untuk budidaya metode SRI pada setiap fase pertumbuhan tanaman.

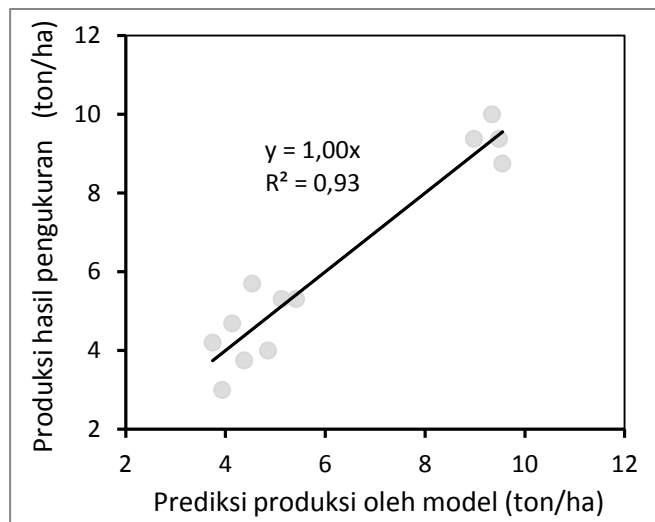
Tabel 3 Hasil produksi dan komponen keseimbangan air dilahan

Musim	Plot	Y (t/ha)	NIMA (kg/m ³)	Qi (mm)	R (mm)	WP (g L ⁻¹)	RO (mm)	DP (mm)
1	1	4.69	0.32	142	1332	1.46	992	145
	2	5.31	0.35	189	1332	1.57	1009	170
	3	3.75	0.26	123	1332	1.16	1010	122
	4	5.31	0.35	183	1332	1.61	1053	132
2	1	4.00	0.41	362	626	0.92	453	120
	2	3.00	0.29	394	626	0.68	454	131
	3	5.70	0.57	383	626	1.26	453	118
	4	4.20	0.42	366	626	0.95	435	114
3	1	10.00	1.12	343	551	2.73	413	134
	2	9.38	1.11	295	551	2.63	427	126
	3	8.75	1.02	305	551	2.46	417	123
	4	9.38	1.14	272	551	2.64	423	117

Y: produksi; NIMA: nilai manfaat air; Qi: air irigasi; R: hujan; WP: produktifitas air; RO: *runoff*; DP: perkolasi

Seperti yang diuraikan sebelumnya, meskipun hasil produksi padi tidak hanya dipengaruhi oleh ketersediaan air didalam tanah (direpresentasikan dengan tingkat kelembaban tanah) dan faktor cuaca, pada kasus ini hanya diperhatikan dua faktor tersebut dimana faktor lainnya diberikan pada level yang sama selama percobaan. Hasil identifikasi dengan model JST yang mempresentasikan hubungan antara produksi dan kedua faktor tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Pada Gambar 5 tersebut terlihat

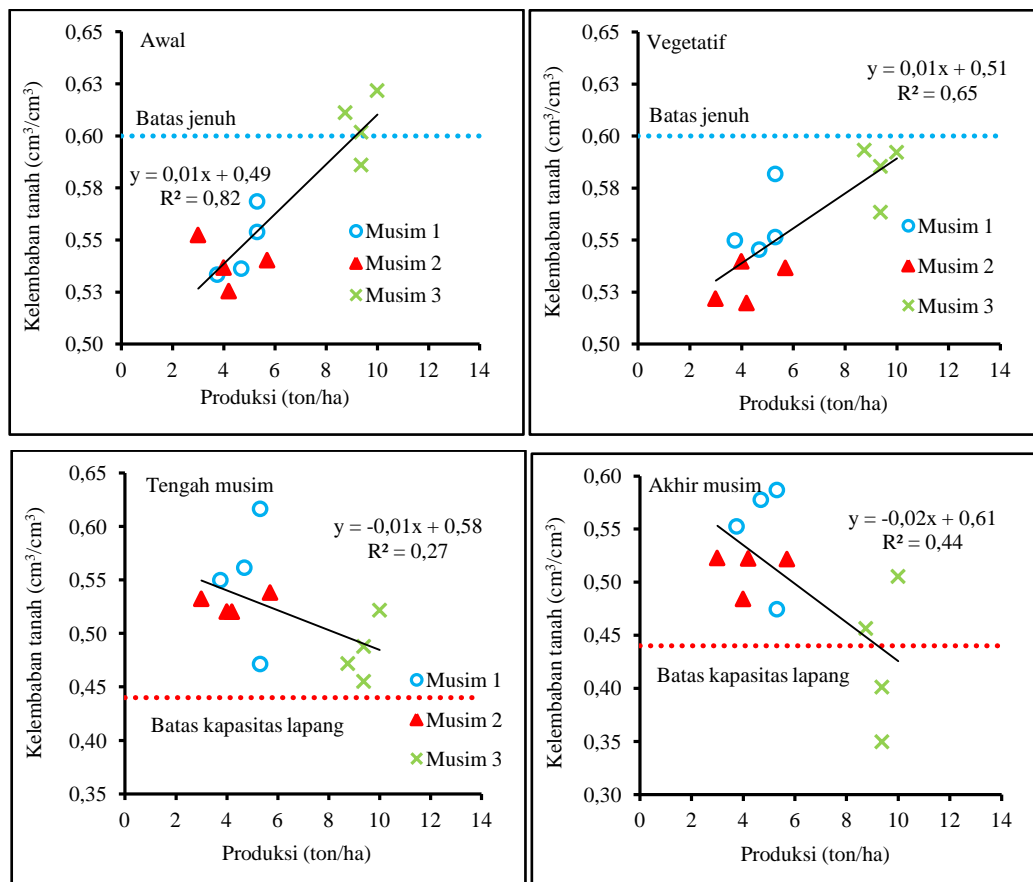
bahwa model JST mampu memperkirakan produksi padi dengan tingkat validasi yang tinggi dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0.89 ($R^2 = 0.89$). Hal ini menunjukkan bahwa nilai R^2 mendekati nilai 1 yang mengindikasikan bahwa model JST mampu memprediksi produksi padi dengan menggunakan data kelembaban tanah dan cuaca. Hasil dari JST ini adalah nilai pembobot yang menghubungkan antara parameter masukan dan parameter keluaran. Jumlah pembobot yang dihasilkan pada model ini adalah 42 pembobot.



Gambar 5 Hasil validasi model JST

Gambar 6 menunjukkan korelasi linear antara rata-rata kelembaban tanah pada masing-masing fase terhadap produksi. Dari Gambar 6 tersebut dapat diketahui bahwa kelembaban tanah pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman memiliki hubungan linear dengan produksi padi meskipun dengan tingkat korelasi yang berbeda. Pada fase awal dan vegetatif, kelembaban tanah memiliki hubungan positif dengan produksi dengan tingkat korelasi tinggi yang direpresentasikan dengan nilai R^2 lebih besar dari

0.6. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi level kelembaban tanah maka produksi akan meningkat. Pada fase awal, produksi maksimum diperoleh ketika level kelembaban tanah melewati batas jenuh tanahnya yang mengindikasikan terjadinya genangan tipis/macak-macak dilahan. Kemudian, pada fase vegetatif, maksimum produksi diperoleh ketika level kelembaban tanah mendekati batas jenuh tanah.



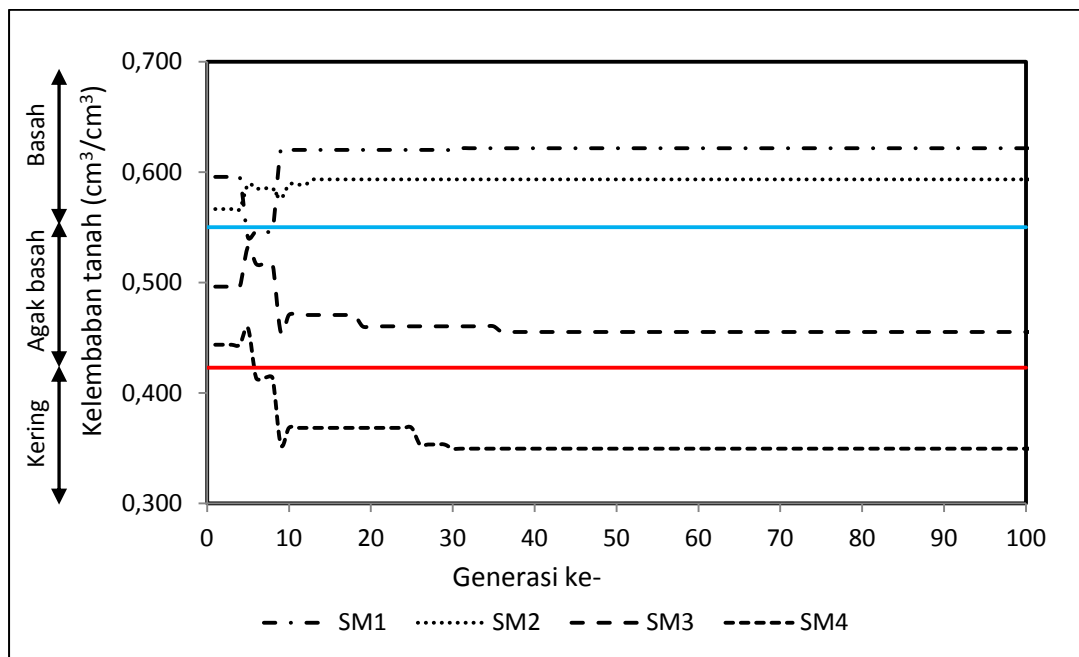
Gambar 6 Korelasi linear antara rata-rata kelembaban tanah tiap fase pertumbuhan dengan produksi.

Sebaliknya, pada fase tengah musim dan akhir musim, hubungan antara kelembaban tanah dan produksi menunjukkan hubungan yang negatif meskipun tingkat korelasinya lebih rendah dari dua fase sebelumnya. Berdasarkan data empiric selama 3 musim tanam, fase tengah musim kemungkinan merupakan fase transisi dimana air irigasi dapat dikurangi ketika akar tanaman sudah tumbuh sempurna untuk memproduksi gabah sekaligus menghemat air. Dari data empiric menunjukkan bahwa maksimum produksi diperoleh ketika kelembaban tanah lebih tinggi dari nilai kapasitas lapang. Hal ini berarti kondisi level kelembaban tanah dalam kisaran agak basah

(*medium*). Selanjutnya, pada fase akhir musim, kondisi lebih kering menunjukkan adanya peningkatan produksi sekaligus dapat diterapkan untuk menghemat penggunaan air irigasi.

3.3 Kelembaban tanah optimum

Sebagaimana dijelaskan di subbab sebelumnya bahwa produksi tertinggi selama tiga musim tanam diperoleh pada musim ketiga, sehingga untuk mencari kelembaban tanah optimum digunakan data cuaca pada musim tanam ketiga sebagai masukan model optimasi Algoritma Genetika.



Gambar 7 Hasil pencarian kelembaban tanah optimum oleh model Algoritma Genetika

Tabel 4 Kelembaban tanah optimum pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman dan perbandingannya dengan hasil musim tanam ketiga plot 1

Komponen	Musim tanam ketiga		Model Algoritma Genetika	
	Plot 1	Besaran	Besaran	Keterangan
Kelembaban tanah (cm ³ /cm ³)				
Fase awal (SM1)	0.622	0.622	0.622	Basah
Fase vegetatif (SM2)	0.592	0.592	0.593	Basah
Fase tengah musim (SM3)	0.522	0.522	0.455	Agak Basah
Fase akhir musim (SM4)	0.505	0.505	0.350	Kering
Produksi (ton/ha)	10.00	10.00	10.84	
Nilai manfaat air (kg/m ³)	1.12	1.12	1.27	
Air irigasi (mm)	343	343	301	
Hujan (mm)	551	551	551	
Produktifitas air (g gabah/ L air)	2.73	2.73	2.96	
Air irigasi yang dihemat (%)	-	-	12.28%	

Hasil pencarian kelembaban tanah optimum oleh model optimasi Algoritma Genetika dapat dilihat pada Gambar 7. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa model Algoritma Genetika telah mampu mencari kelembaban tanah optimum pada

masing-masing fase pertumbuhan tanaman. Hal ini dapat dilihat bahwa pencarian pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman menunjukkan satu angka yang konvergen. Pada fase pertumbuhan awal (SM1) dan vegetatif (SM2),

nilai kelembaban tanah optimum dapat dicapai secara konvergen lebih cepat daripada fase tengah musim (SM3) dan akhir musim (SM4).

Tabel 4 menunjukkan kelembaban tanah optimum pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman dan perbandingannya dengan hasil pada musim tanam ketiga di plot 1 yang menghasilkan produksi tertinggi selama tiga musim tanam. Kelembaban tanah optimum yang didapatkan model adalah 0.622 (basah), 0.593 (basah), 0.455 (agak basah), and 0.350 cm³/cm³ (kering) untuk fase awal, vegetatif, tengah musim dan akhir musim secara berurutan. Dari simulasi model Algoritma Genetika dihasilkan kenaikan produksi sebesar 4.40% sekaligus juga meningkatkan produktifitas air sebesar 8.40% dan nilai manfaat air sebesar 15.3% dengan banyaknya air irigasi yang dihemat sebesar 12.28%.

Dari simulasi model optimasi ini menunjukkan bahwa pada fase awal dan vegetatif untuk menjaga kondisi kelembaban tanah pada level basah adalah sangat penting dalam memenuhi kebutuhan air tanaman khususnya dalam pembentukan akar. Hasil simulasi ini juga didukung oleh hasil percobaan dimana produksi maksimum diperoleh ketika kondisi kelembaban tanah pada level basah (Gambar 6). Pada metode SRI, genangan air yang tebal tidak diperlukan dalam rangka untuk menghindari kekurangan oksigen didalam tanah yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Sebagai solusinya kondisi kelembaban tanah dalam level basah sangat penting untuk memenuhi kebutuhan air tanaman khususnya dalam pembentukan akar, batang dan daun serta anakan (Uphoff et al., 2011).

Kemudian, kondisi kelembaban tanah dapat dijaga pada level agak basah di fase tengah musim ketika tanaman fokus pada tahapan generatif dalam rangka pembentukan bunga dan malai. Pada fase ini, kondisi kelembaban tanah pada level agak basah dapat menciptakan kondisi *aerobic* (tersedianya oksigen yang cukup) yang dapat menghindari dan mengurangi jumlah bulir yang tidak produktif khususnya pada waktu sekitar pembentukan bunga (Bouman et al., 2005). Terakhir pada fase akhir musim, penggunaan air dilahan dapat dikurangi ketika pada fase ini kebutuhan air menunjukkan jumlah yang minimum sehingga air irigasi dapat dihemat sebagaimana telah ditunjukkan oleh penelitian sebelumnya (Doorenbos and Kassam, 1979; Uphoff et al., 2011; Zawawi et al., 2010). Hasil dari

simulasi model ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan irigasi khususnya untuk metode budidaya padi SRI.

IV. KESIMPULAN

Kombinasi kelembaban tanah optimum untuk budidaya padi metode SRI telah dicari dengan model Algoritma Genetika dengan tujuan untuk memaksimalkan produksi dan produktifitas air. Optimasi dilakukan berdasarkan data pengukuran pada tiga musim tanam dengan hasil kelembaban tanah optimum adalah 0.622 (basah), 0.593 (basah), 0.455 (agak basah), dan 0.350 cm³/cm³ (kering) untuk fase awal, vegetatif, tengah musim dan akhir musim. Kelembaban tanah pada level basah untuk fase awal dan vegetatif diperlukan untuk menyediakan air yang cukup bagi pertumbuhan vegetatif seperti akar, batang dan daun. Kemudian, kelembaban tanah pada level agak basah diperlukan pada fase tengah musim untuk menghindari dan mengurangi bulir yang tidak produktif. Terakhir, kelembaban tanah pada level kering dapat diterapkan pada fase akhir musim untuk menghemat air irigasi ketika kebutuhan air tanaman minimum. Dengan skenario tersebut, model Algoritma Genetika memperkirakan produksi dapat ditingkatkan 4.40% sekaligus juga meningkatkan produktifitas air sebesar 8.40% dan nilai manfaat air sebesar 15.2% dengan banyaknya air irigasi yang dihemat sebesar 12.28%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI atas dukungan dana penelitian melalui hibah kerjasama luar negeri dan publikasi Internasional tahun 2010-2012. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada GRENE-ei CAAM project di Jepang oleh the University of Tokyo yang memberikan dukungan berupa peralatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R.G., Pareira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Barison, J., Uphoff, N., 2011. Rice yield and its relation to root growth and nutrient-use

- efficiency under SRI and conventional cultivation: an evaluation in Madagascar. *Paddy Water Environ* 9, 65-78.
- Barker, R., Dawe, D., Tuong, T.P., Bhuiyan, S.I., Guerra, L.C., 2000. The outlook for water resources in the year 2020: challenges for research on water management in rice production. *International Rice Commission Newsletter* 49, 7-21.
- Bouman, B.A.M., S.Peng., Castaneda, A.R., Visperas, R.M., 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agr Water Manage* 74, 87-105.
- Chapagain, T., Yamaji, E., 2010. The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. *Paddy Water Environ* 8, 81-90.
- Choi, J.D., Park, W.J., Park, K.W., Lim, K.J., 2012. Feasibility of SRI methods for reduction of irrigation and NPS pollution in Korea. *Paddy Water Environ* published online by Springerlink Feb. 9.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 33. FAO, Rome.
- Hameed, K.A., Mosa, A.K.J., Jaber, F.A., 2011. Irrigation water reduction using System of Rice Intensification compared with conventional cultivation methods in Iraq. *Paddy Water Environ* 9, 121-127.
- Hashimoto, Y., 1997. Applications of artificial neural networks and genetic algorithms to agricultural systems. *Comput Electron Agr* 18, 71-72.
- Kuo, S.F., Merkley, G.P., Liu, C.W., 2000. Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm. *Agr Water Manage* 45, 243-266.
- Lin, X.Q., Zhu, D.F., Lin, X.J., 2011. Effects of water management and organic fertilization with SRI crop practices on hybrid rice performance and rhizosphere dynamics. *Paddy Water Environ* 9, 33-39.
- Mohan, S., Arumugam, N., 1994. Irrigation crop coefficient for lowland rice. *Irrigation and Drainage Systems* 8, 159-176.
- Sato, S., Yamaji, E., Kuroda, T., 2011. Strategies and engineering adaptations to disseminate SRI methods in large-scale irrigation systems in Eastern Indonesia. *Paddy Water Environ* 9, 79-88.
- Thomas, V., Ramzi, A.M., 2011. SRI contributions to rice production dealing with water management constraints in northeastern Afghanistan. *Paddy Water Environ* 9, 101-109.
- Tyagi, N.K., Sharma, D.K., Luthra, S.K., 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agr Water Manage* 45, 41-54.
- Uphoff, N., Kassam, A., Harwood, R., 2011. SRI as a methodology for raising crop and water productivity: productive adaptations in rice agronomy and irrigation water management. *Paddy Water Environ* 9, 3-11.
- Van der Hoek, W., Sakthivadivel, R., Renshaw, M., Silver, J.B., Birley, M.H., Konradsen, F., 2001. Alternate wet/dry irrigation in rice cultivation: a practical way to save water and control malaria and Japanese encephalitis?, *Research Report* 47. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Vu, S.H., Watanabe, H., Takagi, K., 2005. Application of FAO-56 for evaluating evapotranspiration in simulation of pollutant runoff from paddy rice field in Japan. *Agr Water Manage* 76, 195-210.
- Zawawi, M.A.M., Mustapha, S., Puasa, Z., 2010. Determination of water requirement in a paddy field at seberang perak rice cultivation area. *Journal - The institution of Engineers* 71, 32-41.
- Zhang, B., Yuan, S.Q., Zhang, J.S., Li, H., 2008. Study of corn optimization irrigation model by genetic algorithms, IFIP International Federation for Information Processing. Springer, pp. 121-132.
- Zhao, L.M., Wu, L.H., Wu, M.Y., Li, Y.S., 2011. Nutrient uptake and water use efficiency as affected by modified rice cultivation methods with reduced irrigation. *Paddy Water Environ* 9, 25-32.