

## HERITABILITAS DAN KARAKTERISTIK TANAMAN PADI RENDAH EMISI GAS METANA

## HERITABILITY AND CHARACTERISTICS OF RICE PLANT LOW METHANE GAS EMISSION

Finsa Dwi Arisandi<sup>1)</sup>, Prihasto Setyanto<sup>2)</sup> dan Noer Rahmi Ardiarini<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Brawijaya University

Jl. Veteran, Malang 65145 Jawa Timur, Indonesia

<sup>2)</sup>Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan)

Jalan Jakenan-Jaken km 05 Jakenan, Pati 59182, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [finsaarisandi@gmail.com](mailto:finsaarisandi@gmail.com)

### ABSTRAK

Tanaman padi memegang peranan penting dalam melepaskan metana (CH<sub>4</sub>) ke atmosfer dari lahan sawah. Pelepasan gas metana dari padi dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui heritabilitas beberapa karakter varietas padi rendah emisi gas metana dan menentukan karakter penciri khusus untuk tanaman padi dengan emisi gas metana rendah. Percobaan menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok. Padi ditanam dengan sistem gogorancah (gora). Analisis genetik dengan menggunakan heritabilitas serta perhitungan regresi antar karakter dengan emisi gas metana berdasarkan penciri khusus tanaman padi rendah emisi gas metana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman padi mengemisikan gas CH<sub>4</sub> diduga dipengaruhi oleh faktor genetik dengan nilai heritabilitas 0,91. Padi dengan emisi gas metana rendah mempunyai karakter penciri biomassa sedikit, luas rongga aerenkima akar sempit, dan morfologi ketegaran batang dan daun yang lemah. Varietas Inpari 13 dan Mekongga mengemisikan gas CH<sub>4</sub> rendah.

Kata kunci: Padi, Heritabilitas, Karakteristik, Emisi Gas Metana

### ABSTRACT

Rice has an important role in the release of methane into the atmosphere of the rice field. The release of methane from rice is influenced by genetic and environmental factors. This study aims to determine the heritability of some characters of rice varieties low emissions of methane gas and determine the character of a specific identifier for the rice with low emissions of methane gas. Experiment had been used randomized block design. Rice was planted by direct seeded system (gora). The genetic analysis followed by calculating the heritability. Regression calculations between the characters observed with methane gas emissions by a specific identifier. The result showed that rice emit CH<sub>4</sub> gas is influenced by genetic factor with 0.91 heritability value. Rice with lower methane emissions has few biomass, root aerenchym narrow cavity and low rigidity as plant as specific characteristics. Low CH<sub>4</sub> gas is emitted by Inpari 13 and Mekongga variety.

Keywords: Rice, Heritability, Characteristics, Methane Gas Emissions

### PENDAHULUAN

Pemanasan global disebabkan adanya peningkatan Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Gas utama yang dikategorikan sebagai GRK dan mempunyai

potensi menyebabkan pemanasan global salah satunya adalah metana (CH<sub>4</sub>). Sektor pertanian memberikan sumbangan gas emisi sebesar 67 % dari total emisi GRK dunia (Hervani dan Wihardjaka, 2014). Salah satu kegiatan manusia di pertanian adalah membudidayakan padi sawah Di Indonesia budidaya padi mengeluarkan emisi metana sebanyak 75,419.73 Gg (Gigagram) pada tahun 2000. Meskipun gas CH<sub>4</sub> hanya berkontribusi sekitar 15 persen dari semua gas rumah kaca, namun gas ini 21 kali lebih berpotensi menyebabkan efek rumah kaca daripada gas CO<sub>2</sub>.

Padi adalah tanaman bahan pangan pokok bagi masyarakat di Indonesia. Kebutuhan beras nasional setiap tahun mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Disisi lain, lahan sawah dalam kondisi anaerob merupakan sumber terbentuknya CH<sub>4</sub>. Budidaya padi sawah merupakan salah satu sumber emisi CH<sub>4</sub> (21,9%) dengan laju penambahan 1-2% per tahun (Khalil and Rasmussen, 1992). Usaha pemerintah dalam peningkatan produksi padi dan untuk mengurangi emisi GRK saat ini sangat diperlukan. Salah satu upaya mitigasi yang dapat dilakukan adalah dengan merakit padi rendah emisi. Berdasarkan beberapa studi yang telah dilakukan bahwa karakteristik varietas padi yang mempunyai biomassa rendah akan menghasilkan emisi CH<sub>4</sub> yang rendah (Susilawati, Setyanto, dan Kartikawati, 2009). Terdapat kapasitas angkut metana (MTC) pada beberapa varietas padi yang digunakan di Indonesia (Aulakh, *et al.* 2000). Tingginya biomassa tanaman, menyebabkan semakin tinggi emisi gas CH<sub>4</sub> yang dilepaskan (Setyanto, 2004).

Oleh Karena itu, perlu dilakukan usaha-usaha pemuliaan tanaman padi rendah emisi gas rumah kaca sebagai langkah awal untuk merakit tanaman padi rendah emisi adalah melakukan seleksi varietas melalui kegiatan identifikasi karakter-karakter spesifik varietas padi rendah emisi gas metana. Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) Mengetahui heritabilitas beberapa karakter varietas padi rendah emisi gas metana dan (2) Menentukan karakter penciri khusus untuk

tanaman padi dengan emisi gas metana rendah.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian telah dilaksanakan di lahan percobaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Baligtan) Jakenan, Pati, Jawa Tengah pada bulan Januari sampai Maret 2016 pada musim hujan 2016.

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan untuk pengambilan sampel gas otomatis, yaitu boks penangkap gas metana dengan ukuran 100 cm x 100 cm x 120 cm, penggaris untuk mengukur tinggi tanaman, alat kromatografi gas GC-2014 yang dilengkapi dengan detektor FID (*Flame Ionization Detector*) untuk CH<sub>4</sub>, penggaris, kamera, dan timbangan. Adapun alat yang digunakan untuk mengamati struktur anatomi aerenkima akar dan batang tanaman padi yaitu mikroskop, kuas, silet pemotong, cawan petri, pipet tetes dan kaca preparat. Bahan yang digunakan meliputi tanaman padi Ciherang, Mekongga, Inpari 18, IPB3s, Inpari 13, Inpari 31, Inpari 32, dan Inpari 33, pupuk urea, KCl, SP36, pupuk kandang, pestisida. Adapun bahan yang digunakan untuk pengamatan struktur anatomi aerenkima akar dan batang tanaman padi adalah alkohol, kutek, glyserin, kambium singkong, larutan *Safranin* konsentrasi 10 %, dan aquades.

Penelitian dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan 3 ulangan dan 8 perlakuan varietas yang ditanam dengan sistem *gogorancah* (gora). Parameter pengamatan meliputi tinggi tanaman (cm), jumlah anakan, panjang akar (cm), biomassa tanaman (gram) jumlah aerenkima akar, luas aerenkima akar dan batang, panjang malai, jumlah malai per rumpun, jumlah gabah isi per rumpun, persentase gabah isi per rumpun (%), bobot 100 butir gabah isi (gram), gabah kering giling (t/ha), pengukuran emisi gas metana (kg CH<sub>4</sub>/ha/musim) dan menghitung indeks emisi. Data dianalisis dengan sidik ragam (ANOVA), jika menunjukkan pengaruh nyata dilanjutkan dengan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ). Analisis genetik dengan menghitung heritabilitas. Analisis regresi sederhana dilakukan pada parameter

tanaman dengan fluks CH<sub>4</sub> untuk mengetahui karakter agronomi yang berpengaruh pada emisi CH<sub>4</sub>. Analisis korelasi antar parameter tanaman dan fluks CH<sub>4</sub> dikalkukan untuk mengetahui hubungan parameter tanaman dengan fluks CH<sub>4</sub>.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Heritabilitas Padi Rendah Emisi Gas Metana

Pendugaan nilai heritabilitas digunakan untuk mengetahui seberapa besar ekspresi karakter tanaman dipengaruhi genetik dan lingkungan (Poespodarsono, 1988). Nilai heritabilitas karakter yang diamati berkisar dari 0,04-0,91 (Tabel 1). Pada hasil pengamatan, karakter tinggi tanaman, jumlah anakan, luas rongga aerenkima batang, dan emisi gas metana mempunyai kriteria tinggi. Berdasarkan kategori tersebut maka diduga kemampuan tanaman padi dalam mengemisikan CH<sub>4</sub> dipengaruhi oleh faktor genetik. Berdasarkan Tingkat emisi gas CH<sub>4</sub> berbeda-beda disebabkan pengaruh keragaman morfologi dan fisiologi dari varietas tanaman padi (Wihardjaka dan Sarwoto, 2015).

Heritabilitas kriteria sedang terdapat pada karakter biomassa tanaman, luas rongga aerenkima akar padi yang menjelaskan bahwa adanya pengaruh antara faktor genetik dan lingkungan. Saffens *et al.*, dalam Yamauchi, *et al.*

(2013), menjelaskan bahwa terdapat peran gen dalam pembentukan rongga aerenkima tanaman pada padi pada kondisi tergenang akan membentuk *Reactive Oxygen Species* (ROS) dalam menanggapi respon rendaman. Gen mengkode metallothionein-2b (MT2b) diekspresikan untuk memperbaiki *deadcell* dan pertumbuhan tanaman. Karakter panjang akar dan jumlah rongga aerenkima akar mempunyai nilai heritabilitas rendah (0,04 dan 0,09) yang berarti bahwa faktor lingkungan lebih berperan. Panjang akar sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, tekstur, jenis tanah, air, udara, dan cara pengelolaan tanah (Suardi, 2002).

### Karakteristik Tanaman Padi Rendah Emisi

Karakter padi rendah emisi gas metana tergantung pada tinggi tanaman, jumlah anakan, biomassa tanaman, luas rongga aerenkima akar dan luas rongga aerenkima batang. Berdasarkan heritabilitas, karakter tersebut dipengaruhi oleh genetik. Penampilan karakter kuantitatif tanaman rendah emisi gas metana dipengaruhi oleh genetik disajikan pada Tabel 2. Karakteristik varietas padi berdasarkan analisa ragam menunjukkan perbedaan dalam emisi gas metana. Dari delapan varietas yang diuji, Inpari 18, IPB3s, Inpari 31, dan Inpari 32 memiliki rata-rata emisi tinggi. Berdasarkan karakter pengamatan, Inpari 18 memiliki karakter luas rongga aerenkima akar padi yang luas.

**Tabel 1** Nilai Keragaman dan Heritabilitas Parameter Padi Rendah Emisi Gas Metana

Karakter	KKG (%)	KKF (%)	h <sup>2</sup>	Kriteria
Tinggi Tanaman (cm)	7,52	7,97	0,89	Tinggi
Jumlah Anakan	12,21	14,31	0,73	Tinggi
Panjang Akar (cm)	2,44	8,15	0,09	Rendah
Biomassa (g)	12,02	22,95	0,27	Sedang
Jumlah Ae Akar	5,69	27,93	0,04	Rendah
Luas Ae Akar (mm <sup>2</sup> )	18,12	29,69	0,37	Sedang
Luas Ae Batang (mm <sup>2</sup> )	38,46	46,54	0,68	Tinggi
Panjang Malai (cm)	5,02	5,97	0,71	Tinggi
Jumlah Malai	10,00	12,17	0,68	Tinggi
Jumlah Gabah Isi	11,19	15,56	0,52	Tinggi
Bobot 1000 Butir (g)	6,25	6,70	0,87	Tinggi
Hasil GKG (ton ha <sup>-1</sup> )	11,02	12,76	0,75	Tinggi
Emisi Gas Metana (kg CH <sub>4</sub> /ha/musim)	15,93	16,66	0,91	Tinggi

Keterangan: h<sup>2</sup> = heritabilitas. Ae = rongga aerenkima, GKG = Gabah Kering Giling. Kriteria heritabilitas: tinggi (h<sup>2</sup> > 0,5), sedang (0,2 ≤ h<sup>2</sup> ≤ 0,5), rendah (h<sup>2</sup> < 0,2). Kriteria KKG/KKF: rendah (0% < X ≤ 25%), sedang (25% < X ≤ 50%), dan tinggi (> 50%).

**Tabel 2** Penampilan Karakter Kuantitatif Tanaman Rendah Emisi Gas Metana

Varietas	Tinggi Tanaman	Jumlah anakan	Biomassa	Luas Ae Akar Padi	Luas Ae Batang Padi per Rumpun	Emisi CH <sub>4</sub>
Ciherang	115,50 bc	14 bcd	210,90 bc	4,40 ab	3035,01 ab	221,76 bc
Mekongga	112,70 abc	14 cd	131,94 a	3,74 ab	4299,18 ab	193,36 ab
Inpari 18	106,60 a	12 abc	187,91 b	4,69 ab	1616,87 a	251,38 d
IPB3s	134,70 d	10 a	184,72 b	3,56 ab	4372,79 b	249,94 cd
Inpari 13	115,30 abc	13 abc	176,03 ab	2,92 a	2075,28 ab	169,86 a
Inpari 31	119,10 c	15 cd	188,26 b	3,74 ab	2845,00 ab	274,44 d
Inpari 32	110,70 abc	14 cd	259,52 c	5,62 b	2322,17 ab	275,24 d
Inpari 33	107,90 ab	16 d	179,22 b	3,06 ab	2740,73 ab	223,58 bc
BNJ 5%	8,70	2,89	9,47	2,69	2690,43	32,86

Keterangan: angka-angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5%, Ae= Aerenkima.

IPB3s memiliki karakter tinggi tanaman tinggi dan luas rongga aerenkima batang yang luas. Inpari 31 memiliki karakter jumlah anakan banyak, luas rongga aerenkima akar luas dan luas rongga aerenkima batang luas. Pada Inpari 32 memiliki karakter jumlah anakan banyak, biomassa yang berat, luas rongga aerenkima akar luas dan luas rongga aerenkima batang luas.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Aulakh et al. (2000) yang menyatakan bahwa semakin banyak jumlah anakan, maka dapat meningkatkan kerapatan dan jumlah pembuluh aerenkima sehingga kapasitas angkut CH<sub>4</sub> menjadi tinggi. Pada hasil penelitian menunjukkan bahwa Inpari 13 dan Mekongga memiliki emisi yang rendah dibandingkan dengan varietas lainnya yang diujikan. Inpari 13 dibandingkan dengan varietas yang diujikan lainnya adalah memiliki karakter tinggi tanaman, jumlah anakan, jumlah rongga aerenkima akar padi, luas rongga aerenkima akar padi, luas rongga aerenkima batang padi yang rendah. Mekongga memiliki karakter tinggi tanaman, biomassa tanaman, luas rongga aerenkima akar dan luas rongga aerenkima batang padi yang rendah.

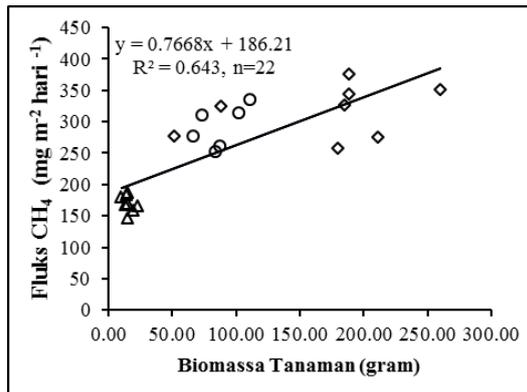
Berdasarkan penampilan karakter tersebut, maka kemampuan padi dalam emisi gas CH<sub>4</sub> rendah berkaitan dengan biomassa yang sedikit dan rongga aerenkima akar yang sempit. Menurut Susilawati, et al. (2009) semakin banyak biomassa maka emisi CH<sub>4</sub> juga semakin

tinggi. Tingginya biomassa tanaman, menyebabkan semakin tinggi emisi gas CH<sub>4</sub> yang dilepaskan (Setyanto, 2004). Di dukung oleh Aulakh et al. (2000), Semakin banyak rongga aerenkima, maka semakin banyak pula emisi CH<sub>4</sub> yang dilepaskan.

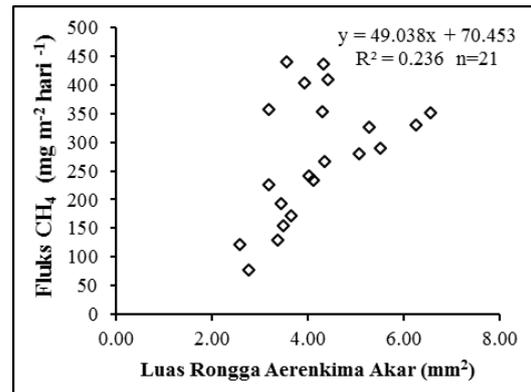
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komponen hasil sangat mempengaruhi hasil produksi berdasarkan karakter dari masing-masing tanaman padi. Hasil padi menentukan nilai indeks emisi. Indeks emisi merupakan perbandingan antara jumlah gabah yang dihasilkan dengan GRK yang dilepaskan melalui tanaman padi. Semakin tinggi indeks emisi maka varietas tersebut berdaya emisi rendah dengan tingkat hasil gabah tinggi (Mulyadi dan Wihardjaka, 2014). Varietas-varietas padi yang beragam akan mempengaruhi besarnya indeks emisi. Berdasarkan perhitungan indeks emisi CH<sub>4</sub> menunjukkan bahwa Inpari 13 memiliki nilai terendah dibandingkan dengan varietas yang diujikan yaitu 29,296 kg CH<sub>4</sub>/ton gabah tidak berbeda nyata dengan Mekongga dengan indeks emisi 29,854 kg CH<sub>4</sub>/ton gabah. Sedangkan Ciherang, Inpari 32, dan Inpari 33 memiliki nilai indeks emisi CH<sub>4</sub> tinggi (Tabel 3).

#### Hubungan Karakter Agronomi dan Emisi Gas Metana

Tanaman padi memegang peranan penting dalam melepaskan CH<sub>4</sub> ke atmosfer dari lahan sawah (Mulyadi dan Wihardjaka, 2014).



**Gambar 1** Grafik Hubungan Emisi Gas Metana dengan Biomassa Tanaman



**Gambar 2** Grafik Hubungan Emisi Gas Metana dengan Karakter Luas Rongga Aerenkima Akar.

**Tabel 3** Hasil Rata-rata Emisi Gas Metana pada Padi dan Indeks Emisi

Varietas	Umur Panen (hst)	Fluks CH <sub>4</sub> (kg CH <sub>4</sub> /ha/musim)	GKG (t/ha) KA:14%	Indeks Emisi (kg CH <sub>4</sub> /ton gabah)
Ciherang	106	221,76 bc	5,98 ab	37,23 abc
Mekongga	106	193,36 ab	6,51 ab	29,85 a
Inpari 18	100	251,38 d	6,09 ab	41,26 bc
IPB3s	100	249,94 cd	5,69 a	44,07 c
Inpari 13	100	169,86 a	5,82 a	29,30 a
Inpari 31	106	274,44 d	7,12 bc	38,54 bc
Inpari 32	106	275,24 d	7,78 c	35,41 ab
Inpari 33	106	223,58 bc	5,86 a	38,43 bc
BNJ 5%		32,86	1,18	8,51

Keterangan: angka-angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5%; tn: tidak berbeda nyata

Berdasarkan karakteristik padi rendah emisi dipengaruhi genetik, perhitungan analisis regresi menunjukkan adanya hubungan karakter agronomi yang memengaruhi besar emisi gas CH<sub>4</sub> padi.

#### Biomassa tanaman

Pada varietas padi memberikan pengaruh nyata terhadap biomassa tanaman pada tiap fase tanaman. Hasil analisis regresi (Gambar 1) menunjukkan bahwa adanya hubungan sangat kuat antara biomassa tanaman dengan fluks CH<sub>4</sub> dengan hubungan variabelnya  $y = 0.7668x + 186.21$  yang berarti 1 gram biomassatanaman berkontribusi sebesar 186.98 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>. Semakin banyak biomassa maka semakin besar fluks CH<sub>4</sub> yang dihasilkan. Pada varietas Inpari 13 dan Mekongga memiliki biomassa yang sedikit. Menurut Setyanto (2004), semakin

tinggi jumlah biomassa tanaman, semakin tinggi emisi gas CH<sub>4</sub> yang dilepaskan. Emisi CH<sub>4</sub> terbentuk karena banyak anakan yang tidak produktif akan terdekomposisi menjadi CH<sub>4</sub>. Bahan organik berupa jerami pada keadaan tergenang sangat ideal bagi berlangsungnya dekomposisi anaerobik di lahan sawah.

Penampilan tanaman padi dengan biomassa tinggi dapat diduga dengan mengetahui tingkat ketegaran bagian tanaman padi. Hal ini dikarenakan biomassa padi ditentukan dari kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa (Yulianto, et al. 2009). Senyawa lignin adalah suatu polimer fenilpropanoide dapat mengeraskan dinding sel. Tingginya kandungan lignin akan menentukan ketegaran tanaman (Mulyani, 2006). Morfologi tanaman dengan biomassa sedikit dapat diduga dengan ketegaran batang dan daun yang lemah.

### Rongga Aerenkima Padi

Pengamatan anatomi jaringan aerenkima akar padi mempengaruhi tingkat besarnya emisi metana. Jaringan aerenkima padi merupakan jaringan modifikasi dari parenkim yang membentuk rongga-rongga udara yang berfungsi sebagai pertukaran gas pada keadaan tergenang air (Mulyani, 2006). Varietas Inpari 32 memiliki luas aerenkima yang tinggi sedangkan terendah adalah Inpari 13. Aulakh *et al.* (2000), Semakin banyak rongga aerenkima, maka semakin banyak pula emisi CH<sub>4</sub> yang dilepaskan. Pada pengamatan rongga aerenkima, Gambar 2 menunjukkan adanya hubungan antara luas rongga aerenkima akar mempengaruhi fluks CH<sub>4</sub> dengan hubungan variabelnya  $y = 49,038x + 70,453$  yang berarti setiap penambahan luas 1 mm<sup>2</sup> rongga aerenkim, berkontribusi sebesar 119,941 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>. Pada Inpari 13 dan Mekongga memiliki rongga aerenkima akar yang sempit. Pengaruh utama rongga aerenkima dalam mengemisikan gas CH<sub>4</sub> adalah pada luas bidang rongga aerenkima. Sehingga dapat diketahui bahwa luas rongga aerenkima akar berbanding lurus dengan kemampuan padi untuk menghasilkan fluks CH<sub>4</sub> yang sangat tinggi (Setyanto, 2004).

### KESIMPULAN

Tanaman padi mengemisikan gas CH<sub>4</sub> diduga dipengaruhi oleh faktor genetik dengan nilai heritabilitas 0,91. Padi dengan emisi gas metana rendah mempunyai karakter penciri biomassa sedikit, luas rongga aerenkima akar sempit dan ketegaran morfologi batang dan daun yang lemah. Varietas Inpari 13 dan Mekongga mengemisikan gas CH<sub>4</sub> rendah.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aulakh, M.S., Bodenbender, R. Wassmann, and H. Rennenberh. 2000. Methane Transport Capacity of Rice Plants. II. Variations Among Different Rice Cultivars and Relationship with Morphological Characteristics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58(1):357-366
- Dahlan, D., Yunus M, dan Muhammad I. A. 2012. Pertumbuhan dan Produksi Dua Varietas Padi Sawah pada Berbagai Perlakuan Rekomendasi Pemupukan. *Jurnal Agrivigor*. 11(2): 262-274.
- Hervani dan Wihardjaka. 2014. Efektivitas Waktu Pengambilan dan Pengukuran Contoh Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Air di Lahan Sawah. *Widyariset*. 17(20):227-232.
- Khalil and Rasmussen. 1992. The Global Source of Nitrous Oxide. *Journal Geophysical Research: Atmospheres*. 97(13):14651-14660.
- Mulyadi dan A. Wihardjaka. 2014. Emisi Gas Rumah Kaca dan Hasil Gabah dari Tiga Varietas Padi pada Lahan Sawah Tadah Hujan Bersurjan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 33 (2):116-121.
- Mulyani, Sri. 2006. Anatomi Tumbuhan. Kanisius. Yogyakarta.
- Poespodarsono, S. 1988. Dasar-Dasar Ilmu Pemuliaan Tanaman. Pusat Antar Universitas. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Setyanto, P. 2004. Mitigasi Gas Metan dari Lahan Sawah dalam Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Suardi, D. 2002. Perakaran Padi Dalam Hubungannya dengan Toleransi Tanaman Terhadap Kekeringan dan Hasil. *Jurnal Litbang Pertanian*. 21 (3):100-108
- Susilawati, Setyanto, dan Kartikawati. 2009. Karakteristik Tanaman Padi Pasang Surut dan Perbedaannya Terhadap Fluks CH<sub>4</sub> di Tanah Gambut. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 30(2):67-79
- Yamauchi T, Shimamura S, Nakazono M, Mochizuki T. 2013. Aerenchyma formation in crop species. *Field Crops Research*. 152(Oktober):8-16.
- Yulianto, E., Dinoyo I., Indah H., Rustam, dan Fiqih. 2009. Pengembangan Hidrolisis Enzimatis Biomassa Jerami Padi untuk Produksi Bioetanol. *Symposium Nasional RAPI VIII*. 66-73.