

Penerapan Algoritma Genetika Untuk Optimasi Pengelolaan Air Lahan Padi Sawah Rendah Emisi Gas Metana (CH₄)

(Application of Genetic Algorithms for Water Management Optimization of Low Methane Gas Emission (CH₄) From Paddy Fields)

Yulvin Marhamah Putri¹, Chusnul Arif^{1*}

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, PO. BOX. 220, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680

*Penulis korespondensi: chusnul_arif@apps.ipb.ac.id

Diterima: 16 Oktober 2018

Disetujui: 22 November 2018

ABSTRACT

Conventional paddy field with continuous flooding irrigation produces a lot of greenhouse gases (GHG) emissions, especially methane gas (CH₄). Effective water management is important to reduce methane gas emissions from paddy fields. This study aimed to determine optimum water level and soil moisture in each plant growth stage by genetic algorithms (GA) with system of rice intensification (SRI) practices. Research was conducted with three irrigation regimes i.e. continuous flooding regime (FR), moderate regime (MR), and dry regime (DR). Observation data were used to simulate the optimum water level and soil moisture. Based on the optimum water level scenario of the GA model, methane gas emissions could reduce 63.54% and optimum soil moisture can reduce methane gas emission up to 58.12%.

Keywords: genetic algorithms, greenhouse gases, soil moisture, SRI, water level

PENDAHULUAN

Gas alam yang dihasilkan secara alami oleh makhluk hidup, baik hewan maupun tumbuhan disebut gas rumah kaca (Lintangrino dan Boedisantoso 2016). Salah satu sektor penyumbang emisi gas rumah kaca adalah sektor pertanian. Gas rumah kaca yang di lepaskan ke atmosfer berupa CO₂, CH₄, dan N₂O (Paustian *et al.* 2004). Pembakaran serasah tanaman, pembusukan oleh mikroba, dan bahan organik tanah menghasilkan gas CO₂ (Janzen 2004). Transformasi mikroba pada tanah menghasilkan N₂O dan meningkat apabila ketersediaan nitrogen melebihi jumlah yang dibutuhkan tanaman (Smith dan Conen 2004). Sedangkan CH₄ dihasilkan apabila dekomposisi bahan organik terjadi pada kondisi kekurangan oksigen (anaerobik), terutama dari lahan sawah (Mosier 2001).

Peningkatan emisi gas rumah kaca diprediksi terus bertambah pada masa yang akan datang karena meningkatnya kebutuhan pangan yang disebabkan penggunaan lahan

marginal (Lintangrino dan Boedisantoso 2016). Menurut Snyder *et al.* (2007), budidaya padi sawah dengan pola irigasi tergenang menyumbangkan emisi gas rumah kaca yang cukup besar terutama gas metana (CH₄) yang merupakan salah satu gas rumah kaca yang memiliki potensi 23 kali lebih besar dari gas CO₂. Salah satu alternatif strategi mitigasi gas rumah kaca dari lahan sawah adalah dengan budidaya padi *system of rice intensification* (SRI) (Arif *et al.* 2016).

Metode SRI telah dikenal sebagai sekumpulan cara sebagai upaya peningkatan produktivitas lahan sawah irigasi dengan merubah manajemen tanaman, tanah, dan pupuk/nutrisi (Arif *et al.* 2014). Menurut Simarmata (2016), proses manajemen sistem perakaran budidaya SRI berbasis pada pengelolaan air, tanah, dan tanaman yang intensif dan efisien. Budidaya padi SRI hanya menggunakan air untuk menjaga kelembaban tanah agar suplai oksigen ke akar cukup sehingga padi dapat tumbuh dengan baik (Rufako 2015). Selain itu, pengelolaan air yang optimal untuk lahan

padi sawah rendah emisi gas metana perlu dilakukan. Pengelolaan air yang optimal merupakan kondisi dimana jumlah pemberian air sesuai yang dibutuhkan, dilakukan secara tepat waktu, dan tepat sasaran. Permasalahan suatu pencarian nilai optimasi memerlukan bantuan suatu model untuk memudahkan prosesnya. Oleh karena itu, model algoritma genetika (AG) digunakan sebagai cara untuk mencari solusi pengelolaan air yang optimal dengan cara mencari berbagai macam kombinasi dengan fungsi tujuan tertentu (Arif *et al.* 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tinggi muka air dan kelembaban tanah optimum pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman menggunakan algoritma genetika (AG) dengan budidaya padi *system of rice intensification* (SRI). Manfaat hasil penelitian ini adalah memberikan informasi kepada pengelola lahan mengenai besarnya pengaruh rezim air terhadap emisi gas metana yang diproduksi oleh lahan padi sawah, serta sebagai salah satu cara untuk optimasi pengelolaan air pada lahan persawahan dalam upaya mitigasi emisi gas rumah kaca.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Mei 2018, atau selama satu masa tanam padi. Penanaman dilaksanakan pada 20 Januari dan panen pada 13 Mei 2018. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lapang Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan untuk penanaman budidaya padi. Analisis gas dilakukan di Laboratorium Gas Rumah Kaca di Jakenan, Pati, Jawa Tengah. Penelitian ini meliputi uji analisis gas metana dan penerapan algoritma genetika untuk optimasi pengelolaan air (tinggi muka air dan kelembaban tanah) lahan padi sawah.

Alat yang digunakan untuk pengambilan contoh gas metana adalah kotak tertutup (*chamber*) berukuran 30 cm x 30 cm x 120 cm disertai *chamber base* berukuran 30 cm x 30 cm x 20 cm, kantong tedlar 200 ml, botol vial coklat 10 ml dilengkapi dengan klep karet. Alat yang digunakan untuk penerapan model algoritma genetika adalah seperangkat komputer yang dilengkapi dengan perangkat

lunak *Microsoft Excel* 2016. Bahan yang digunakan dalam penanaman budidaya padi adalah varietas padi Pertiwi. Pemupukan dilakukan tiga kali selama budidaya padi berlangsung. Jenis dan jumlah pupuk yang diberikan untuk varietas padi Pertiwi berdasarkan anjuran yang ada pada kemasan varietas padi tersebut. Alat yang digunakan untuk melihat kondisi lingkungan mikro (sekitar lahan budidaya) adalah sensor tinggi muka air (*eTape*), sensor suhu dan kelembaban tanah (*5TE Moisture/Temp/EC*), *data logger* EM50 untuk menyimpan data, serta *software ECH₂O Utility* untuk mengunduh data.

Pola irigasi pada penelitian ini terbagi menjadi tiga rezim air yang berbeda yaitu rezim air tergenang, rezim air basah, dan rezim air kering. Pola irigasi rezim air tergenang (RT) diterapkan untuk budidaya padi konvensional, sedangkan rezim air basah (RB) dan rezim air kering (RK) untuk budidaya padi SRI (Sujono 2011). Prinsip budidaya padi SRI yang diterapkan mengikuti tahapan yang telah dirangkum (Hasanah *et al.* 2017). Setiap perlakuan dilakukan satu kali pengulangan sehingga dibutuhkan tiga plot lahan berukuran 2 m x 2 m x 0.5 m untuk masing-masing plot budidaya padi. Tinggi muka air pada rezim air tergenang adalah 2 cm (0-70 hari setelah tanam) dan 0 cm (71-113 hari setelah tanam) di atas permukaan tanah. Tinggi muka air rezim air basah adalah 1 cm (0-20 hari setelah tanam) dan 0 cm (21-113 hari setelah tanam) di atas permukaan tanah. Tinggi muka air rezim air kering adalah 1 cm (0-20 hari setelah tanam), 0 cm (21-30 hari setelah tanam), dan -5 cm (31-113 hari setelah tanam) di atas permukaan tanah. Prosedur pengambilan gas uji mengikuti standar *Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agriculture*, IAEA 1993. Pengambilan gas uji dilakukan satu kali dalam seminggu. Analisis dilakukan dengan menggunakan peralatan *gas chromatography* (GC) yang terkalibrasi. Hasil analisis yang didapat berupa konsentrasi gas (ppm). Laju perubahan konsentrasi gas per satuan waktu digunakan dalam penentuan besar fluks gas. Penentuan fluks gas metana dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) (IAEA 1993).

$$E = \frac{\frac{\partial C}{\partial t} \times \frac{V}{A} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273.2}{273.2+T}}{\dots\dots\dots} \quad (1)$$

Keterangan :

- E = fluks gas CH₄ (mg/m³/menit)
- $\frac{\partial C}{\partial t}$ = perbedaan konsentrasi gas CH₄ per waktu pengambilan (ppm/menit)
- V_{ch} = volume chamber (m³)
- A_{ch} = luas chamber (m²)
- mV = volume molekul gas CH₄ (22.41 liter pada suhu dan tekanan standar)
- mW = berat molekul gas CH₄ (16.04 g/mol)
- T = suhu selama sampling (°C)

Total fluks selama satu musim tanam dihitung dengan mengintegrasikan nilai fluks tersebut menggunakan metode numerik Simpson (Arif 2013). Penentuan total dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{6} \left[f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \quad (2)$$

Keterangan :

- f(x) = total emisi gas rumah kaca per parameter (mg/m²/musim)
- a = waktu pengukuran ke-a (hari)
- b = waktu pengukuran ke-b (hari)
- f(a) = nilai emisi gas rumah kaca pada waktu ke-a (mg/m²/hari)
- f(b) = nilai emisi gas rumah kaca pada waktu ke-b (mg/m²/hari)

Apabila terdapat pencilan (*outlier*) dalam data yang didapatkan, maka terlebih dahulu dilakukan analisis dengan metode *boxplot*. Menurut Paludi (2009), metode ini menggunakan nilai jangkauan dan kuartil, dimana kuartil pertama (Q1), kedua (Q2), dan ketiga (Q3) akan membagi sebuah urutan data menjadi empat bagian. Jangkauan (IQR, *Interquartile Range*) merupakan selisih Q1 terhadap Q3. Data dianggap sebagai pencilan apabila nilai kurang dari selisih Q1 terhadap 1.5 IQR serta nilai lebih dari penjumlahan Q3 dan 1.5 IQR.

Proses identifikasi dilakukan untuk mencari hubungan antara parameter yang akan di optimasi seperti tinggi muka air dan kelembaban tanah dengan produksi gas metana yang dihasilkan. Proses tersebut dilakukan sebelum melakukan optimasi untuk menentukan pengelolaan air (tinggi muka air dan kelembaban tanah) optimum. Berikut ini adalah persamaan dasar yang digunakan.

$$Y = f(WL1, WL2, WL3, WL4) \dots\dots\dots (3)$$

$$Y = f(SM1, SM2, SM3, SM4) \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

- Y = estimasi produksi gas metana (kg/ha/musim)
- WL1 = rata-rata tinggi muka air fase awal (cm)
- WL2 = rata-rata tinggi muka air fase vegetatif (cm)
- WL3 = rata-rata tinggi muka air fase tengah musim (cm)
- WL4 = rata-rata tinggi muka air fase akhir musim (cm)
- SM1 = rata-rata kelembaban tanah fase awal (m³/m³)
- SM2 = rata-rata kelembaban tanah fase vegetatif (m³/m³)
- SM3 = rata-rata kelembaban tanah fase tengah musim (m³/m³)
- SM4 = rata-rata kelembaban tanah fase akhir musim (m³/m³)

Model identifikasi yang digunakan adalah model jaringan syaraf tiruan (JST). Menurut Hashimoto (1997), model JST digunakan untuk memecahkan permasalahan kompleks yang sering dijumpai pada bidang pertanian. Model JST yang digunakan adalah *backpropagation* dimana hubungan antara *input* dan *output* direpresentasikan dengan pembobot (*weights*). Menurut Arif *et al.* (2014), algoritma ini terdiri dari dua fase yaitu perhitungan *forward* dan *backward propagation* serta *update* pembobot. Model JST yang dikembangkan terdiri dari tiga *layer*, yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. Masing-masing *layer* terhubung dengan nilai pembobot (*weights*) yang berperan sebagai penghubung antara *layer* tersebut. Koefisien determinasi (R²) digunakan untuk mengendalikan tingkat keakuratan hasil prediksi dari suatu model yang dikembangkan (Ennouri *et al.* 2017). Menurut Olori *et al.* (1999), nilai R² > 0.7 menyatakan bahwa suatu model sangat baik, namun apabila nilai R² < 0.4 maka model prediksi tersebut sebaiknya tidak digunakan.

Pengembangan model optimasi dilakukan dengan model algoritma genetika. Proses optimasi dalam menentukan tinggi

muka air dan kelembaban tanah optimum didasarkan pada satu fungsi tujuan yang dapat dilihat pada persamaan (5).

$$F = a_1 Y \dots\dots\dots (5)$$

Maksimasi F (fungsi tujuan) untuk optimasi tinggi muka air dengan batasan yang disajikan pada persamaan (6). Sedangkan batasan untuk optimasi kelembaban tanah disajikan pada persamaan (7).

$$WL_{min} \leq WL1, WL2, WL3, WL4 \leq WL_{max} \dots (6)$$

$$SM_{min} \leq SM1, SM2, SM3, SM4 \leq SM_{max} \dots\dots (7)$$

Keterangan :

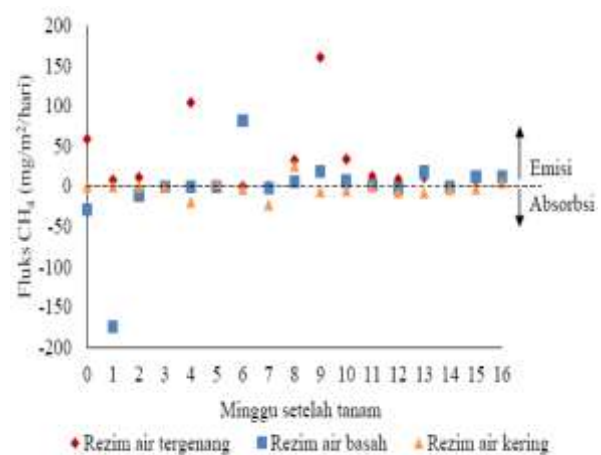
- Y = estimasi produksi gas metana (kg/ha/musim)
- a₁ = konstanta produksi gas metana (a₁ = 1)
- WL_{min} = nilai minimum tinggi muka air (cm)
- WL_{max} = nilai maksimum tinggi muka air (cm)
- SM_{min} = nilai minimum kelembaban tanah (m₃/m₃)
- SM_{max} = nilai maksimum kelembaban tanah (m₃/m₃)

Model algoritma genetika dibuat dengan pemrograman *visual basic* yang ada pada *Microsoft Excel 2016*. Model dikembangkan dengan data empirik selama satu musim tanam budidaya padi SRI. Parameter yang dicari pada model tersebut adalah pengelolaan air optimum (tinggi muka air dan kelembaban tanah) pada empat fase pertumbuhan tanaman. Menurut Arif *et al.* (2014), dalam satu musim tanam, fase pertumbuhan tanaman dibagi menjadi empat fase, yaitu fase awal (*initial*), vegetatif (*crop development*), tengah musim (*mid-season*), dan akhir musim (*late season*). Fase awal dari 0-27 hari setelah tanam, fase vegetatif dari 28-72 hari setelah tanam, fase tengah dari 73-96 hari setelah tanam, dan fase akhir dari 97-112 hari setelah tanam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluks Gas Metana (CH₄)

Fluks gas metana dari ketiga pola irigasi, yaitu rezim ari tergenang, rezim air basah, dan rezim air kering selama satu musim tanam disajikan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan perubahan dinamika fluks gas metana dari masing-masing rezim air. Terdapat data-data *outlier* dari ketiga rezim air selama beberapa minggu, sehingga data tersebut tidak disajikan dalam grafik pada Gambar 1. Fluks gas metana pada masing-masing rezim air memiliki nilai yang berfluktuatif dari 0 sampai 16 minggu setelah tanam. Berdasarkan Gambar 1, menunjukkan bahwa pada rezim air basah memiliki nilai fluks negatif untuk beberapa minggu meliputi, minggu ke-0, 1, 2, 7, 12, dan minggu ke-14. Sedangkan pada rezim air kering memiliki nilai fluks negatif dari minggu ke-4, 6, 7, dan minggu ke-9 sampai minggu ke-15. Perbedaan konsentrasi gas metana per waktu pengambilan ($\delta C/\delta t$) pada beberapa minggu tersebut menunjukkan nilai *slope* yang negatif sehingga mengindikasikan nilai fluksnya negatif (Bogner *et al.* 1995). Menurut Whalen dan Reeburgh (1990), fluks negatif ini merupakan laju oksidasi gas metana pada tanah oleh bakteri metanotrof di bawah *chamber*.



Gambar 1. Fluks gas metana pada ketiga rezim air selama satu musim tanam

Peningkatan fluks gas metana pada rezim air tergenang terjadi pada minggu ke-1 sampai minggu ke-4 dan selanjutnya terjadi fluktuatif sampai minggu ke-16. Pada rezim air basah nilai fluks gas metana berfluktuatif mengalami peningkatan dan penurunan secara periodik 1-3 minggu sekali. Pada rezim air basah, penurunan fluks gas metana yang bernilai negatif secara drastis terjadi pada minggu ke-1. Hal ini disebabkan oleh fluktuatifnya konsentrasi gas saat pengambilan. Nilai *slope* negatif yang didapatkan tersebut cukup tinggi, sehingga fluks gas metana bernilai negatif yang dihasilkan tinggi pula. Sedangkan pada rezim air kering, nilai fluks gas metana yang dihasilkan paling rendah dibandingkan dengan kedua rezim yang lain. Tingginya nilai fluks gas metana yang bernilai positif pada rezim air tergenang dan rezim air basah mengindikasikan emisi gas metana yang dilepaskan tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi lahan tergenang selama beberapa minggu. Kondisi tergenang memungkinkan aktivitas bakteri metanogenik meningkat sehingga emisi gas metana pun meningkat (Arif *et al.* 2016).

Total fluks gas metana selama satu musim tanam pada rezim air tergenang, rezim air basah, dan rezim air kering secara berurutan sebesar 48.47 kg CH₄/ha/musim, 3.59 kg CH₄/ha/musim, dan -5.40 kg CH₄/ha/musim. Maka total fluks gas metana dari ketiga rezim air sebesar 46.66 kg CH₄/ha/musim. Berdasarkan nilai total fluks dari ketiga rezim tersebut, dapat diketahui bahwa budidaya rezim air tergenang memiliki nilai tertinggi, dilanjutkan rezim air basah, sedangkan rezim air kering memiliki nilai terendah. Hal ini menunjukkan bahwa rezim air untuk padi sawah melalui budidaya SRI (rezim air basah dan rezim air kering) dapat mengurangi emisi gas metana dalam upaya mitigasi emisi gas rumah kaca dari lahan sawah.

Pengaruh Lingkungan Mikro terhadap Fluks Gas Metana (CH₄)

Fluks gas metana dari lahan padi sawah bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi

lingkungan mikro. Parameter lingkungan mikro 7 yang mempengaruhi fluks gas CH₄ meliputi tinggi muka air dan kelembaban tanah. Hasil perubahan tinggi muka air masing-masing rezim air selama satu musim tanam disajikan pada Gambar 2.



Menurut Wihardjaka (2015), bakteri metanogen aktif dalam memproduksi gas metana pada sistem irigasi tergenang. Kondisi tanah sawah yang tergenang secara terus menerus menghasilkan emisi gas metana yang tinggi. Oleh karena itu, perlu pengendalian tinggi muka air untuk mengurangi emisi gas metana. Tinggi muka air dikendalikan dengan sistem irigasi dan drainase yang terdapat pada masing-masing media tanam. Berdasarkan Gambar 2, menunjukkan bahwa tinggi muka air pada minggu ke-0 dan beberapa minggu selanjutnya dari ketiga rezim air tidak sama dengan pengaturan tinggi muka air yang diinginkan. Hal ini disebabkan tidak dilakukannya pengukuran secara manual menggunakan penggaris, sehingga tidak ada pembandingan dengan data yang didapat dari sensor *eTape*. Data yang didapat merupakan hasil rekaman dari sensor tinggi muka air (*eTape*). Selain itu, sistem drainase dan irigasi yang tidak bekerja optimal menyebabkan tinggi muka air sukar untuk dikendalikan. Saat terjadi hujan deras apabila sistem drainase tidak bekerja dengan baik maka lahan akan tergenang, namun apabila sistem drainase bekerja terus-menerus dapat menyebabkan lahan kering. Oleh karena itu diperlukan pengawasan secara periodik. Menurut Tyagi *et al.* (2010), pengaturan irigasi dan drainase menjadi kunci penting untuk meminimalkan gas rumah kaca dari lahan sawah. Nilai tinggi muka air dan fluks gas

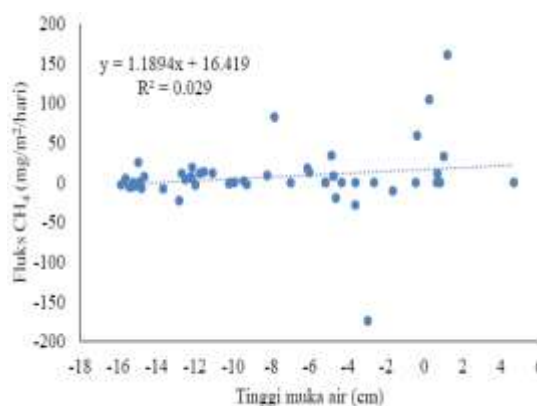
metana pada masing-masing fase pertumbuhan selama satu musim tanam disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa fluks gas metana tertinggi sebesar 31.63 kg/ha terdapat pada fase awal rezim air tergenang dengan tinggi muka air rata-rata sebesar 0.10 cm. Dari ketiga rezim air pada fase awal terlihat bahwa tinggi muka air tertinggi atau keadaan tergenang menghasilkan emisi gas metana tertinggi dari ketiga rezim air tersebut. Penggenangan menyebabkan turunnya nilai potensial redoks (Eh) yang diindikasikan oleh turunnya jumlah oksigen dalam tanah sehingga terjadi kondisi anaerobik. Kondisi tersebut menyebabkan bakteri metanogen dapat bekerja secara optimal memproduksi gas metana (Wihardjaka 2015).

Tabel 1 Tinggi muka air dan fluks gas metana selama satu musim tanam

Fase pertumbuhan	Tinggi muka air (cm)			Fluks CH ₄ (kg/ha)		
	Rezim tergenang	Rezim basah	Rezim kering	Rezim tergenang	Rezim basah	Rezim kering
Awal	0.10	-2.89	-5.88	31.63	-3.53	-3.30
Vegetatif	-0.27	-10.75	-13.80	13.99	4.87	-0.77
Tengah musim	-10.44	-7.96	-14.65	2.13	1.43	-1.39
Akhir musim	-13.08	-11.40	-15.73	0.72	0.82	0.06
Total				48.47	3.59	-5.40

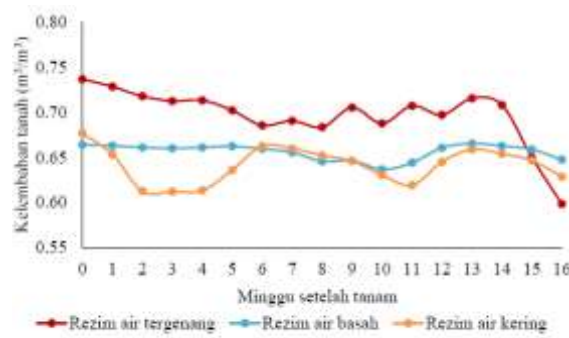
Tinggi muka air yang menghasilkan gas metana terendah terdapat pada fase awal pertumbuhan rezim air basah dengan tinggi muka air rata-rata sebesar -2.89 cm. Pada fase berikutnya yaitu fase vegetatif, tengah musim, dan akhir musim, tinggi muka air yang menghasilkan gas metana terendah terdapat pada rezim air kering dengan tinggi muka air rata-rata berturut-turut sebesar -13.80 cm, -14.65 cm, dan -15.73 cm. Hubungan tinggi muka air dengan emisi gas metana disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hubungan tinggi muka air dengan emisi gas metana

Gambar 3 menunjukkan bahwa tinggi muka air berkorelasi positif terhadap gas metana yang dihasilkan ($R^2 = 0.029$). Angka koefisien determinasi sebesar 0.029 ($R^2 = 0.029$) menunjukkan kontribusi variabel tinggi muka air dalam menjelaskan variabel fluks gas metana sebesar 2.9%, sedangkan sisanya dijelaskan variabel lain diluar variabel yang diuji. Tinggi muka air yang semakin tinggi menyebabkan gas metana yang dihasilkan pun semakin tinggi. Gas metana tertinggi dihasilkan ketika tinggi muka air bernilai 1.20 cm. Gas metana terendah dihasilkan ketika tinggi muka air bernilai sebesar -2.95 cm.

Kelembaban tanah merupakan parameter yang dapat mempengaruhi fluks gas metana. Hasil perubahan kelembaban tanah masing-masing rezim air selama satu musim tanam disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Perubahan kelembaban tanah selama satu musim tanam

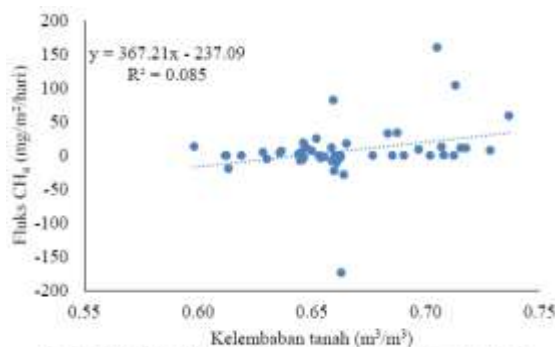
Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan bahwa rezim air tergenang memiliki kelembaban tanah tertinggi dibandingkan dengan rezim air basah dan rezim air kering. Hal tersebut mengindikasikan bahwa rezim air

tergenang memiliki kondisi tanah paling jenuh. Kondisi sawah tergenang dengan kelembaban tanah jenuh berpotensi besar menghasilkan emisi gas metana (Arif *et al.* 2015). Nilai kelembaban tanah dan fluks gas metana pada masing-masing fase pertumbuhan selama satu musim tanam disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Kelembaban tanah dan fluks gas metana selama satu musim tanam

Fase pertumbuhan	Kelembaban tanah (m ³ /m ³)			Fluks CH ₄ (kg/ha)		
	Rezim tergenang	Rezim basah	Rezim kering	Rezim tergenang	Rezim basah	Rezim kering
Awal	0.72	0.66	0.63	31.63	-3.53	-3.30
Vegetatif	0.69	0.65	0.65	13.99	4.87	-0.77
Tengah musim	0.71	0.66	0.64	2.13	1.43	-1.39
Akhir musim	0.62	0.65	0.64	0.72	0.82	0.06
Total				48.47	3.59	-5.40

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa fluks gas metana tertinggi sebesar 31.63 kg/ha terdapat pada fase awal rezim air tergenang dengan kelembaban tanah rata-rata sebesar 0.72 m³/m³. Kelembaban tanah yang menghasilkan gas metana terendah terdapat pada fase awal pertumbuhan rezim air basah dengan kelembaban tanah rata-rata sebesar 0.66 m³/m³. Pada fase berikutnya yaitu fase vegetatif, tengah musim, dan akhir musim, kelembaban tanah yang menghasilkan gas metana terendah terdapat pada rezim air kering dengan kelembaban tanah rata-rata berturut-turut sebesar 0.65 m³/m³, 0.64 m³/m³, dan 0.64 m³/m³. Hubungan kelembaban tanah rezim air dengan emisi gas metana disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Hubungan kelembaban tanah dengan emisi gas metana

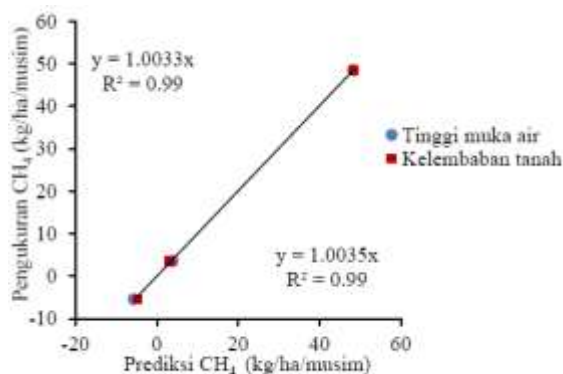
Gambar 5 menunjukkan bahwa kelembaban tanah berkorelasi positif terhadap gas metana yang dihasilkan ($R^2 = 0.085$). Angka koefisien determinasi sebesar 0.085 ($R^2 = 0.085$) menunjukkan

kontribusi variabel kelembaban tanah dalam menjelaskan variabel fluks gas metana sebesar 8.5%, sedangkan sisanya dijelaskan variabel lain diluar variabel yang diuji. Semakin tinggi kelembaban tanah maka semakin tinggi pula gas metana yang dihasilkan. Emisi gas metana tinggi ketika nilai kelembaban tanah berkisar antara 0.65-0.74 m³/m³. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi sawah tergenang dengan kelembaban kondisi tanah jenuh memiliki potensi besar untuk mengemisikan gas metana (Arif *et al.* 2015). Peningkatan kelembaban tanah biasanya diikuti dengan pengurangan oksigen di dalam tanah yang diindikasikan dengan berkurangnya nilai potensial redoks tanah (Eh) (Setyanto *et al.* 2000).

Pengelolaan Air Optimum dengan Model Algoritma Genetika

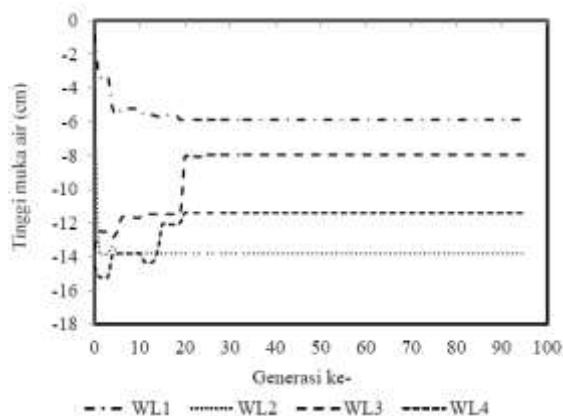
Sebelum melakukan optimasi dengan model algoritma genetika, terlebih dahulu dilakukan prediksi gas metana dengan model JST. Hasil dari JST ini adalah nilai pembobot yang menghubungkan antara parameter *input* dan parameter *output*. Jumlah pembobot yang dihasilkan pada model ini adalah 20 pembobot. Hasil validasi model JST disajikan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa model JST mampu memprediksi gas metana selama satu musim tanam dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0.99 ($R^2 = 0.99$) untuk prediksi gas metana berdasarkan tinggi muka air dan kelembaban tanah. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang mendekati angka satu menunjukkan bahwa model prediksi tersebut akurat dalam memprediksi besarnya fluks gas metana (Arif *et al.* 2015).

Persamaan yang didapat dari grafik adalah $y = 1.0033x$ untuk prediksi gas metana berdasarkan parameter *input* tinggi muka air. Sedangkan persamaan $y = 1.0035x$ untuk prediksi gas metana berdasarkan parameter *input* kelembaban tanah.

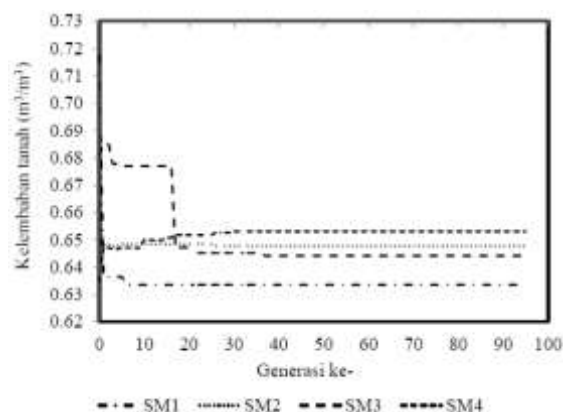


Gambar 6 Hasil validasi model JST

Hasil optimasi tinggi muka air dengan algoritma genetika disajikan pada Gambar 7, sedangkan optimasi kelembaban tanah disajikan pada Gambar 8.



Gambar 7 Hasil optimasi tinggi muka air dengan algoritma genetika



Gambar 8 Hasil optimasi kelembaban tanah dengan algoritma genetika

Berdasarkan Gambar 7 dan 8, terlihat bahwa model algoritma genetika telah mampu mencari nilai tinggi muka air dan kelembaban tanah optimum pada masing-masing fase pertumbuhan

tanaman. Dari Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa pencarian tinggi muka air pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman menunjukkan satu angka yang konvergen. Pada fase vegetatif (WL2) untuk parameter tinggi muka air, nilai tinggi muka air optimum mencapai satu angka konvergen lebih cepat daripada fase awal (WL1), fase tengah musim (WL3), dan fase akhir musim (WL4). Sedangkan untuk parameter kelembaban tanah, nilai kelembaban tanah optimum pada fase awal (SM1) dan fase vegetatif (SM2) mencapai satu angka konvergen lebih cepat daripada fase tengah musim (SM3) dan fase akhir musim (SM4). Hasil optimasi pengelolaan air dengan algoritma genetika selama satu musim tanam disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil optimasi tinggi muka air dan kelembaban tanah dengan algoritma genetika

Fase pertumbuhan	Tinggi muka air (cm)	Kelembaban tanah (m ³ /m ³)
Fase awal	-5.88	0.63
Fase vegetatif	-13.80	0.65
Fase tengah musim	-7.96	0.64
Fase akhir musim	-11.40	0.65
Prediksi total fluks CH ₄ (kg/ha/musim)	-15.07	-9.65

Tabel 3 menunjukkan tinggi muka air dan kelembaban tanah optimum pada masing-masing fase pertumbuhan tanaman dan hasil prediksi total fluks gas metana selama satu musim tanam. Tinggi muka air optimum yang didapatkan model pada empat fase secara berurutan adalah -5.88 cm, -13.80 cm, -7.96 cm, dan -11.40 cm. Kelembaban tanah optimum yang didapatkan model pada empat fase secara berurutan adalah 0.63 m³/m³, 0.65 m³/m³, 0.64 m³/m³, dan 0.65 m³/m³. Berdasarkan skenario optimasi dengan algoritma genetika tersebut, maka didapatkan prediksi total fluks gas metana untuk optimasi tinggi muka air dan kelembaban tanah sebesar -15.07 kg/ha/musim dan -9.65 kg/ha/musim. Nilai tinggi muka air optimum yang didapatkan dari model bernilai negatif disebabkan oleh data *input* pengukuran rata-rata tinggi muka air maksimum dan

minimum yang digunakan sebagai fungsi pembatas dalam model algoritma genetika setiap fase pertumbuhan tanaman sebagian besar bernilai negatif terutama pada fase vegetatif, tengah musim, dan akhir musim. Namun pada fase awal masih memungkinkan nilai optimasi tinggi muka air dari model bernilai positif karena salah satu *input* data untuk fase awal yaitu nilai rata-rata tinggi muka air maksimum bernilai positif.

Tanaman selalu membutuhkan air untuk keberlangsungan pertumbuhannya. Proses metabolisme dalam suatu siklus hidup tanaman berlangsung karena adanya air, mulai dari perkecambahan sampai panen. Penyerapan air oleh akar digunakan untuk kebutuhan pertumbuhan tanaman (Ai *et al.* 2010). Kemampuan partikel tanah untuk menahan air dan kemampuan akar untuk menyerapnya tergantung dari kadar air dalam tanah yang digunakan sebagai penentu besarnya air yang dapat diserap oleh akar tanaman (Jumin 1992). Berdasarkan hasil optimasi kelembaban tanah dari model, kelembaban tanah pada keempat fase tersebut dapat dijaga pada kondisi basah untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Oleh karena itu, kebutuhan penyerapan air oleh akar tanaman, mulai dari perkecambahan sampai panen dapat terpenuhi sehingga tanaman tidak mengalami kekurangan air.

Prediksi total fluks gas metana yang didapatkan dari optimasi tinggi muka air dan kelembaban tanah dari model algoritma genetika menghasilkan nilai negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai prediksi total fluks gas metana optimum diperoleh dari generasi yang memiliki nilai fungsi tujuan paling baik setelah dilakukannya iterasi 100 kali. Hasil optimasi tinggi muka air dengan model dapat menurunkan emisi gas metana pada rezim air tergenang, rezim air basah, dan rezim air kering secara berurutan sebesar 63.54%, 18.66%, dan

9.67%. Hasil optimasi kelembaban tanah dapat menurunkan emisi gas metana pada rezim air tergenang, rezim air basah, dan rezim air kering secara berurutan sebesar 58.12%, 13.24%, dan 4.25%. Validasi hasil optimasi dari model algoritma genetika dilakukan pada penelitian lebih lanjut untuk membuktikan prediksi total fluks gas metana yang dihasilkan selama satu musim tanam.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka simpulan yang dapat diambil adalah dengan pengembangan model algoritma genetika maka tinggi muka air optimum pada keempat fase pertumbuhan secara berurutan adalah -5.88 cm, -13.80 cm, -7.96 cm, dan -11.40 cm dan prediksi emisi total gas metana sebesar -15.07 kg/ha/musim serta diperoleh nilai kelembaban tanah optimum secara berurutan sebesar $0.63 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $0.65 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $0.64 \text{ m}^3/\text{m}^3$, dan $0.65 \text{ m}^3/\text{m}^3$ dengan prediksi emisi total gas metana sebesar -9.65 kg/ha/musim. Model algoritma genetika untuk optimasi tinggi muka air dapat menurunkan emisi gas metana pada ketiga pola irigasi RT, RB, dan RK secara berurutan sebesar 63.54%, 18.66%, dan 9.67% serta untuk optimasi kelembaban tanah sebesar 58.12%, 13.24%, dan 4.25%.

SARAN

Penelitian sebaiknya dilengkapi dengan mengidentifikasi parameter produktivitas lahan. Produksi gas metana dan produktivitas lahan terdapat dalam satu fungsi tujuan dengan meminimalkan produksi gas metana dan memaksimalkan produktivitas lahan. Oleh karena itu, dapat diketahui pengelolaan air yang optimal untuk mitigasi gas metana dari lahan sawah tanpa menurunkan produktivitas lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ai NS, Tondais SM, Butarbutar R. 2010. Evaluasi indikator toleransi cekaman kekeringan pada fase

- perkecambahan padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Biologi*. 14(2):50-54.
- Arif C. 2013. Optimizing water management in system of rice intensification paddy fields by field monitoring technology [disertasi]. Tokyo (JP): The University of Tokyo.
- Arif C, Setiawan BI, Mizoguchi M. 2014. Penentuan kelembaban tanah optimum untuk budidaya padi (system of rice intensification) menggunakan algoritma genetika. *Jurnal Irigasi*. 9(1):29-40.
- Arif C, Setiawan BI, Munarso DT, Nugraha MD, Simarmata PW, Ardiansyah, Mizoguchi M. 2016. Potensi pemanasan global dari padi sawah system of rice intensification (SRI) dengan berbagai ketinggian muka air. *Jurnal Irigasi*. 11(2):81-90.
- Arif C, Setiawan BI, Widodo S, Rudiyanto, Hasanah NAI, Mizoguchi M. 2015. Pengembangan model jaringan syaraf tiruan untuk meduga emisi gas rumah kaca dari lahan sawah dengan berbagai rejim air. *Jurnal Irigasi*. 10(1):1-10.
- Ennouri K, Ayed RB, Triki MA, Ottaviani E, Mazzarello M, Hertelli F, Zouari N. 2017. Multiple linear regression and artificial neural networks for delta-endotoxin and protease yields modelling of *Bacillus thuringiensis*. *3 Biotech*. 7(3):187.
- Hasanah NAI, Setiawan BI, Arif C, Widodo S. 2017. Muka air optimum pada system of rice intensification (SRI). *Jurnal Irigasi*. 12(1):55-64.
- Hashimoto Y. 1997. Applications of artificial neural networks and genetic algorithms to agricultural systems. *Comput Electron Agr*. 18:71-72.
- [IAEA] International Atomic Energy Agency. 1993. *Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emission from Agriculture*. Vienna (AUT): IAEA.
- Janzen H. 2004. Carbon cycling: a measure of ecosystem – a soil science perspective. *Agricultural Ecosystem Environment*. 104:399-417.
- Jumin HB. 1992. *Ekologi Tanaman Suatu Pendekatan Fisiologi*. Jakarta (ID): Rajawali Press.
- Lintangrino MC, Boedisantoso R. 2016. Inventarisasi emisi gas rumah kaca pada sektor pertanian dan peternakan di kota Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2):53-57.
- Mosier AR. 2001. Exchange of gaseous nitrogen compound between agricultural system and the atmosphere. *Plant Soil*. 228:17-27.
- Olori VE, Brotherstone S, Hill WG, McGuirk BJ. 1999. Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. *Livestock Production Science*. 58(1):55-63.
- Paludi S. 2009. Identifikasi dan pengaruh keberadaan data pencilan (outlier) (studi kasus jumlah kunjungan wisman dan pengunjung asing ke Indonesia melalui pintu masuk Makasar antara bulan januari 2007 s.d. juli 2008). *Panorama Nusantara*. 6:56-62.
- Paustian K, Babcock B, Kling C, Hatfield J, Lal R, McCarl B, Maclaughin S, Post WM, Mosier A, Rice C, Robertson GP, Rosenberg NJ, Rosenzweig C, Schlesinger WH, Zilberman D. 2004. Agricultural mitigation of greenhouses gases: science and policy options. *CAST Report*. 141:3-18.
- Rufako U. 2015. Produktivitas lahan dan air pada padi sawah dengan berbagai sistem irigasi [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Setyanto P, Makarim AK, Fagi AM, Wassman R, Buendia LV. 2000. Crop management affecting methane emissions from irrigated and rainfed rice in Central Java (Indonesia). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58:85-93.
- Simarmata PW. 2016. Penentuan air irigasi optimal untuk mitigasi emisi

- gas rumah kaca dari padi sawah [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Smith KA, Conen F. 2004. Impact of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use Manag.* 20:255-263.
- Snyder CS, Bruulsema TW, Jensen TL. 2007. Best management practices to minimize greenhouse gas emissions associated with fertilizer use. *Better Crops.* 91(4):16-18.
- Sujono J. 2011. Koefisien tanaman padi sawah pada sistem irigasi hemat air. *AGRITECH.* 31(4):344-351.
- Tyagi L, Kumari B, Singh SN. 2010. Water management – A tool for methane mitigation from irrigated paddy fields. *Sci Total Environ.* 408:1085-1090.
- Whalen SC, Reeburgh WS. 1990. Consumption of atmospheric methane by tundra soils. *Nature.* 346:160-162.
- Wihardjaka A. 2015. Mitgasi emisi gas metana melalui pengelolaan lahan sawah. *Jurnal Litbang Pertanian.* 34(3):95-104.

