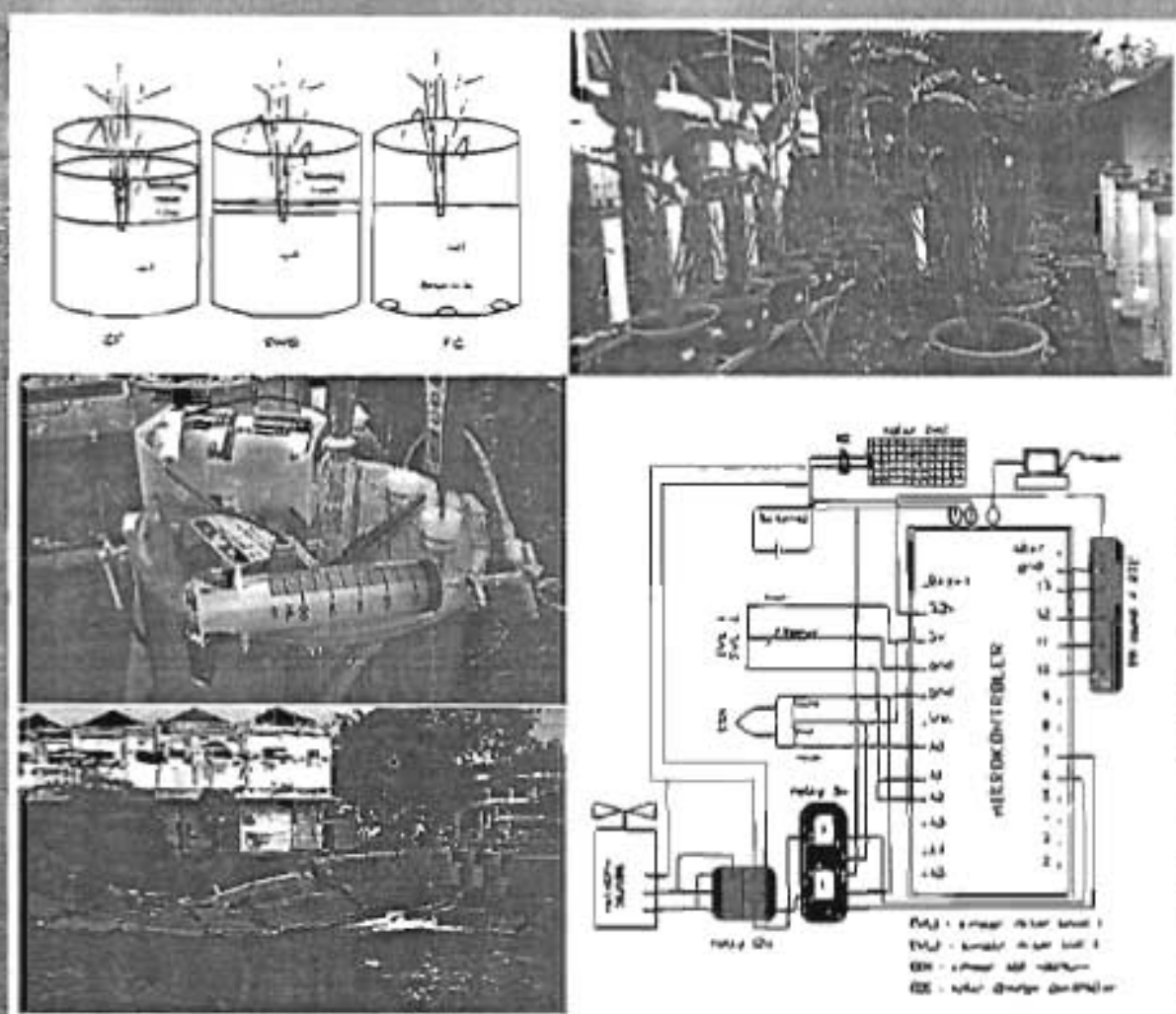


JURNAL IRIGASI



ISSN : 1907-5545

Terakreditasi – Sertifikat Kepala P2MI-LIPI

No. 618/AU2/P2MI-LIPI/03/2015

JURNAL IRIGASI

Vol. 10 No. 1, Mei 2015

Jurnal Irigasi merupakan publikasi ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian, pengembangan, kajian atau gagasan dalam bidang ke-irigasi-an. Terbit pertama kali tahun 1986 dengan nama Jurnal Informasi Teknik dan pada tahun 2006 berganti nama menjadi Jurnal Irigasi yang diterbitkan 2 (dua) kali setahun yaitu pada bulan Juni dan November, kemudian pada tahun 2011 Jurnal Irigasi mempercepat penebitan dalam setiap tahunnya menjadi bulan Mei dan Oktober. Jurnal Irigasi terbuka untuk umum, peneliti, akademisi, praktisi dan pemerhati masalah irigasi.

Pembina

Dr. Ir. Suprpto, M.Eng

Penanggung Jawab

Drs. Irfan Sudono, MT

Penelaah Ahli/Mitra Bestari

Prof. Dr. Ir. Sigit Supadmo Arif, M.Eng (Bidang Irigasi, Universitas Gajah Mada)

Prof. Dr. Ir. Indratmo, M.Sc (Bidang Irigasi, Institut Teknologi Bandung)

Prof. Dr. Ir. Asep Sapei, MS (Bidang Irigasi, Institut Pertanian Bogor)

Prof. Dr. Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr. (Bidang Pertanian, Institut Pertanian Bogor)

Prof. Radianta Triatmadja, Ph.D (Bidang Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada)

Prof. Ir. Lilik Soetiarso, M.Eng, Ph.D (Bidang Teknik Pertanian, Universitas Gajah Mada)

Ir. Dedi Kusnadi Kalsim, Dipl.HE, M.Eng. (Bidang Teknik Pertanian)

Dr. Ir. Lily Montarchi L., M.Sc (Bidang Irigasi, Universitas Brawijaya)

Dr. Ir. Yanuar J. Purwanto, MS (Bidang Irigasi, Institut Pertanian Bogor)

Dr. Ir. Drs. Syamsuddin Mansyur, Dipl. HE (Bidang Irigasi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat)

Dr. Ir. Yadi Suryadi, MT (Bidang Irigasi, Institut Teknologi Bandung)

Ir. Rizal Siregar, M.Sc (Bidang irigasi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat)

Drs. Waluyo Hatmoko, M.Sc (Bidang Teknik Konservasi & Tata Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat)

Ir. Sukrasno, Dipl. HE (Bidang Irigasi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat)

Lasino, ST (APU) (Bidang Teknologi Bahan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat)

Redaktur

Marasi Deon Joubert, ST, MPSDA (Bidang Irigasi)

Dewan Penyunting

Joko Triyono, STP, M.Eng (Bidang Irigasi)

Dadang Ridwan, ST, MPSDA (Bidang Irigasi)

Aditya Prihantoko, ST, MT (Bidang Irigasi)

Hanhan A. Sofiyuddin, STP, M. Agr (Bidang Irigasi)

Sekretariat Redaksi

Midiah Sulastry Abubakar, ST

Dewi Arlianty Agustina, SP

Dadan Rahmandani, ST

N. Dedah Jubaedah

Jurnal Irigasi diterbitkan oleh Balai Irigasi, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Alamat Redaksi/Penerbit :

Balai Irigasi, Puslitbang SDA, Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jl. Cut Meutia, Kotak Pos 147 Bekasi 17113

Telp. : 021-8801365, 8801345, Fax. : 021-8801345, Email : jurnalirigasi@yahoo.co.id

JURNAL IRIGASI

Vol.10 No.1, Mei 2015

	Halaman
DAFTAR ISI	i
EDITORIAL	ii
PENGEMBANGAN MODEL JARINGAN SARAF TIRUAN UNTUK MENDUGA EMISI GAS RUMAH KACA DARI LAHAN SAWAH DENGAN BERBAGAI REJIM AIR (<i>DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO PREDICT GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RICE FIELDS WITH DIFFERENT WATER REGIMES</i>)	1 - 10
Oleh : Chusnul Arif, Budi Indra Setiawan, Slamet Widodo, Rudiyanto, Nur Aini Iswati Hasanah, Masaru Mizoguchi	
ANALISIS KEBERTERIMAAN PENGGUNA TERHADAP APLIKASI SISTEM MANAJEMEN OPERASI IRIGASI MENGGUNAKAN TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL (Studi Kasus Daerah Irigasi Boro, Purworejo)(<i>USER ACCEPTANCE ANALYSIS ON IRRIGATION OPERATION MANAGEMENT SYSTEM USING TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL (Case Study Boro Irrigation Area, Purworejo)</i>)	11 - 20
Oleh : Marasi Deon Joubert, Aditya Prihantoko	
RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI IRIGASI PIPA LAHAN SAWAH BERBASIS TENAGA SURYA (<i>DESIGN OF AUTOMATIC PIPE IRRIGATION SYSTEM IN PADDY FIELD BASED SOLAR POWER</i>)	21 - 32
Oleh : Sudirman Sirait, Satyanto K. Saptomo, M. Yanuar J. Purwanto	
SEBELAS SYARAT PENENTUAN LOKASI BENDUNG IRIGASI (<i>ELEVEN CONSIDERATIONS TO DETERMINE IRRIGATION WEIR SITE</i>)	33 - 40
Oleh : Soekrasno	
SHALLOW WATER DEPTH MANAGEMENT TO ENHANCE RICE PERFORMANCES UNDER SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION (SRI) FRAMEWORK (<i>PENGELOLAAN GENANGAN AIR DANGKAL UNTUK MENINGKATKAN HASIL PADI DENGAN KERANGKA KERJA SYSTEM OF RICE INTENSIFICATION (SRI)</i>)	41 - 48
Oleh: Rizki Maftukhah, Erni R, Benito H P, Sri R, Sigit S A	
PENGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI KOMPONEN PINTU AIR ALTERNATIF (<i>THE USE OF COMPOSITES MATERIAL AS AN ALTERNATIVE WATER GATE COMPONENT</i>)	49 - 56
Oleh: Aditya Prihantoko , Marasi Deon Joubert, Dadan Rahmandani	

EDITORIAL

Jurnal Irigasi merupakan publikasi ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian, pengembangan, kajian atau gagasan dalam bidang ke-irigasi-an. Terbit pertama kali tahun 1986 dengan nama Jurnal Informasi Teknik dan tahun 2006 berganti nama menjadi Jurnal Irigasi yang diterbitkan 2 (dua) kali setahun yaitu pada bulan Mei dan Oktober. Jurnal Irigasi terbuka untuk umum, peneliti, akademisi, praktisi dan pemerhati masalah irigasi.

Pemanasan global merupakan isu yang hingga saat ini masih marak dibicarakan dan diteliti. Salah satu sumber pemanasan global dari sektor pertanian adalah peningkatan aktifitas mikroorganisme tanah yang sangat mempengaruhi emisi gas rumah kaca (GRK) ke atmosfer. Tiga jenis GRK utama dari pertanian yaitu karbondioksida (CO_2), metan (CH_4) and nitrous oksida (N_2O). Makalah pertama menyajikan model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk memprediksi gas metan (CH_4) dan Nitrous Oxide (N_2O) yang diemisikan dari padi sawah dengan perlakuan berbagai pemberian air berdasarkan data parameter lingkungan biofisik di dalam tanah yang mudah diukur seperti kelembaban tanah, suhu tanah dan daya hantar listrik (DHL) tanah.

Umur bangunan irigasi serta kurang optimalnya pelaksanaan operasi dan pemeliharaan irigasi merupakan beberapa faktor yang menyebabkan menurunnya kinerja jaringan irigasi. Untuk memudahkan manajemen operasi irigasi, Balai Irigasi telah membangun Sistem Manajemen Operasi Irigasi (SMOI) yang berbasis *website*. Untuk mengetahui tingkat keberterimaan pengguna terhadap SMOI, dilakukan pengukuran menggunakan metode *Technology Acceptance Model* (TAM). TAM berfokus pada sikap terhadap pemakaian teknologi informasi, dimana pemakai mengembangkan berdasarkan persepsi manfaat dan kemudahan dalam penggunaan teknologi informasi.

Peningkatan produktivitas dan efisiensi penggunaan air irigasi dapat diupayakan dengan desain sistem irigasi dengan memanfaatkan teknologi otomatisasi. Artikel ketiga membahas pengembangan rancangan irigasi dengan sistem kontrol otomatis yang dapat menjaga permukaan air di lahan sawah sesuai kebutuhan tanaman. Sistem kontrol otomatis dibangun dengan memanfaatkan teknologi digital, mikrokontroler dan jaringan sensor. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai sistem kendali otomatis untuk menggerakkan sistem aktuasi kran air listrik Valworx 561086 berdasarkan kelembaban tanah dan tinggi muka air di lahan sawah yang dideteksi oleh sensor.

Keruntuhan bendung merupakan salah satu dampak dari kurang akuratnya survei dan investigasi, perencanaan, pelaksanaan konstruksi yang tidak tepat, operasi dan pemeliharaan yang kurang baik, juga kesalahan pemilihan lokasi bendung. Kesalahan pemilihan lokasi bendung dapat diminimalkan dengan mempertimbangkan sebelas syarat teknis, sosial, ekonomis dan lingkungan yang harus dipenuhi, serta akibat yang akan terjadi bila syarat tersebut tidak dipenuhi.

Peningkatan efisiensi pada budidaya padi merupakan salah satu upaya menghadapi isu kelangkaan air dan harga pupuk yang meningkat. *System of Rice Intensification* (SRI) merupakan salah satu metode intensifikasi tanaman padi dengan pemberian genangan dangkal (macak-macak) dan pupuk organik. Perubahan kondisi aerob-anaerob akibat alternasi penggenangan dangkal dapat meningkatkan nilai Eh tanah yang membantu pertumbuhan tanaman. Sementara itu, penggunaan pupuk organik terkadang membutuhkan waktu sebelum dapat memberikan pengaruh nyata dalam peningkatan produksi.

Artikel terakhir membahas mengenai alternatif bahan yang dapat digunakan untuk pintu air. Saat ini, material pintu air kebanyakan berupa baja dan kayu yang rentan terhadap kerusakan dan pencurian. Material alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah material komposit. Pada penelitian ini digunakan tiga tipe komposit, Tipe 1 terbuat dari komposisi material fiber dengan campuran Polymer (*Matrix*), Tipe 2 menggunakan panel *Honeycomb* dengan 1 lapisan *matrix* dan Tipe 3 menggunakan panel *Honeycomb* dengan 1 lapis *matrix* dan *gelcoat*. Penggunaan material komposit sebagai alternatif pintu air pengganti baja dan kayu cukup memberikan peluang dalam penerapannya.

Redaksi

**PENGEMBANGAN MODEL JARINGAN SARAF TIRUAN
UNTUK MENDUGA EMISI GAS RUMAH KACA DARI LAHAN SAWAH
DENGAN BERBAGAI REJIM AIR**

**DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK
TO PREDICT GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RICE FIELDS
WITH DIFFERENT WATER REGIMES**

Oleh:

**Chusnul Arif¹⁾, Budi Indra Setiawan¹⁾, Slamet Widodo²⁾, Rudiyanto¹⁾,
Nur Aini Iswati Hasanah¹⁾, Masaru Mizoguchi³⁾**

¹⁾Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

²⁾Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³⁾Department of Global Agricultural Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku,
Tokyo 113-8657, Jepang

Komunikasi Penulis, email: chusnul_ar@yahoo.com, budindra@ipb.ac.id, lupusae@yahoo.com,
nurainiiswatihasanah@gmail.com, slamet.ae39@gmail.com, amizo@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

Naskah ini diterima pada 7 Januari 2015; revisi pada 23 Maret 2015;

Disetujui untuk dipublikasikan pada 15 April 2015

ABSTRACT

The paper proposes the artificial neural networks (ANN) model to predict methane (CH₄) and Nitrous Oxide (N₂O) emissions under different irrigation system based on easily measurable environmental biophysics parameters such as soil moisture, soil temperature and soil electrical conductivity. To verify the model, two experiments were conducted in the pot experiments in two different locations. The first location was in the greenhouse of Meiji University, Kanagawa Prefecture, Japan from 4 June to 21 September 2012, and the second location was in water resources engineering laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering-IPB from 2 July to 10 October 2014. In each location, there were three different irrigation systems adopted with the System of Rice Intensification (SRI) principles. We called the experiment as SRI Basah (SRI B1 and SRI B2 for the first and second locations, respectively), SRI Sedang (SRI S1 dan SRI S2) dan SRI Kering (SRI K1 dan SRI K2). Each treatment has different water level during growth stages. As the results, the developed ANN model can predict CH₄ and N₂O emissions accurately with determination coefficients of 0.93 and 0.70 for CH₄ and N₂O prediction, respectively. From the model, characteristics of those greenhouse gas emissions can be well identified. For the mitigation strategy, SRI B1 and SRI B2 treatments in which the water level was kept at nearly soil surface are the best strategy with highest yield production and lowest GHG emission.

Keywords: Artificial neural networks, environmental biophysics, irrigation system, greenhouse gas emissions, paddy fields

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk memprediksi gas metan (CH₄) dan Nitrous Oxide (N₂O) yang diemisikan dari padi sawah dengan perlakuan berbagai pemberian air berdasarkan data parameter lingkungan biosifik di dalam tanah yang mudah diukur seperti kelembaban tanah, suhu tanah dan daya hantar listrik (DHL) tanah hanya dengan satu jenis sensor. Untuk melakukan validasi model, percobaan budidaya padi sawah di pot dilakukan di dua tempat berbeda, yaitu di rumah kaca, Meiji University, Kanagawa Jepang dari 4 Juni sampai 21 September 2012 dan di laboratorium Teknik Sumberdaya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan-IPB dari 2 Juli sampai 10 Oktober 2014. Di setiap lokasi, terdapat tiga percobaan pemberian air dengan mengadopsi metode budidaya *System of Rice Intensification* (SRI). Perlakuan tersebut diberi nama SRI Basah (disingkat SRI B1 dan SRI B2 untuk lokasi pertama dan kedua), SRI Sedang (SRI S1 dan SRI S2) dan SRI Kering (SRI K1 dan SRI K2). Perbedaan percobaan antar perlakuan adalah pengaturan tinggi muka disetiap umur tanaman. Dari model JST yang dikembangkan didapatkan hasil validasi dengan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0.93 dan 0.70 untuk prediksi emisi gas CH₄ dan N₂O yang mengindikasikan bahwa model dapat diterima. Dari model tersebut, karakteristik emisi gas CH₄ dan N₂O terhadap perubahan parameter lingkungan biosifik dapat dijelaskan dengan baik. Untuk strategi mitigasi dari percobaan pemberian air yang dilakukan, pemberian air pada perlakuan SRI B1 dan B2 dengan menjaga jeluk muka air disekitar permukaan tanah merupakan strategi yang terbaik dengan indikator produksi tertinggi dan emisi gas rumah kaca (GRK) terendah.

Kata kunci: Jaringan syaraf tiruan, lingkungan biosifik, sistem irigasi, emisi gas rumah kaca, padi sawah

I. PENDAHULUAN

Perlakuan pemberian air yang beragam pada lahan sawah telah mempengaruhi perubahan dinamis parameter biofisik tanah seperti kelembaban tanah dan suhu tanah yang akan berimbas pada peningkatan/penurunan aktifitas mikroorganisme tanah. Aktifitas mikroorganisme ini sangat mempengaruhi emisi gas rumah kaca (GRK) yang dilepaskan ke atmosfer. Terdapat tiga jenis GRK yang utama dari pertanian yaitu karbondioksida (CO_2), metan (CH_4) and nitrous oksida (N_2O), yang berkontribusi pada terjadinya pemanasan global ketika terjadi peningkatan konsentrasi di atmosfer (Bouman, 1990; Neue et al., 1990). Diantara GRK tersebut, CH_4 dan N_2O , memiliki potensi pemanasan global sebesar 23 dan 296 kali lebih besar dari CO_2 (Snyder et al., 2007).

Banyak sekali hasil penelitian yang telah dilakukan selama kurang lebih 20 tahun untuk menganalisis emisi gas CH_4 and N_2O dengan berbagai pemberian air seperti dengan sistem genangan pada sistem tanam konvensional maupun irigasi berselang dengan metode tanam *System of Rice Intensification* (SRI) (Setiawan et al., 2014; Setiawan et al., 2013; Dong et al., 2011; Li et al., 2011; Tyagi et al., 2010; Akiyama et al., 2005; Minamikawa and Sakai, 2005; Towprayoon et al., 2005; Zou et al., 2005; Keiser et al., 2002; Cai et al., 1997; Husin et al., 1995; Nugroho et al., 1994). Hasilnya menunjukkan dengan jelas bahwa emisi gas CH_4 meningkat ketika kondisi anaerob terjadi didalam tanah. Sebaliknya, emisi gas N_2O meningkat ketika tanah semakin kering ketika kondisi aerobik terbentuk. Rajkishore, et al (2013) dan Dill, et al (2013) menyebutkan bahwa metode tanam SRI dengan irigasi berselang dapat menurunkan emisi gas CH_4 sebesar 32%, tetapi meningkatkan emisi gas N_2O sebesar 1,5%.

Makalah ini menyajikan alternatif metode untuk memprediksi emisi GRK berdasarkan kondisi lingkungan biofisik didalam tanah yang mudah diukur dengan sensor tertentu. Emisi GRK sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan biofisik didalam tanah seperti kelembaban tanah (Husin et al., 1995; Setyanto et al., 2004; Setiawan et al. 2013), suhu tanah [Miyata et al., 2000; Purkait et al., 2007; Setiawan et al. 2013] dan daya hantar listrik (DHL) tanah. Untuk parameter terakhir (DHL tanah) sangat dipengaruhi oleh perubahan kelembaban tanah (Arif, 2013) dan pemberian pupuk (Nishimura et al., 2004), sehingga dapat dijadikan parameter yang mempengaruhi emisi GRK. Akan tetapi hubungan antara emisi GRK dan parameter biofisik tersebut sangat kompleks dan

sulit dimodelkan dalam bentuk persamaan matematika.

Model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) lebih cocok digunakan untuk memodelkan sistem yang kompleks seperti pada bidang pertanian daripada model matematika (Hashimoto, 1997). Model JST memiliki kemampuan untuk mengenali dan mempelajari hubungan *input* dan *output* dari sistem tanpa memperhatikan kondisi fisiknya secara eksplisit (Basheer dan Harmeer, 2000). Pada bidang pertanian khususnya bidang irigasi, model JST telah digunakan untuk rencana strategi dan klasifikasi irigasi (Raju et al. 2006) dan memprediksi tingkat pembasahan dari sub-permukaan untuk irigasi tetes (Hinnell et al. 2009).

Setiawan et al. (2013) telah mengembangkan model JST untuk memprediksi gas CH_4 dan N_2O berdasarkan parameter lingkungan biofisik yang terdiri atas kelembaban tanah, suhu tanah dan pH tanah. Hasilnya menunjukkan bahwa model JST dapat memprediksi emisi gas CH_4 dan N_2O dengan nilai koefisien determinasi (R^2) berturut-turut sebesar 0,72 dan 0,69. Hal ini menunjukkan model JST dapat digunakan untuk memprediksi gas metan dan nitrous oksida dengan baik. Akan tetapi, untuk parameter pH tanah tidak mudah diukur secara kontinyu karena sensor yang digunakan berbeda dan terpisah dengan sensor kelembaban tanah dan suhu tanah. Oleh sebab itu, makalah ini menyajikan model JST untuk memprediksi GRK berdasarkan parameter lingkungan biofisik di dalam tanah yang mudah diukur yaitu kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah. Ketiga parameter lingkungan biofisik tersebut diukur menggunakan satu jenis sensor secara kontinyu.

Adapun tujuan dari makalah ini adalah 1) mengembangkan model JST untuk memprediksi emisi gas CH_4 dan N_2O berdasarkan parameter lingkungan biofisik yang terdiri dari kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah, 2) menganalisis karakteristik perubahan emisi gas CH_4 dan N_2O terhadap perubahan dinamis parameter lingkungan biofisiknya dengan berbagai perlakuan pemberian air.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Padi sawah dengan irigasi tergenang merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca khususnya CH_4 (Setyanto et al. 2000; Cicerone et al. 1992). Meskipun studi awal menunjukkan bahwa emisi gas N_2O dari padi sawah dapat diabaikan (Smith et al. 1982), tetapi studi pada tahun 1990-an menunjukkan bahwa padi sawah juga merupakan

sumber penting emisi gas rumah kaca termasuk N_2O (Cai et al. 1997). Gas metan diproduksi oleh aktivitas mikroorganisme yang disebut methanogens dalam proses dekomposisi material organik dimana aktivitasnya meningkat dalam kondisi anaerobik ketika oksigen dan sulfat terbatas jumlahnya seperti kondisi tergenang (Bouwman 1990; Cicerone dan Oremland, 1988). Sedangkan gas N_2O terbentuk oleh proses mikrobiologi yang disebut nitrifikasi dan denitrifikasi dalam tanah dan mencapai puncak ketika genangan air hilang/kondisi kering (Mosier et al. 1996).

Hubungan terbalik didapatkan antara kondisi terbentuknya gas CH_4 dan N_2O sebagaimana ditunjukkan oleh Cai et al. (1997). Gas N_2O yang dilepaskan ke sawah kecil ketika di sawah terjadi genangan, sebaliknya gas N_2O mencapai puncak ketika tidak ada genangan disawah atau dalam kondisi kering. Selain itu, gas N_2O meningkat tajam ketika pupuk N diberikan pada sawah (Snyder et al. 2007; Akiyama et al. 2005). Sebaliknya untuk gas CH_4 mencapai puncak ketika kondisi anaerobik terbentuk dimana genangan terjadi di lahan, dan fluks gas ini menurun ketika drainase dilakukan (Setyanto et al. 2000). Oleh karena pengaturan irigasi dan drainase menjadi kunci penting untuk meminimalkan gas rumah kaca dari lahan sawah (Tyagi et al. 2010). Akan tetapi, pengukuran gas tersebut tidak mudah dan membutuhkan biaya yang cukup mahal. Oleh sebab itu, makalah ini menyajikan alternatif metode untuk memprediksi emisi dari gas-gas tersebut berdasarkan kondisi lingkungan biofisiknya.

III. METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian dan Desain Percobaan

Penelitian ini dilakukan di dua tempat yang berbeda, yaitu di rumah kaca, Meiji University, Kanagawa Jepang dari 4 Juni sampai dengan 21 September 2012, dan di laboratorium Teknik Sumberdaya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan-IPB dari 2 Juli sampai 10 Oktober 2014. Di dua tempat tersebut, budidaya padi sawah dilakukan pada skala percobaan menggunakan pot untuk mempermudah pengaturan airnya dengan prinsip budidaya *System of Rice Intensification* (SRI) dengan menggunakan benih muda dan tanam tunggal. Pada percobaan pertama, digunakan padi dengan varietas Japonica (Koshihikari), sedangkan lokasi kedua adalah varietas Ciherang. Ketinggian pot yang digunakan adalah 30 cm.

Terdapat tiga perlakuan pemberian air yang dilakukan pada masing-masing lokasi untuk

menjaga tinggi muka air yang diinginkan setelah tanaman berumur 20 hari setelah tanam (HST). Ketiga perlakuan tersebut dinamakan SRI Basah, SRI Sedang dan SRI Kering. Untuk lokasi pertama, SRI Basah (disebut SRI B1) diperoleh dengan menjaga jeluk muka air dipermukaan tanah, untuk SRI Sedang dan Kering (masing-masing disebut SRI S1 dan SRI K1), jeluk muka air dijaga pada ketinggian berturut-turut 5 cm dan 10 cm di bawah permukaan tanah dengan menggunakan tabung mariot. Apabila curah hujan mengakibatkan tinggi muka air melebihi ketinggian yang diinginkan, maka air hujan tersebut langsung dibuang. Sedangkan untuk percobaan di lokasi kedua, SRI Basah (disebut SRI B2) juga diperoleh dengan menjaga jeluk muka air di permukaan tanah. Untuk SRI Sedang (disebut SRI S2) diperoleh dengan menjaga jeluk muka air 3 cm di bawah permukaan tanah. Sedangkan untuk SRI Kering (disebut SRI K2) diperoleh juga dengan menjaga jeluk muka air 10 cm di bawah permukaan tanah sama seperti SRI K1 (Gambar 1).

3.2. Pengukuran Emisi GRK dan Parameter Lingkungan lainnya

Emisi GRK diukur dengan menggunakan boks tertutup yang dipasang di masing-masing pot. Adapun parameter GRK yang diukur adalah gas CH_4 dan N_2O . Boks tertutup yang digunakan untuk melakukan gas sampling memiliki diameter 30 cm dengan tinggi 100 cm. Sampel gas hasil pengukuran kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis menggunakan Gas Chromatography (GC). Pada waktu pengambilan sampel gas, boks diletakkan pada pot yang telah ditanami padi. Pengambilan sampel gas dilakukan pada pukul 12.00 siang waktu setempat ketika suhu udara mencapai puncak hariannya. Sampel gas diambil empat kali setiap 10 menit mulai dari menit ke-0 sampai menit ke-30. Emisi yang terjadi ditentukan berdasarkan laju perubahan (fluks) dari konsentrasi tersebut ($mg/m^2/hari$). Apabila laju perubahannya bernilai positif maka terjadi emisi GRK, sebaliknya apabila laju perubahannya bernilai negatif maka terjadi penyerapan GRK.

Pada waktu pengambilan sampel gas, boks diletakkan pada pot yang telah ditanami padi (Gambar 2). Pengambilan sampel gas dilakukan pada pukul 12.00 siang waktu setempat ketika suhu udara mencapai puncak hariannya. Sampel gas diambil empat kali setiap 10 menit mulai dari menit ke-0 sampai menit ke-30. Pada masing-masing waktu pengukuran tersebut didapatkan konsentrasi gas (g/cm^3). Emisi yang terjadi ditentukan berdasarkan laju perubahan (fluks) dari konsentrasi tersebut ($mg/m^2/hari$). Apabila laju perubahannya bernilai positif maka terjadi

emisi GRK, sebaliknya apabila laju perubahannya bernilai negatif maka terjadi penyerapan GRK. Total emisi GRK per parameter selama periode tanam dihitung dengan mengintegrasikan nilai emisi GRK menggunakan metode numerik Simpson dengan Persamaan 1.

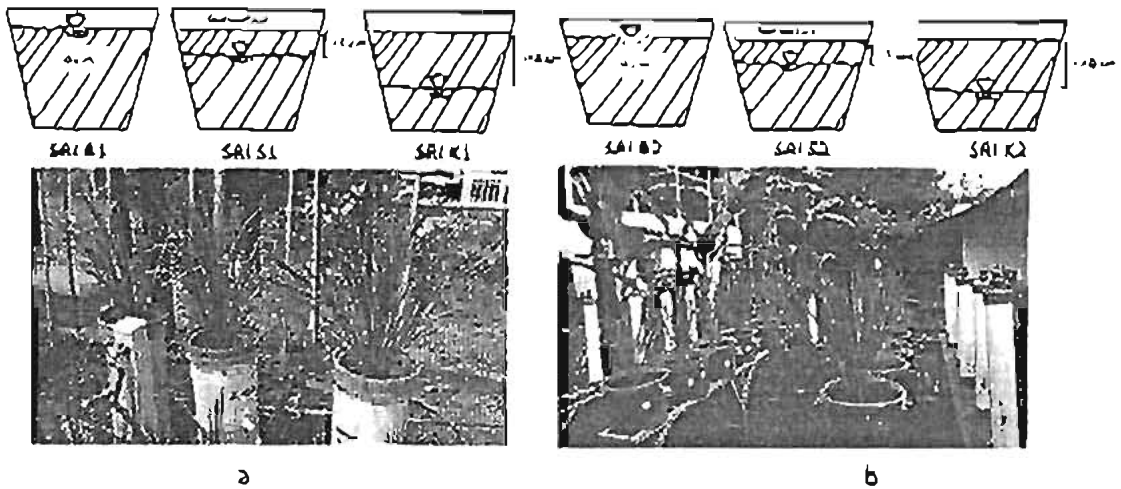
$$\int_0^b f(x) dx \approx \frac{b \cdot n}{6} \left[f(0) + 4 \sum_{i=1}^{n-1} f\left(\frac{x_i}{2}\right) + f(b) \right] \dots \dots \dots (1)$$

dimana $f(x)$ adalah total emisi GRK per parameter ($\text{mg}/\text{m}^3/\text{musim}$), a adalah hari awal pengukuran emisi GRK dan b adalah hari akhir pengukuran emisi GRK (hari setelah tanam/HST)

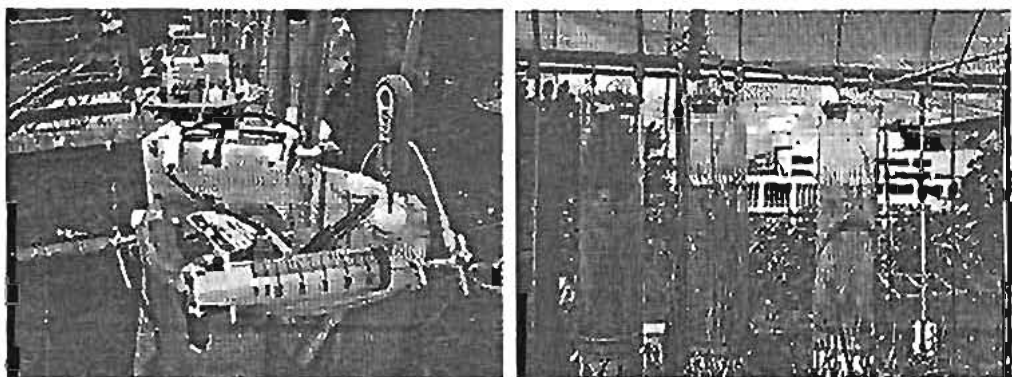
Untuk pengukuran parameter lingkungan biofisik di tanah, sensor S-TE yang dapat mengukur kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah sekaligus dipasang pada kedalaman 5 cm di bawah permukaan tanah dengan interval 30 menit secara kontinyu.

3.3. Pengembangan Model Emisi GRK

Model JST yang dikembangkan terdiri dari 3 layer, yaitu layer masukan (*input layer*), tersembunyi (*hidden layer*) dan keluaran (*output layer*). Untuk layer masukan terdiri dari 3 node untuk parameter lingkungan biofisik yang terdiri dari kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah, selangkan gas CH_4 dan N_2O dijadikan keluaran dari masing-masing model tersebut. Masing-masing layer tersebut terhubung dengan nilai pembobot (*weights*) yang merupakan penghubung antara layer masukan dan keluaran. Pembobot inilah yang dicari dari model JST dalam memprediksi emisi GRK yang terjadi. Untuk mendapatkan pembobot tersebut digunakan pembelajaran model algoritma *Back Propagation*. Algoritma ini terdiri dari dua fase, yaitu perhitungan maju dan mundur (*forward and backward propagation*) dan update pembobot.



Gambar 1 Desain Percobaan pada Masing-masing Lokasi: a) Rumah Kaca, Melji University, b) Teknik Sumberdaya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan-IPB



Gambar 2 Peralatan Pengukuran Konsentrasi GRK pada Percobaan di Pot

Untuk fungsi aktivasi digunakan fungsi sigmoid sebagai berikut:

$$f(y) = \frac{1}{1 + e^{-gy}} \dots\dots\dots (2)$$

$$y = \sum_{i=0}^n x_i w_i \dots\dots\dots (3)$$

dimana x_i , w_i , n , g berturut-turut adalah data masukan, pembobot, jumlah noda masukan, dan konstanta aktivasi.

Model JST tersebut dikembangkan dalam MS. Excel 2007 dengan fasilitas Visual Basic Application (VBA). Kinerja dari model JST diukur dengan membandingkan nilai emisi gas metan hasil pengukuran dan prediksi dengan melihat nilai koefisien determinasi (R^2) yang bernilai antara 0-1. Apabila nilai R^2 semakin besar dan mendekati 1 maka model JST yang dikembangkan dapat digunakan untuk memprediksi emisi GRK dari padi sawah.

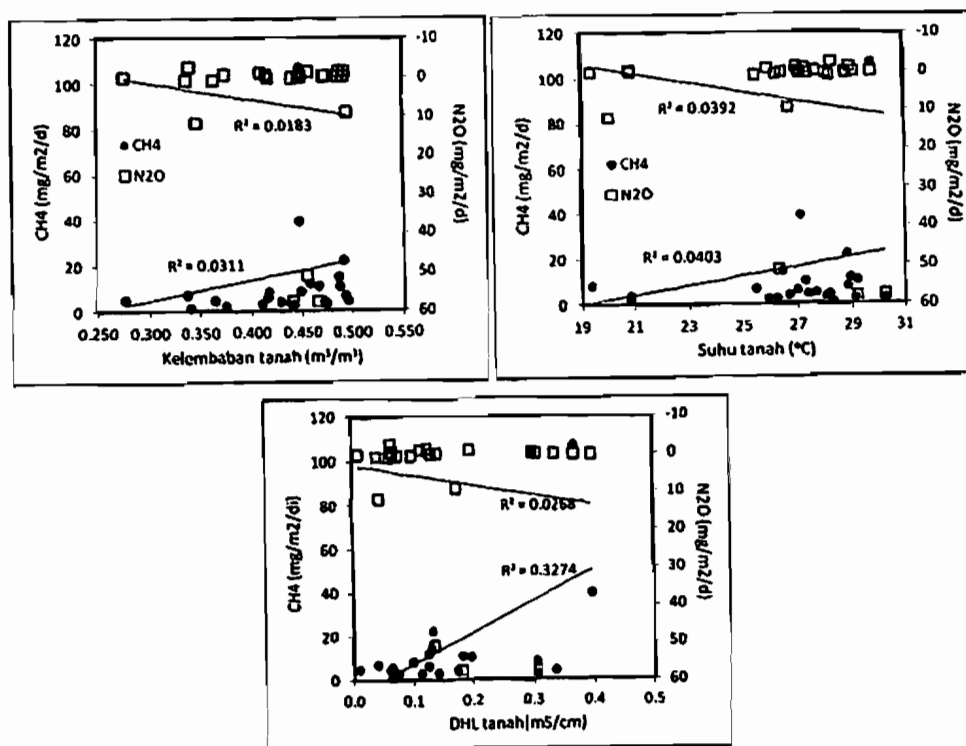
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hubungan emisi GRK dengan parameter lingkungan biofisik

Gambar 3 menunjukkan hubungan linear antara emisi gas CH_4 dan N_2O dengan parameter lingkungan biofisik tanah yang meliputi kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah dari seluruh perlakuan pemberian air.

Dari Gambar 2 tersebut menunjukkan bahwa nilai R^2 yang cukup kecil ($< 0,33$) mengindikasikan hubungan emisi gas CH_4 dan N_2O dengan parameter lingkungan biofisik tanah tidak linear. Emisi gas CH_4 cukup tinggi ketika kelembaban tanah berkisar antara 0,45-0,50 m^3/m^3 . Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar air tanah, maka emisi gas CH_4 akan meningkat. Oleh sebab itu, kondisi sawah tergenang dengan kelembaban tanah pada kondisi jenuh memiliki potensi besar untuk mengemisikan gas CH_4 . Untuk suhu tanah, emisi gas CH_4 cukup tinggi ketika suhu tanah berkisar antara 25-30°C. Suhu tanah memegang peranan penting dalam aktifitas mikroorganisme tanah. Sebagian besar bakteri metanogenik (bakteri penghasil gas CH_4) merupakan bakteri mesofilik yang berkerja optimum pada suhu minimum 30°C [Vogels et al. 1988]. Sedangkan DHL tanah, nilai maksimum emisi gas CH_4 terjadi ketika nilai DHL tanah berkisar antara 0,3-0,4 mS/cm .

Sementara untuk emisi gas N_2O , peningkatan kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah juga menyebabkan peningkatan emisi gas tersebut meskipun dengan slope yang lebih kecil ($R^2 < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara N_2O dengan parameter lingkungan biofisik belum terlihat jelas dan N_2O kurang responsif terhadap perubahan parameter lingkungan biofisik di dalam tanah.



Gambar 3 Hubungan Antara Emisi GRK dengan Parameter Lingkungan Biofisik di Dalam Tanah

4.2. Prediksi Emisi GRK dengan Model JST

Model JST mampu mempelajari hubungan antara perubahan kondisi kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah dengan emisi GRK yang dihasilkan dari padi sawah dengan baik yang diindikasikan dengan nilai R^2 sebesar 0,93 dan 0,70 untuk prediksi emisi gas CH_4 dan N_2O . Prediksi emisi gas CH_4 lebih akurat daripada prediksi untuk emisi gas N_2O . Hal ini dimungkinkan karena emisi gas N_2O kurang responsif terhadap perubahan parameter lingkungan biofisik di dalam tanah sebagaimana dijelaskan pada sub-bab sebelumnya.

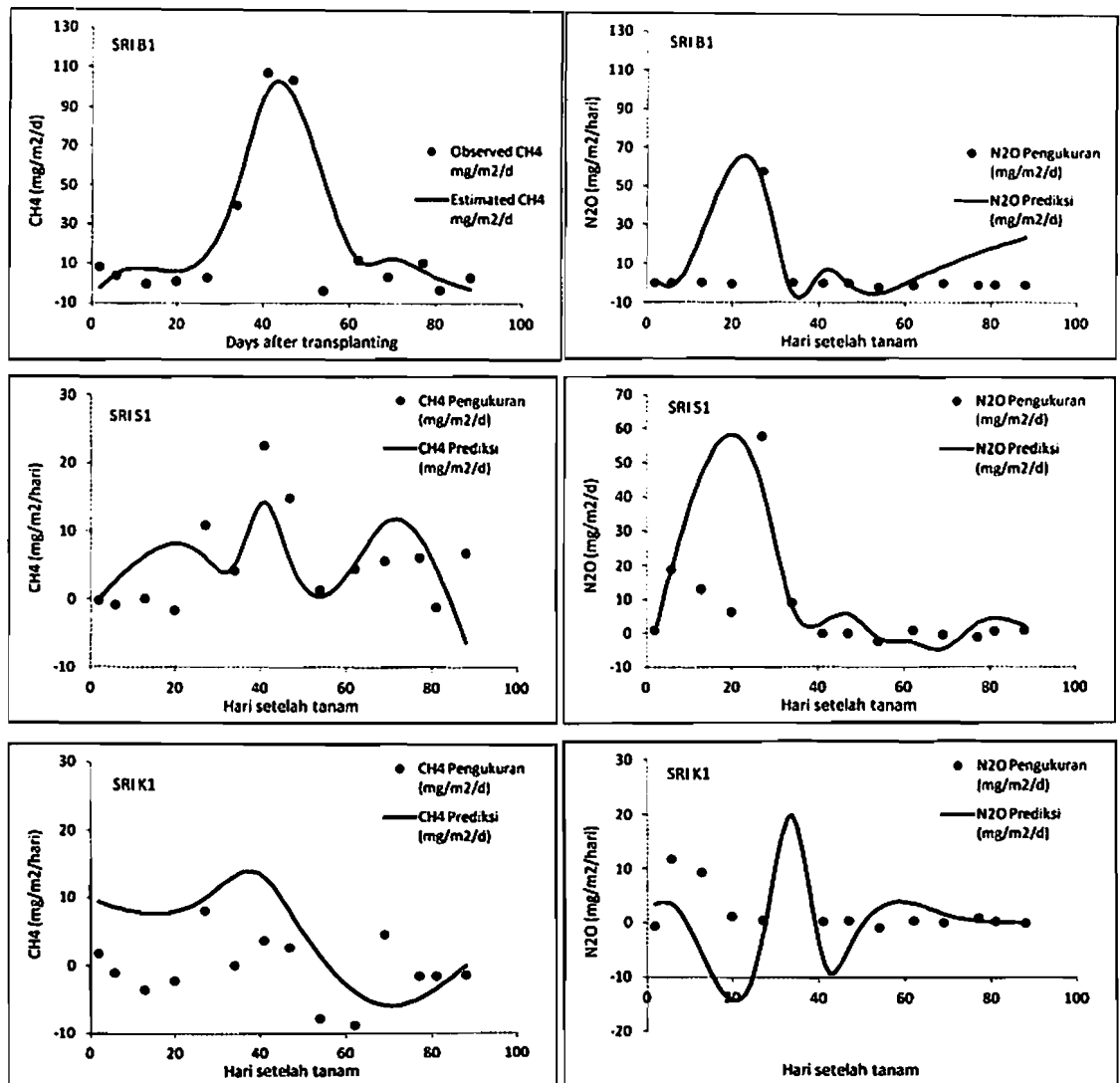
Hasil validasi model juga diperkuat dengan hasil perbandingan antara emisi GRK hasil pengukuran dan prediksi dalam satu musim tanam sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa meskipun terjadi *over* atau *underestimate*, akan tetapi secara umum tren garis pada grafik yang merupakan emisi GRK hasil prediksi model mendekati poin-poin emisi

GRK hasil pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa trend emisi GRK hasil prediksi model JST sama dengan hasil pengukuran. Sehingga model JST cukup akurat dalam memprediksi emisi GRK.

4.3. Karakteristik Emisi GRK

Pembobot yang dihasilkan oleh model JST kemudian digunakan untuk menganalisis karakteristik emisi GRK terhadap perubahan kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah seperti terlihat di Gambar 5 dan Gambar 6.

Emisi gas CH_4 meningkat seiring dengan peningkatan kelembaban tanah, suhu tanah dan DHL tanah. Pada waktu DHL tanah sebesar 0,01 mS/cm, emisi gas CH_4 cukup kecil dibawah 10 mg/m²/hari ketika kelembaban tanah berkisar antara 0,3 - 0,35 m³/m³ dengan suhu tanah kurang dari 30°C. Emisi gas CH_4 meningkat tajam ketika DHL tanah meningkat menjadi 0,4 mS/cm dan terjadi kenaikan kelembaban tanah juga dari 0,27 - 0,45 m³/m³.



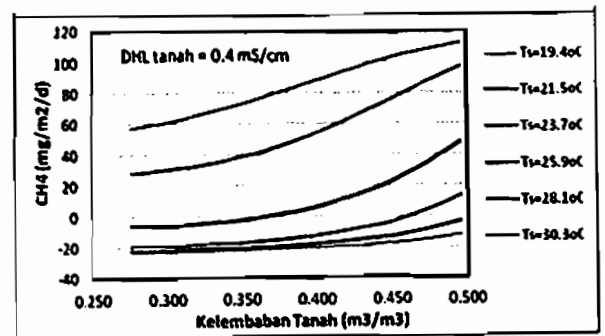
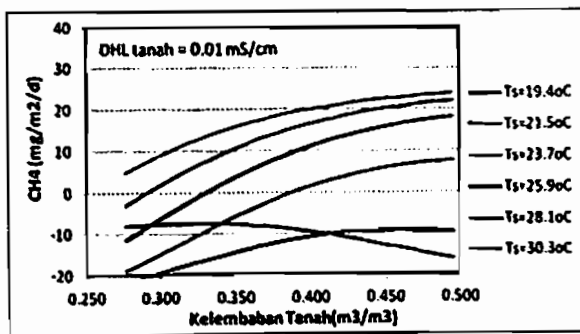
Gambar 4 Perbandingan Emisi GRK Pengukuran dan Prediksi

Peningkatan kelembaban tanah biasanya dibarengi dengan pengurangan konsentrasi oksigen di dalam tanah yang diindikasikan dengan berkurangnya nilai redoks potensial tanah (Eh) (Setyanto et al., 2000). Pengurangan oksigen tersebut menyebabkan aktifitas bakteri metanotropik yang menyerap gas CH_4 menjadi terhambat sehingga emisi gas CH_4 meningkat. Peningkatan suhu tanah juga mengakibatkan kenaikan emisi gas CH_4 yang cukup signifikan. Emisi gas CH_4 hanya menurun ketika suhu tanah lebih rendah dari $20^\circ C$. Sebaliknya setelah suhu tanah meningkat dari $20^\circ C$ sampai $30^\circ C$, emisi gas CH_4 meningkat pesat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Holzapfel-Pschorn dan Seller (1986) dimana emisi gas CH_4 dari lahan padi sawah meningkat dua kali lipat ketika terjadi peningkatan suhu tanah dari suhu $20^\circ C$ menjadi $25^\circ C$. Peningkatan suhu tersebut dibarengi dengan peningkatan aktifitas mikroorganisme khususnya bakteri metanogenik. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu tanah akan mempengaruhi metabolisme mikroorganisme di dalam tanah.

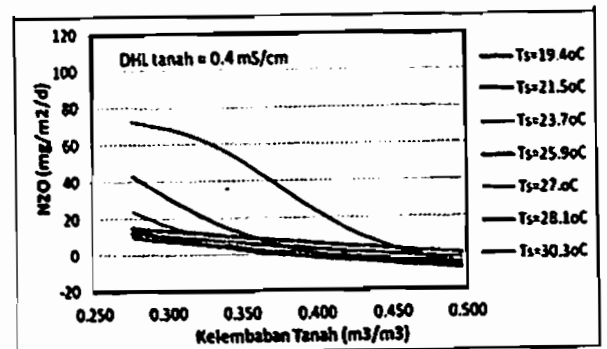
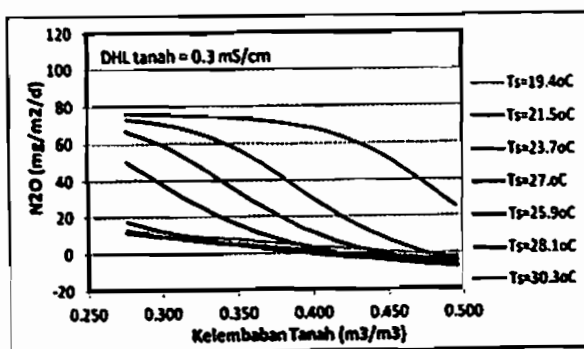
Karakteristik emisi gas N_2O berbeda dengan emisi gas CH_4 seperti terlihat pada Gambar 6. Kenaikan nilai DHL tanah dapat menurunkan emisi gas N_2O . Pada waktu DHL tanah $0,3 \text{ mS/cm}$, emisi gas N_2O menurun seiring meningkatnya kelembaban tanah

dan menurunnya suhu tanah. Gas N_2O pada dasarnya terbentuk dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi di dalam tanah pada kondisi aerobik (Mosier et al., 1996), sehingga kondisi kadar air tanah yang tinggi dapat menghambat proses terbentuknya gas N_2O . Dari karakteristik ini dapat disimpulkan bahwa pemberian air yang berbeda akan menghasilkan kondisi lingkungan biofisik yang berbeda juga yang menyebabkan emisi GRK yang dihasilkan juga berbeda.

Tabel 1 menunjukkan emisi GRK pada masing-masing percobaan pemberian air. Lokasi pertama menghasilkan produksi yang lebih tinggi daripada lokasi pertama. Untuk emisi GRK terlihat bahwa emisi gas CH_4 terbesar terjadi pada pemberian air SRI Basah baik di lokasi pertama maupun kedua. Sebaliknya, emisi gas CH_4 terkecil terjadi pada pemberian air SRI Kering (SRI K1 dan SRI K2). Bahkan SRI K1 total emisi gas CH_4 bernilai negatif yang menunjukkan terjadinya penyerapan gas CH_4 . Sayangnya untuk fenomena emisi gas N_2O belum terlihat kekonsistenan hasil antar sistem irigasi. Pada lokasi pertama, SRI B1 menghasilkan emisi gas N_2O terkecil, akan tetapi pada lokasi kedua, SRI K2 yang menghasilkan emisi gas N_2O terkecil. Untuk itu, diperlukan studi yang lebih mendalam dalam memahami karakteristik emisi gas N_2O dengan melibatkan faktor-faktor yang lain.



Gambar 5 Karakteristik Emisi Gas CH_4 pada Berbagai Kondisi Parameter Lingkungan Biofisik



Gambar 6 Karakteristik Emisi Gas N_2O pada Berbagai Kondisi Parameter Lingkungan Biofisik

Tabel 1 Emisi GRK pada Masing-masing Percobaan Pemberian Air

SRI pada berbagai rejim air	Emisi GRK		GWP* (kg C-CO2 eq/ha/musim)	Produksi (ton/ha)
	CH ₄ (kg/ha/musim)	N ₂ O (kg/ha/musim)		
SRI B1	18,32	3,61	1489	8,33
SRI S1	4,68	6,86	2138	5,21
SRI K1	-0,56	5,00	1467	5,31
SRI B2	38,79	8,14	3300	1,47
SRI S2	35,77	17,40	5973	1,35
SRI K2	8,64	4,06	1399	1,10

*GWP: *global warming potential*, dihitung dengan persamaan $GWP = 23CH_4 + 296N_2O$ (Hadi, et al., 2010)

Untuk strategi mitigasi dari percobaan pemberian air yang dilakukan, sistem irigasi SRI Basah (baik SRI B1 dan SRI B2) dengan menjaga jeluk muka air di sekitar permukaan tanah merupakan strategi yang terbaik. Hal ini disebabkan perlakuan sistem irigasi tersebut menghasilkan nilai GWP terendah dan produksi tertinggi di lokasi pertama. Sedangkan untuk lokasi kedua, meskipun tidak menghasilkan GWP terendah, tetapi perlakuan irigasi ini mampu menghasilkan GWP yang moderat dan produksi tertinggi dibandingkan dengan dua perlakuan yang lain.

V. KESIMPULAN

Model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dapat digunakan untuk memprediksi GRK yang terdiri dari gas CH₄ dan N₂O dari padi sawah dengan berbagai pemberian air menggunakan data parameter lingkungan biofisik didalam tanah seperti kelembaban tanah, suhu tanah dan daya hantar listrik (DHL) tanah. Hasil validasi model menghasilkan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,93 dan 0,70 untuk prediksi emisi gas CH₄ dan N₂O yang mengindikasikan bahwa model dapat diterima. Dari model tersebut, karakteristik emisi gas CH₄ dan N₂O terhadap perubahan parameter lingkungan biofisik dapat dijelaskan dengan baik meskipun terdapat beberapa batasan. Namun, model tersebut hanya diujicobakan pada pengukuran emisi GRK secara tidak kontinyu pada pengukuran siang hari dengan kondisi lingkungan yang belum mewakili kondisi secara keseluruhan, sehingga model untuk menguji keakuratan model perlu dilakukan untuk berbagai waktu pengukuran emisi gas rumah kaca.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi yang telah mendanai riset ini melalui skema Penelitian Bagi Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) tahun 2014. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada Prof. Kesuke Noborio dan

mahasiswa beliau dari Meiji University yang telah mengizinkan dan membantu penulis melakukan riset di tempat mereka. 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

- Akiyama, H., Yagi, K., Yan, X.Y. 2005. Direct N₂O emissions from rice paddy fields: Summary of available data. *Global Biogeochem Cy* 19.
- Arif, C. 2013. Optimizing water management in system of rice intensification paddy fields by field monitoring technology. *Global Agricultural Sciences*. The University of Tokyo, Tokyo, p. 143
- Basheer, I.A., Harmeer, M. 2000. Artificial Neural Networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of Microbiological Methods* 43: 3-31.
- Bouwman, A.F. 1990. *Introduction, in: Bouwman, A.F. (ed.), soil and the greenhouse effects*. John Wiley & Sons, New York, United States.
- Cai, Z.C., Xing, G.X., Yan, X.Y., Xu, H., Tsuruta, H., Yagi, K., Minami, K. 1997. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management. *Plant Soil* 196: 7-14.
- Cicerone, R.J., Delwiche, C.C., Typer, S.C., Zimmermann, P.R. 1992. Methane emissions from California rice paddies with varied treatments. *Global Biogeochem Cy* 6: 233-248.
- Cicerone, R.J., Oremland, R.S. 1988. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochem Cy* 2: 229-238.
- Dill, J., Deichert, G., Thu, L.T.N. 2013. *Promoting the System of Rice Intensification: lessons learned from Trà Vinh Province, Viet Nam*. German Agency for International Cooperation (GIZ) and International Fund for Agricultural Development (IFAD), Hanoi.

- Dong, H.B., Yao, Z.S., Zheng, X.H., Mel, B.L., Xie, B.H., Wang, R., Deng, J., Cui, F., Zhu, J.G. 2011. Effect of ammonium-based, non-sulfate fertilizers on CH₄ emissions from a paddy field with a typical Chinese water management regime. *Atmos Environ* 45: 1095-1101.
- Hadi, A., Inubushi, K., Yagi, K. 2010. Effect of water management on greenhouse gas emissions and microbial properties of paddy soils in Japan and Indonesia. *Paddy Water Environ* 8: 319-324
- Hashimoto, Y. 1997. Applications of artificial neural networks and genetic algorithms to agricultural systems. *Comput Electron Agr* 18: 71-72.
- Hinnell, A.C., Lazarovitch, N., Furman, A., Poulton, M., Warrick, A.W. 2009. Neuro-Drip: estimation of subsurface wetting patterns for drip irrigation using neural networks. *Irrigation Sci* 28: 535-544.
- Holzappel-Pschorn, A., Seiler, W. 1986. Methane emission during a cultivation period from an Italian rice paddy. *Journal of Geophysical Research* 91: 803-814.
- Husin, Y.A., Murdiyarso, D., Khalil, M.A.K., Rasmussen, R.A., Shearer, M.J., Sabiham, S., Sunar, A., Adijuwana, H. 1995. Methane Flux from Indonesian Wetland Rice - the Effects of Water Management and Rice Variety. *Chemosphere* 31: 3153-3180.
- Keiser, J., Utzinger, J., Singer, B.H. 2002. The potential of intermittent irrigation for increasing rice yields, lowering water consumption, reducing methane emissions, and controlling malaria in African rice fields. *J Am Mosquito Contr* 18: 329-340.
- Li, X.L., Yuan, W.P., Xu, H., Cai, Z.C., Yagi, K. 2011. Effect of timing and duration of midseason aeration on CH₄ and N₂O emissions from irrigated lowland rice paddies in China. *Nutr Cycl Agroecosys* 91: 293-305.
- Minamikawa, K., Sakai, N. 2005. The effect of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan. *Agr Ecosyst Environ* 107: 397-407.
- Miyata A, Leuning R, Denmead OTh, Kim J, Harazonoa Y. 2000. Carbon dioxide and methane fluxes from an intermittently flooded paddy field. *Agricultural and Forest Meteorology* 102 (2): 287-303
- Mosier, A.R., Duxbury, J.M., Freney, J.R., Heinemeyer, O., Minami, K. 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assessment, measurement and mitigation. *Plant Soil* 181: 95-108.
- Neue, H.U., Heidmann, P.B., Scharpenseel, H.W., 1990. *Organic matter dynamics, soil properties, and cultural practices in rice lands and their relationship to methane production, in: Bouwman, A.F. (Ed.), Soil and the greenhouse effect.* John Wiley & Sons, New York, United States, pp. 457-466.
- Nishimura S, Sawamoto T, Akiyama H, Sudo S, Yagi K. 2004. Methane and nitrous oxide emissions from a paddy field with Japanese conventional water management and fertilizer application. *Global Biogeochemical Cycles* 18: GB2017. DOI:10.1029/2003GB002207
- Nugroho, S.G., Lumbanraja, J., Suprpto, H., Sunyoto, Ardjasa, W.S., Haraguchi, H., Kimura, M. 1994. Effect of Intermittent Irrigation on Methane Emission from an Indonesian Paddy Field. *Soil Sci Plant Nutr* 40: 609-615.
- Purkait NN, Saha AK, De S, Chakrabarty DK. 2007. Behaviour of methane emission from a paddy field of high carbon content. *Indian Journal of Radio and Space Physics* 36: 52-58.
- Rajkishore, S.K., Doralsamy, P., Subramanian, K.S., Maheswari, M., 2013. Methane emission patterns and their associated soil microflora with SRI and conventional systems of rice cultivation in Tamil Nadu, India. *Taiwan Water Conservancy* 61: 126-134
- Raju, S.K., Kumar, D.N., Duck, L. 2006. Artificial neural networks and multicriterion analysis for sustainable irrigation planning. *Computers and Operations Research* 33: 1138-1153.
- Setiawan, B.I., Imansyah, A., Arif, C., Watanabe, T., Mizoguchi, M., Kato, H. 2014. Sri Paddy Growth and Ghg Emissions at Various Groundwater Levels. *Irrig Drain* 63: 612-620.
- Setiawan, B.I., Irmansyah, A., Arif, C., Watanabe, T., Mizoguchi, M., Kato, H. 2013. Effects of Groundwater Level on CH₄ and N₂O Emissions under SRI Paddy Management in Indonesia. *Journal of Taiwan Water Conservancy* 61: 135-146.
- Setyanto P, Rosenani AB, Boer R, Fauziah CI, Khanif MJ. 2004. The effect of rice cultivars on methane emission from irrigated rice field. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 5(1): 20-31
- Setyanto, P., Makarim, A.K., Fagi, A.M., Wassman, R., Buendia, L.V. 2000. Crop management affecting methane emissions from irrigated and rainfed rice in Central Java (Indonesia). *Nutr Cycl Agroecosys* 58: 85-93.
- Smith, C.J., Brandon, M., Patrick, W.H. 1982. Nitrous-Oxide Emission Following Urea-N Fertilization of Wetland Rice. *Soil Sci Plant Nutr* 28: 161-171.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. 2007. Best Management Practices to Minimize Greenhouse Gas Emissions Associated with Fertilizer Use. *Better crops* 19: 16-18.
- Towprayoon, S., Smakgahn, K., Poonkaew, S. 2005. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. *Chemosphere* 59: 1547-1556.

Tyagi, L., Kumari, B., Singh, S.N. 2010. Water management - A tool for methane mitigation from irrigated paddy fields. *Sci Total Environ* 408: 1085-1090.

Vogels, G.D., Keltjen, J.T., Van der Drift, C. 1988. Biochemistry of methane production biology of and aerobic microorganisms. *Nature* 350: 406-409.

Zou, J.W., Huang, Y., Jiang, J.Y., Zheng, X.H., Sass, R.L. 2005. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: Effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. *Global Biogeochem Cy* 19.