

Potensi Bahan Alami dalam Menekan Produksi CH₄ dan N₂O dari Tanah Sawah

(The potency of Natural Materials for Reducing CH₄ and N₂O Productions from Paddy Soils)

Helena Lina Susilawati^{1*}, Anicetus Wihardjaka¹, Nurhasan², Prihasto Setyanto³

(Diterima Januari 2021/Disetujui Juli 2021)

ABSTRAK

Efisiensi pupuk urea yang rendah menyumbang lepasnya gas rumah kaca (GRK) dari lahan sawah. Salah satu upaya menekan emisi dinitrogen oksida (N₂O) dan metana (CH₄) dari lahan sawah adalah dengan menggunakan penghambat nitrifikasi (NI). Selain mahalnya harga bahan NI komersial di pasaran, perlu dicari bahan yang mudah, murah, dan efektif dalam menurunkan emisi kedua gas tersebut. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh bahan NI alami pada potensi produksi CH₄ dan N₂O dari tanah sawah. Penelitian dikerjakan di laboratorium dengan rancangan percobaan secara faktorial 2 × 7 dengan 3 ulangan. Faktor ke-1 adalah jenis tanah (inseptisol dan vertisol), faktor ke-2 adalah jenis bahan alami (kontrol, limbah sabut kelapa, limbah teh, limbah kopi, daun kenikir, rimpang kunyit, dan gulma babandotan (*Ageratum conyzoides*)). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kisaran rata-rata produksi CH₄ yang dihasilkan dari ketujuh perlakuan adalah 0,014–1,710 mg CH₄ g tanah⁻¹ pada tanah inseptisol dan 0,002–0,337 mg CH₄ g tanah⁻¹ pada tanah vertisol. Rata-rata produksi CH₄ dari kedua jenis tanah dari aplikasi keenam jenis bahan alami mampu menekan 32–69% dibandingkan kontrol. Produksi CH₄ yang dihasilkan berbeda-beda karena karena kandungan bahan alami juga berbeda. Potensial redoks berpengaruh pada produksi CH₄. Produksi N₂O di tanah inseptisol dari penggunaan limbah kopi, sabut kelapa, limbah teh, dan daun/bunga babandotan lebih rendah dibandingkan kontrol dengan persentase berturut-turut 60,71; 54,61; 64,83; dan 64,16%. Aplikasi bahan NI mempengaruhi proses nitrifikasi dan denitrifikasi di tanah sawah sehingga berkontribusi positif dalam menyelamatkan lingkungan melalui penurunan produksi GRK.

Kata kunci: bahan alami, gas rumah kaca, inkubasi, inseptisol, vertisol

ABSTRACT

Low nitrogen efficiency is one of the sources of greenhouse gas (GHG) emissions from rice fields. Methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions could be controlled by nitrification inhibitors (NI). However, NI that has been commercialized is expensive. Therefore, some natural materials should be developed as NI that is low cost, easy to use, low N₂O and CH₄, and eco-friendly. The objective of this study was to observe the effect of natural NI on the production potential of CH₄ and N₂O from paddy soil. The experiment in the laboratory was arranged in a factorial design (2 × 7 × 3 replication). The first factor was soil types (inceptisols and vertisols), and the second factor was natural NI (control, *Cocos nucifera*, *Camellia sinensis*, *Coffea robusta*, *Curcuma domestica*, *Ageratum conyzoides*). The results showed that the average CH₄ production from the natural NI in the inceptisols and vertisols ranged 0,014–1,710 mg CH₄ g soil⁻¹ and 0,002–0,337 mg CH₄ g soil⁻¹, respectively. Application of natural NI reduced 32–69% CH₄ production compare to control. Redox potential affected CH₄ production. The chemical compound of the natural NI affected CH₄ production in the soil. The application of coffee waste, coconut husk, tea waste, and *Ageratum conyzoides* reduced 60,71; 54,61; 64,83 dan 64,16% of N₂O production in Inceptisols compare to control, respectively. Application of natural NI could contribute to save the environment because it decreased GHG production in paddy soil.

Keywords: greenhouse gas, inceptisols, incubation experiment, natural nitrification inhibitors, vertisols

PENDAHULUAN

Pupuk nitrogen (N) berperan penting dalam meningkatkan produksi tanaman, dan konsumsi dunia akan pupuk N di lahan sawah terus meningkat (Yang *et al.* 2012). Salah satu penggunaan pupuk N terbesar di dunia adalah urea, yang penggunaannya di Indonesia mencapai 2,3 × 10⁹ kg tahun⁻¹ pada tahun 2016 (IFA 2019). Hampir setengah dari pupuk urea yang diaplikasikan pada tanah hilang melalui

¹ Kelompok Peneliti Emisi dan Absorpsi Gas Rumah Kaca, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Jl. Raya Jakenan-Jaken KM 5 Pati 59182

² Kelompok Peneliti Evaluasi dan Penanggulangan Pencemaran Pertanian, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Jl. Raya Jakenan-Jaken KM 5 Pati 59182

³ Direktorat Jenderal Hortikultura. Jl. AUP No. 3 Pasar Minggu, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12520

* Penulis Korespondensi:

E-mail: helenalina_s@yahoo.com

volatilisasi amonia, denitrifikasi, aliran permukaan, dan pencucian, mengakibatkan kerugian ekonomi dan lingkungan. Kerugian lingkungan terjadi dari hidrolisis pupuk N menjadi amonium (NH_4^+) dan kemudian berubah menjadi nitrat (NO_3^-) yang mudah hilang dalam proses nitrifikasi maupun denitrifikasi dan menghasilkan produk antara berupa dinitrogen oksida (N_2O) (Hartmann *et al.* 2020). Penggunaan pupuk N, baik kimia maupun organik, serta fiksasi N_2 secara hayati berkontribusi 60% dari total N_2O antropogenik (Mosier *et al.* 1996). Selain berpengaruh pada kandungan NH_4^+ dalam tanah, aplikasi pupuk N juga berpengaruh pada oksidasi metana (CH_4). Penelitian Willison *et al.* (1995) melaporkan bahwa pemupukan N berupa NH_4^+ jangka panjang menyebabkan penurunan oksidasi CH_4 sedangkan aplikasi pupuk NO_3^- -N tidak mengakibatkan hal yang serupa.

Penggunaan bahan penghambat nitrifikasi (NI) merupakan salah satu cara untuk menekan produksi N_2O dan CH_4 dari tanah (Braatz *et al.* 1997; Byrne *et al.* 2020). Beberapa bahan NI seperti nitrapirin, asetilena, kalsium karbida, disiamida (DCD), metil florida, dimetil eter, dan tiosulfat dapat untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) (Topp & Knowles 1984; Knowles 1979; McTaggart *et al.* 1997; Skiba *et al.* 1993). Bahan NI tersebut di pasaran masih mahal, untuk itu perlu dicari bahan alami yang mudah diperoleh, murah, dan efektif dalam menekan emisi CH_4 dan N_2O . Beberapa bahan tanaman dapat berfungsi sebagai bahan NI seperti rimpang kunyit (*Curcuma domestica*), daun randu (*Ceiba pentandra*), daun bakau (*Rhizophora conjugata*), mimba (*Azadirachta indica*), belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*), sabut kelapa (*Cocos nucifera*), limbah daun teh (*Camellia sinensis*), daun kopi (*Coffea robusta*), daun/bunga babandotan (*Ageratum conyzoides*), dan daun kenikir (*Cosmos caudatus*) (Upadhyay *et al.* 2011). Berdasarkan kajian Thomas dan Prasad (1982), kandungan yang terdapat dalam biji mimba dapat menekan emisi N_2O . Kandungan metabolit sekunder berupa polifenol atau lemak takjenuh tertentu dapat bertindak sebagai penghambat nitrifikasi dengan cara memengaruhi kerja bakteri dan mempertahankan nitrogen dalam bentuk NH_4^+ . Akan tetapi informasi mengenai penggunaan bahan alami lainnya sebagai NI untuk menekan produksi CH_4 dan N_2O masih sangat terbatas.

Inseptisol, oksisol, vertisol, dan andisol berturut-turut dengan luasan sekitar 70,52 juta ha (37,5%), 14,11 juta ha (7,5%), 2,12 juta ha (1,1%), dan 5,40 juta ha (2,9%) merupakan jenis tanah yang cukup prospektif dalam pengembangan pertanian di Indonesia (Puslittanak 2000). Tanah vertisol merupakan tanah yang mengandung liat tinggi (lebih dari 30%), bersifat

mengembang, lengket saat basah, dan mengkerut dan keras jika kering. Sementara itu, tanah yang termasuk ordo inseptisol bertekstur kasar, yaitu pasir hingga lempung berdebu, struktur remah, konsisten tanah lepas sampai gembur (Dharmawijaya 1992). Perbedaan sifat tersebut diperkirakan memengaruhi kemampuan tanah dalam memproduksi GRK. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh bahan NI alami pada potensi produksi CH_4 dan N_2O dari tanah sawah inseptisol dan vertisol.

METODE PENELITIAN

Jenis Tanah dan Lokasi Pengambilan

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan 2 jenis tanah, yaitu inseptisol dan vertisol. Tanah inseptisol diambil di Desa Malangan Kecamatan Pucakwangi Kabupaten Pati, Jawa Tengah, dan tanah vertisol diambil di Desa Ngawi Kecamatan Ngawi Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. Tanah diambil secara acak pada kedalaman 0–20 cm di lahan padi sawah saat bera setelah panen. Karakteristik tanah terlihat pada Tabel 1.

Perlakuan

Percobaan dilaksanakan di laboratorium dengan metode inkubasi tanah. Percobaan disusun secara faktorial dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah jenis tanah sawah sentra padi, yaitu tanah inseptisol (T1) dan tanah vertisol (T2). Faktor kedua adalah bahan alami yang digunakan sebagai NI, yakni urea tanpa bahan NI sebagai kontrol (N0), limbah daun teh (N1), sabut kelapa (N2), limbah kopi (N3), daun/bunga babandotan (N4), daun kenikir (N5), dan rimpang kunyit (N6). Bahan alami sebagai NI dalam bentuk bahan kering yang telah dihaluskan diaplikasikan bersamaan dengan urea dengan takaran yang sama, yaitu 10 ppm, dan takaran urea 100 ppm.

Analisis Kandungan Bahan Penghambat Nitrifikasi

Semua bahan alami dianalisis kandungan tanin, sulfur, dan polifenol di laboratorium Balai Besar Pascapanen Bogor. Kandungan tersebut diduga sebagai salah satu yang menghambat aktivitas mikroba dalam menghasilkan CH_4 dan N_2O . Hasil analisis terlihat pada Tabel 2.

Inkubasi Tanah dan Pengambilan Gas CH_4 dan N_2O

Contoh tanah sebanyak 20 gram dimasukkan ke dalam gelas inkubasi volume 120 mL bersamaan dengan urea dan bahan NI alami masing-masing dengan takaran 100 dan 10 ppm. Air suling (akuades) sebanyak 40 mL dan 1 batang magnet dimasukkan ke

Tabel 1 Karakteristik tanah inseptisol dan vertisol

Jenis Tanah	Liat (%)	Debu (%)	Pasir (%)	pH (H_2O)	Total C (%)	Total N (%)	C/N	Fe_{std} (ppm)	S_{tot} (%)
Inseptisol	11	48	41	4,52	0,87	0,08	10,88	140	2,28
Vertisol	62	26	12	6,44	1,45	0,10	14,50	40	2,60

Tabel 2 Kandungan tanin, sulfur, dan polifenol yang diduga dapat digunakan sebagai penghambat nitrifikasi di dalam bahan alami

Bahan penghambat nitrifikasi	Tanin %	Sulfur -----ppm-----	Polyphenol
Limbah daun teh (N1)	19,02	66,60	39,45
Sabut Kelapa (N2)	52,42	160,66	20,88
Limbah kopi (N3)	18,88	56,78	29,51
Daun/bunga babandotan (N4)	20,33	49,61	17,38
Daun kenikir (N5)	25,64	59,04	50,38
Rimpang kunyit (N6)	18,24	73,81	27,11

dalam gelas inkubasi. Air ditambahkan untuk membuat kondisi anaerobik pada tanah sehingga diharapkan tercipta metanogenesis dan denitrifikasi berturut-turut sebagai proses pembentukan CH₄ dan N₂O. Gelas ditutup dengan penutup karet, dan dikuatkan dengan lem perekat (silikon) untuk menghindari kebocoran. Setelah itu gelas inkubasi dimasukkan ke dalam inkubator sehari sebelum diambil contoh gasnya. Inkubator diatur pada suhu 30°C.

Setelah 1 hari penggenangan, sampel gas dari gelas inkubasi diambil dengan cara membuka penjepit selang dan gas N₂ dimasukkan ke *headspace* dengan kecepatan 150 mL menit⁻¹ untuk membuat suasana bebas CH₄ dan N₂O pada gelas inkubasi. Gelas inkubasi diletakkan di atas pengocok magnetik selama 2 menit sambil mengalirkan gas N₂, kemudian selang ditutup (Wang *et al.* 1999). Sampel gas diambil dengan menggunakan jarum suntik. Potensial redoks (Eh) tanah diamati dan diukur dengan menggunakan pH-Eh meter yang dihubungkan dengan elektrode platina. Konsentrasi gas dalam jarum suntik tersebut dianalisis dengan gas kromatografi (GC). Konsentrasi gas dihitung pada saat konsentrasi gas pada jam ke 0 (C₀) dan setelah 24 jam (C₂₄).

Perhitungan Data Produksi CH₄, N₂O, dan Potensi Pemanasan Global (GWP)

Laju produksi gas rumah kaca dihitung menggunakan persamaan yang digunakan oleh Susilawati *et al.* (2020), sebagai berikut:

$$E = (C_{24} - C_0) \times \frac{V_h}{20} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{(273,3 + T)} \quad (1)$$

dimana:

- E = produksi CH₄ atau N₂O (mg kg tanah⁻¹ hari⁻¹)
- C₀ = konsentrasi CH₄ atau N₂O pada saat 0 jam (ppm)
- C₂₄ = konsentrasi CH₄ atau N₂O saat 24 jam setelah inkubasi (ppm)
- V_h = volume *headspace* dalam gelas piala inkubasi (mL)
- mW = bobot molekul CH₄ atau N₂O (g)
- mV = volume molekul CH₄ atau N₂O (22,4 l pada suhu dan tekanan standar/STP dalam mol liter⁻¹)
- T = suhu rata-rata inkubator (°C)

Berdasarkan IPCC (2001), nilai GWP 1 kg ha⁻¹ dari N₂O dan CH₄ ialah berturut-turut 296 dan 23 kg ha⁻¹.

Analisis Statistik

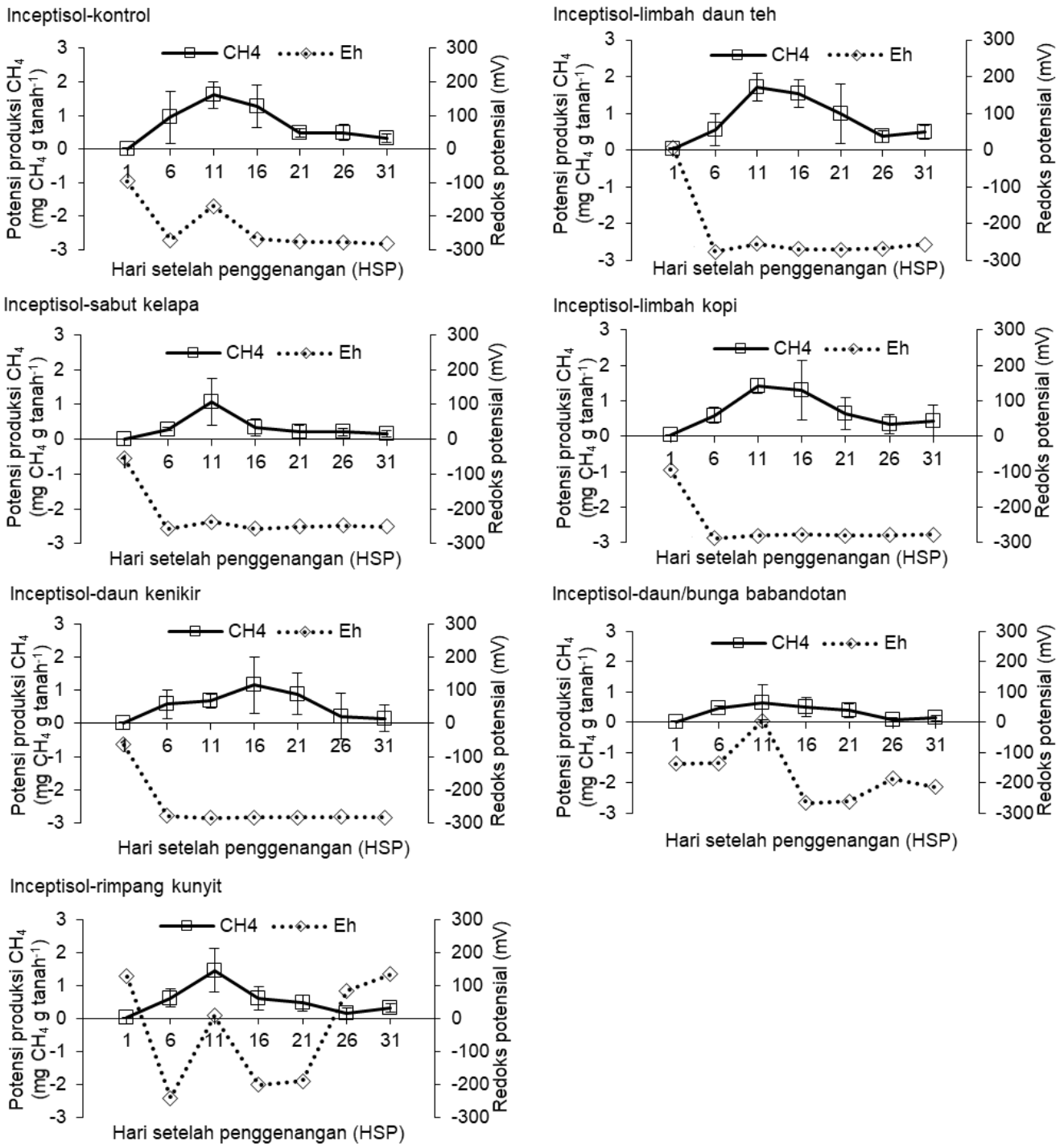
Data yang diperoleh dianalisis dengan program statistik SAS 9.1. Data dianalisis menggunakan sidik ragam untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan; apabila terdapat beda nyata dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan taraf 5% untuk membandingkan nilai tengah perlakuan dari tiga ulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensial Redoks (Eh) dan Hubungannya dengan Potensi Produksi CH₄-N₂O

Potensial redoks (Eh) dan potensi produksi CH₄ dari aplikasi berbagai bahan penghambat nitrifikasi alami pada tanah inseptisol dan vertisol terlihat pada Gambar 1 dan 2. Nilai Eh tanah inseptisol pada perlakuan kontrol berkisar (-95)–(-282) mV sedangkan dengan tambahan bahan NI alami berkisar 134–(-288) mV. Eh pada tanah vertisol bernilai lebih positif dibandingkan pada tanah Inseptisol. Hal ini karena komposisi mineral utama vertisol 2:1 masih memungkinkan ruangan untuk oksigen setelah penggenangan, sehingga kondisinya lebih oksidatif dibandingkan tanah inseptisol (Nursyamsi & Suprihati 2005). Eh pada perlakuan kontrol ialah (-34)–(-157) sedangkan dengan aplikasi bahan nitrifikasi alami berkisar 264–(-167) mV. Potensial redoks berhubungan dengan tekstur dan produksi GRK.

Potensial redoks dan potensi produksi N₂O dari berbagai aplikasi bahan NI alami di tanah inseptisol dan vertisol disajikan pada Gambar 3 dan 4. Pola Eh pada hampir semua perlakuan pada awal penggenangan bernilai positif setelah itu menurun. Eh di tanah Inseptisol hampir pada semua perlakuan berbanding terbalik dengan potensi produksi CH₄. Pada saat nilai Eh turun, potensi produksi CH₄ yang dihasilkan meningkat, demikian sebaliknya. Hal ini sama dengan yang disampaikan oleh Susilawati *et al.* (2015) bahwa produksi CH₄ meningkat dengan menurunnya potensial redoks. Akan tetapi, ini tidak terjadi pada aplikasi rimpang kunyit, yang sangat berfluktuasi. Pada perlakuan kontrol di tanah vertisol, nilai Eh turun tetapi potensi produksi CH₄ yang dihasilkan meningkat. Pada aplikasi bahan nitrifikasi alami di tanah vertisol, perubahan potensial redoks kurang mempengaruhi potensi produksi CH₄ karena produksi CH₄ yang dihasilkan relatif kecil. Berbeda halnya dengan potensi

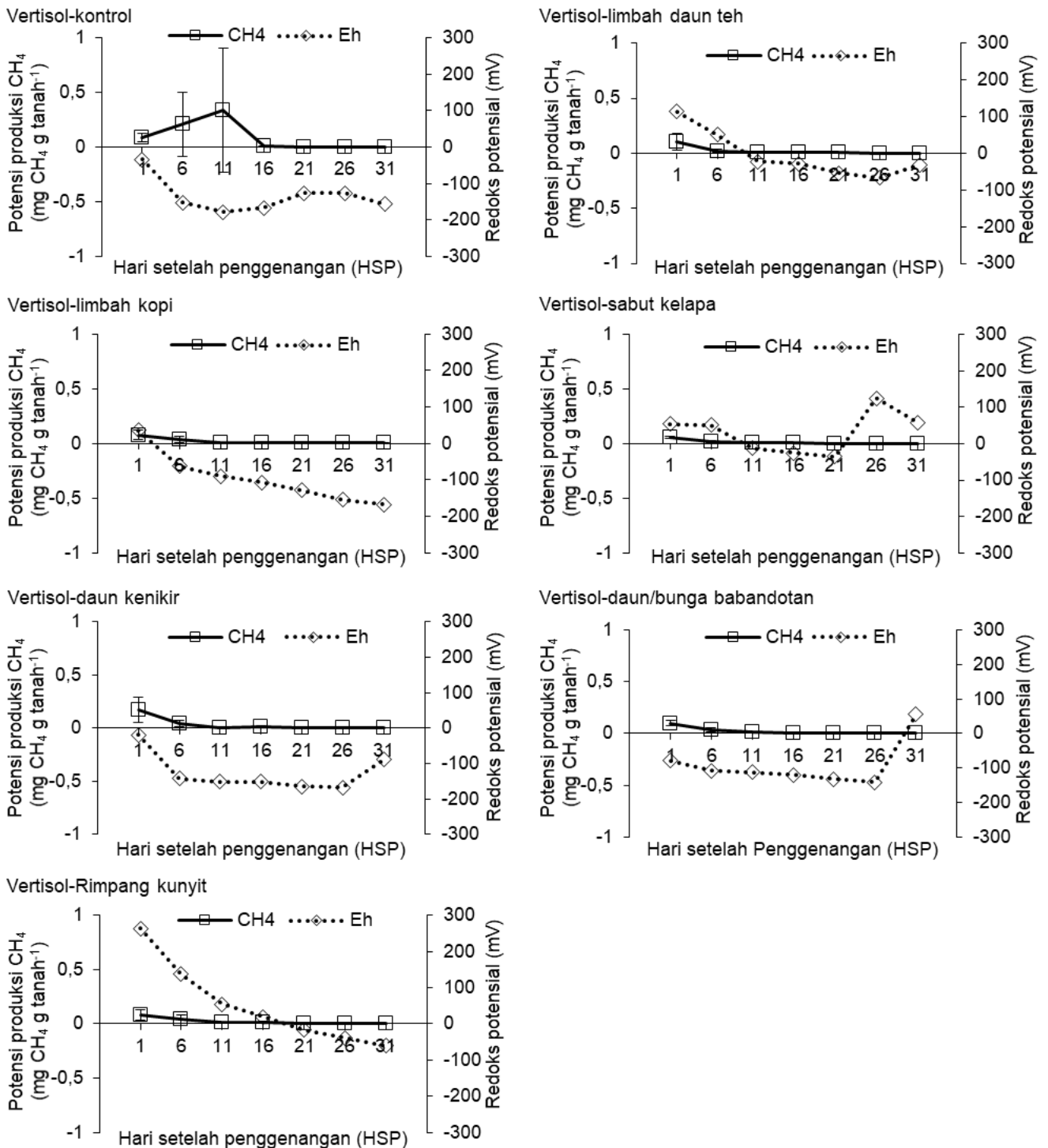


Gambar 1 Potensi produksi CH₄ dan potensial redoks pada tanah inceptisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alam

produksi CH₄, hubungan antara potensial redoks dan potensi produksi N₂O sangat beragam. Hal ini dimungkinkan karena kandungan bahan NI berpengaruh pada proses denitrifikasi dan nitrifikasi, sehingga kondisi reduksi dan oksidasi tidak akan mempengaruhi besarnya produksi N₂O. Akan tetapi, pada akhir pengamatan potensi produksi N₂O hampir di semua perlakuan meningkat baik di tanah inceptisol maupun vertisol.

Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH tanah inceptisol dan vertisol terdapat pada Gambar 5. Pada penelitian ini, pH tanah inceptisol berada dalam kisaran 5,81–6,40 sedangkan pH tanah vertisol adalah 6,57–7,00. Pada umumnya, aktivitas bakteri metanogen optimum pada nilai pH mendekati normal dan bakteri tersebut sangat sensitif terhadap perubahan pH. pH tanah inceptisol lebih rendah daripada pH tanah vertisol. Potensi produksi yang di-



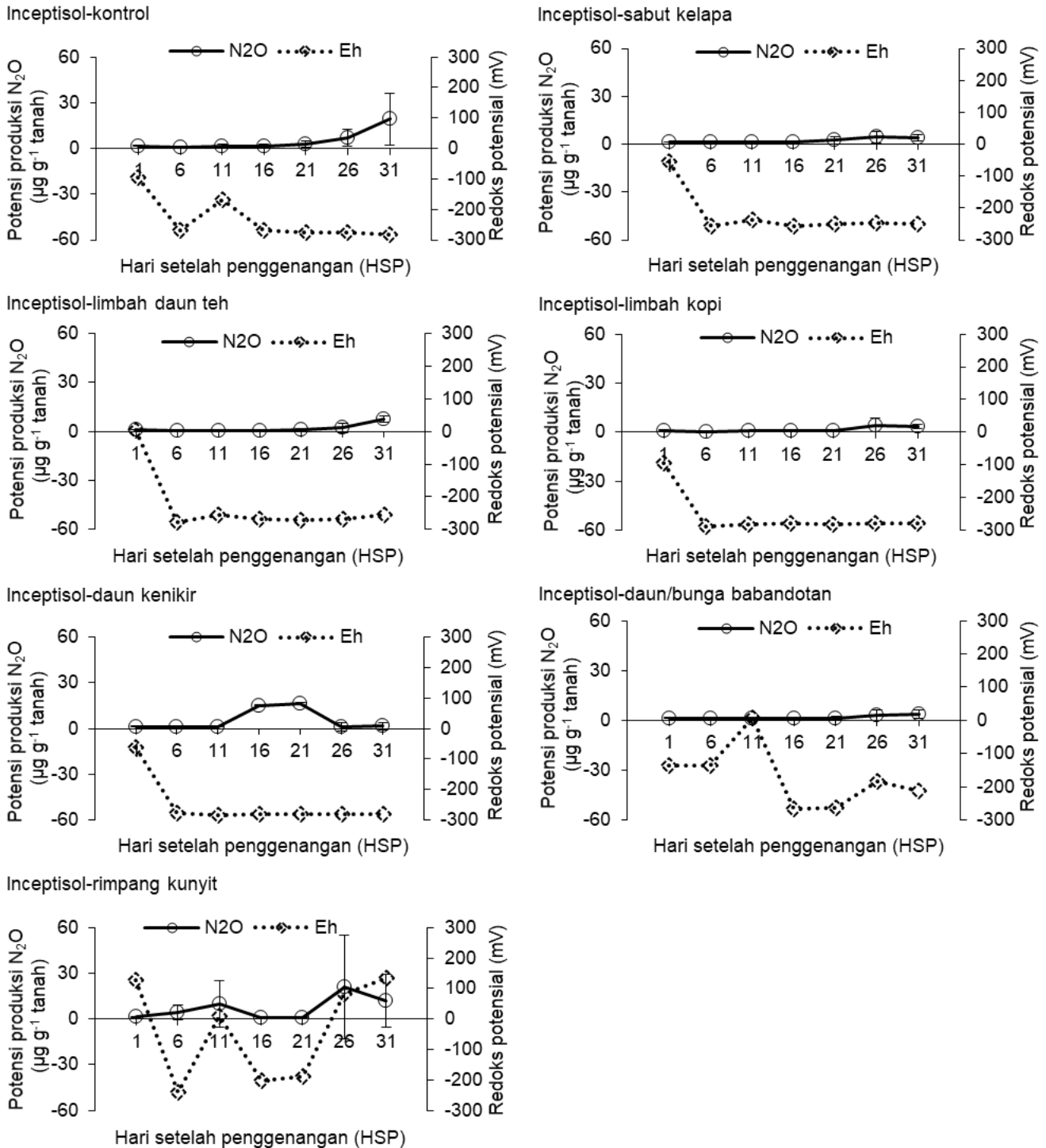
Gambar 2 Potensi produksi CH₄ dan potensial redoks pada tanah vertisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alami

hasilkan pada tanah inseptisol lebih tinggi dibandingkan pada tanah vertisol. Hal ini berkebalikan dengan laporan Neue dan Sass (1994) bahwa produksi CH₄ meningkat dengan meningkatnya kemasaman tanah. Hal ini dapat disebabkan pH bukanlah satu-satunya parameter yang memengaruhi produksi CH₄ dan N₂O. Apabila dibandingkan dengan kontrol, aplikasi bahan penghambat NI alami pada tanah inseptisol dan

vertisol tidak berpengaruh nyata pada kenaikan atau penurunan pH.

Potensi Produksi CH₄ dan N₂O

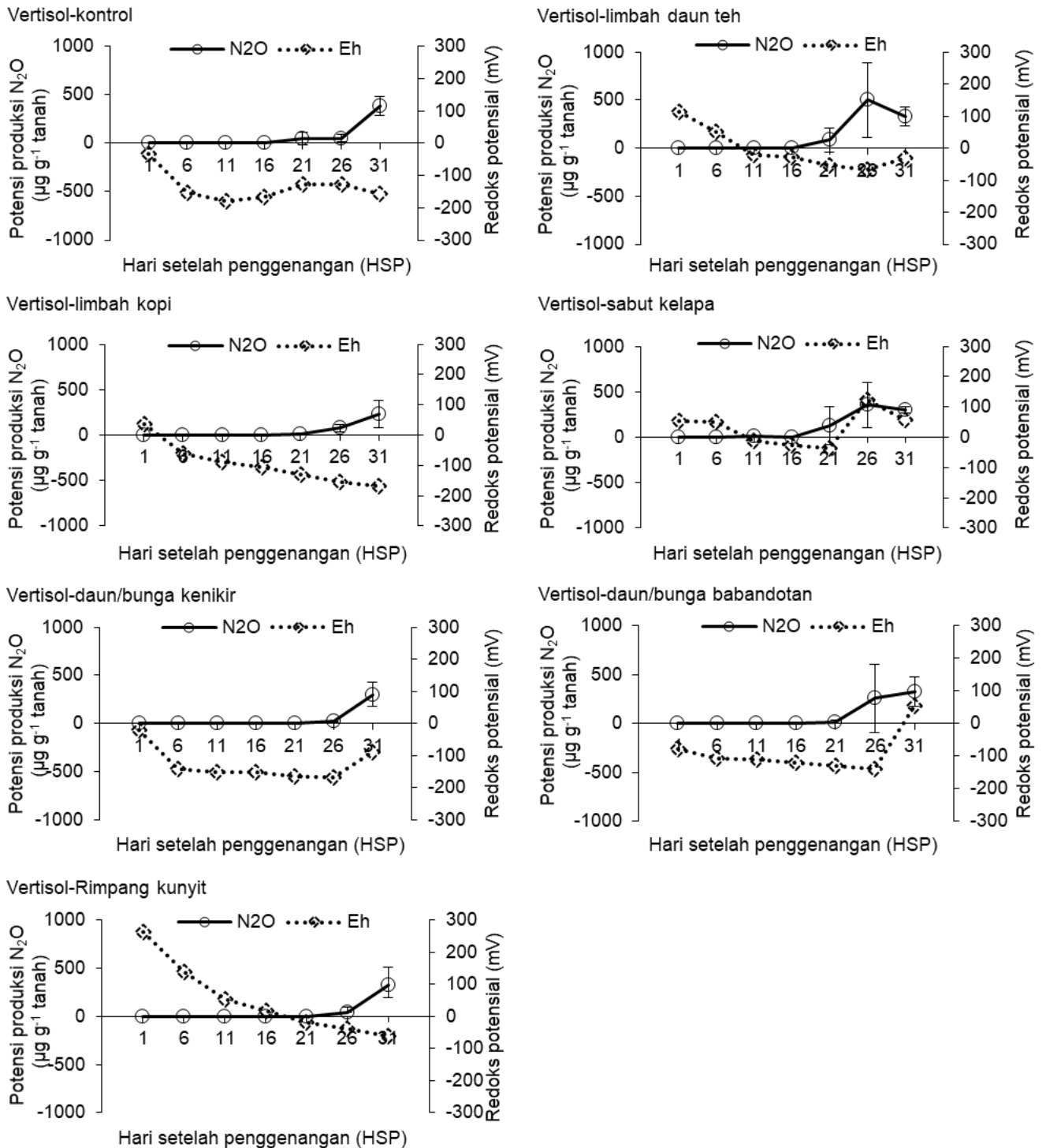
Potensi produksi harian CH₄ dan N₂O dari tanah inseptisol dan vertisol yang telah diberi bahan NI alami terdapat pada Gambar 6. Fluks potensi produksi harian CH₄ dari tanah inseptisol dan vertisol meningkat pada



Gambar 3 Potensi produksi N₂O dan potensial redoks pada tanah inceptisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alami

awal inkubasi dan menurun pada akhir inkubasi. Peningkatan potensi produksi CH₄ diawal inkubasi diduga karena kondisi yang masih oksidatif, yakni masih tersedianya oksigen sebagai sumber respirasi bagi bakteri yang terdapat dalam tanah sehingga CH₄ yang dihasilkan masih sedikit. Selain itu menurut Yao dan Conrad (1999), peningkatan itu disebabkan oleh produksi H₂ oleh fermentasi bakteri. Penurunan potensi produksi di akhir inkubasi serupa dengan yang dijabar-

kan oleh Setyanto (2000), bahwa penurunan tersebut disebabkan oleh bakteri metanogenik yang muncul tidak hanya pada saat setelah kondisi anaerobik tetapi juga pada awal penggenangan. Kondisi anaerobik akan menyebabkan kondisi reduksi. Untuk mengganti tidak tersedianya oksigen maka mikroorganisme menggunakan bahan-bahan tereduksi dalam tanah dan metabolit-metabolit organik sebagai penerima elektron dalam respirasinya (Naharia 2004). Pada

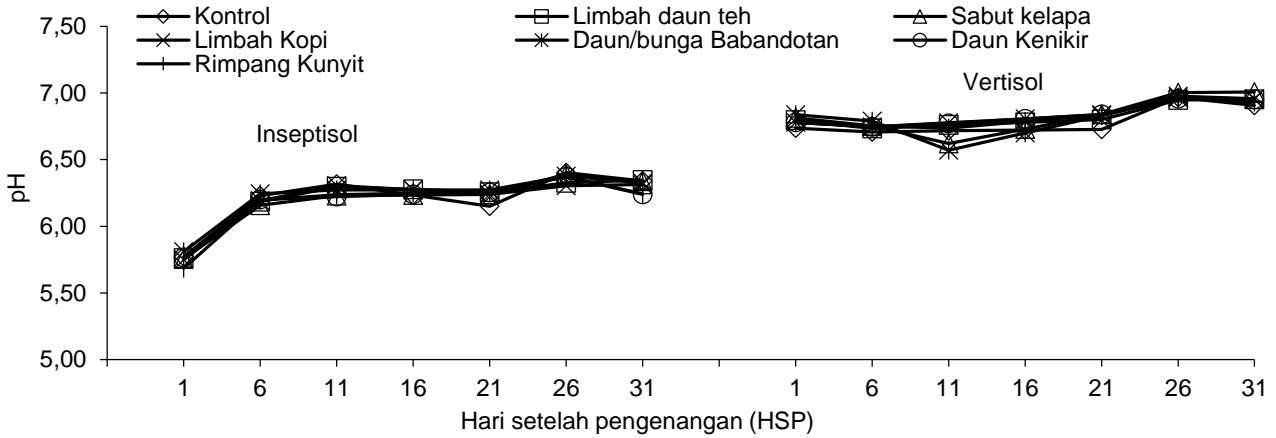


Gambar 4 Potensi produksi N₂O dan potensial redoks pada tanah vertisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alami

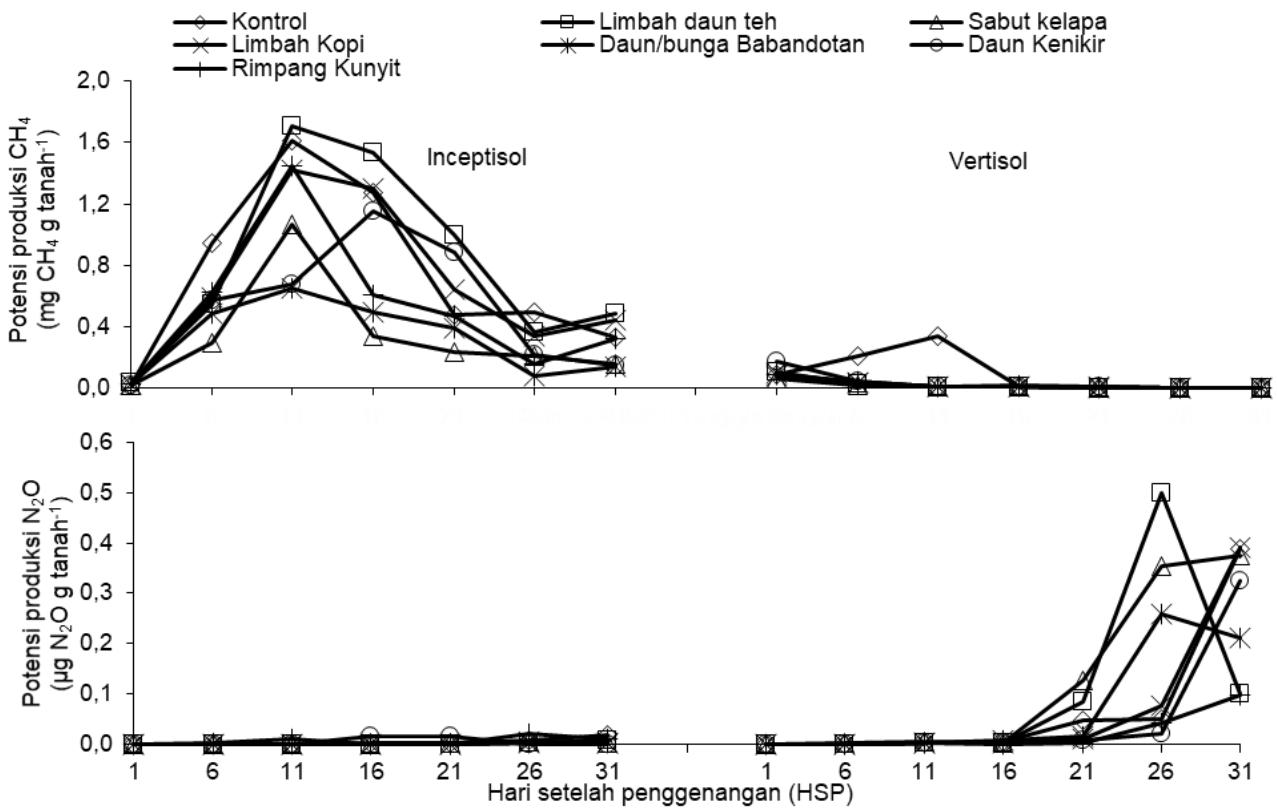
penelitian Setyanto (2000) disebutkan bahwa penurunan potensi produksi CH₄ terjadi setelah 9 hari setelah penggenangan (HSP).

Semua perlakuan menghasilkan potensi produksi CH₄ tertinggi pada 11 HSP di tanah inseptisol kecuali pada aplikasi daun kenikir. Potensi produksi CH₄ tertinggi pada aplikasi daun kenikir terdapat pada 16 HSP. Setelah itu potensi produksi CH₄ di tanah inseptisol pada semua perlakuan menurun sampai akhir. Akan tetapi, potensi produksi CH₄ di tanah vertisol tinggi pada hari pertama setelah penggenangan

dan terus menurun sampai pada akhir kecuali pada kontrol. Potensi produksi CH₄ tertinggi pada kontrol terdapat pada 11 HSP. Potensi produksi CH₄ pada tanah inseptisol lebih tinggi dibandingkan pada tanah vertisol. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan mineral utama pembentuk tanah inseptisol dan vertisol. Pada tanah inseptisol dengan mineral utama halosit yang memungkinkan terdapatnya dua atau lebih antar-lapisan air (*water interlayer*). Setelah penggenangan tanah, molekul-molekul air terikat bersama-sama menurut pola heksagonal, molekul air ini



Gambar 5 Derajat keasaman (pH) pada tanah inseptisol dan vertisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alami

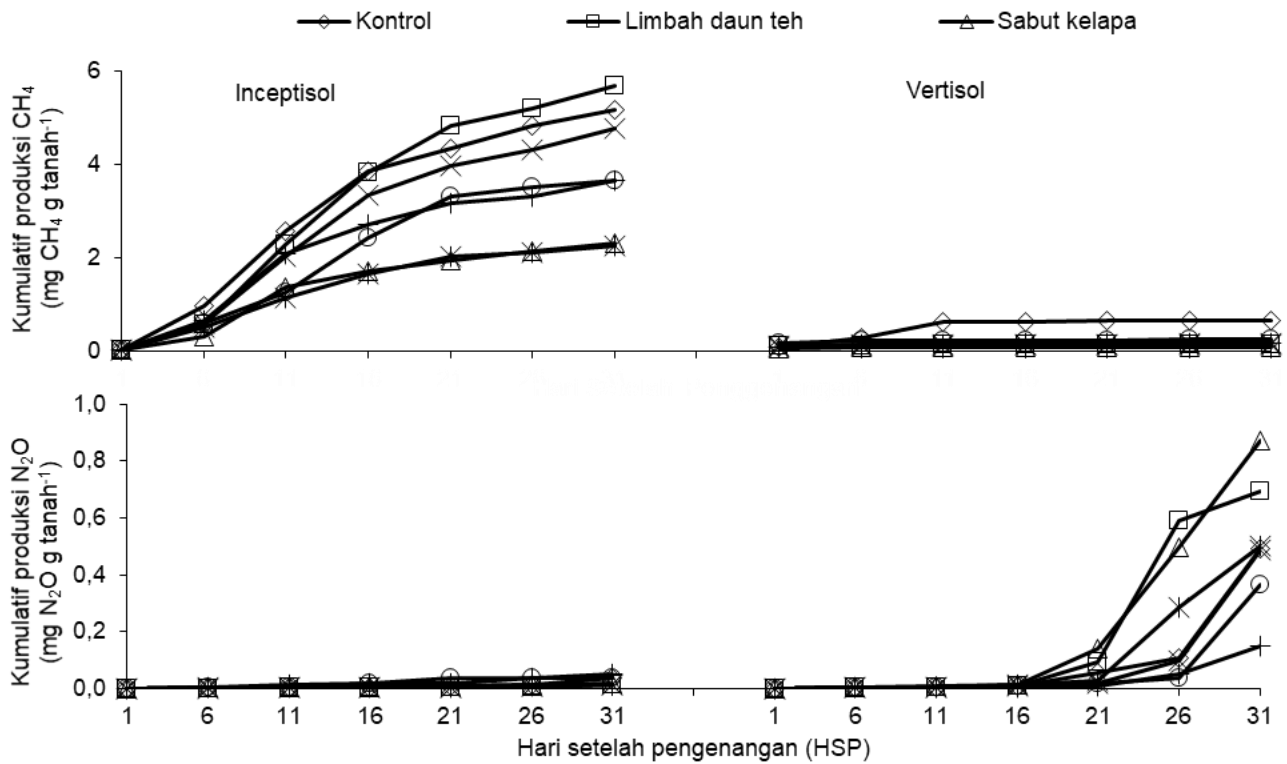


Gambar 6 Potensi produksi CH₄ dan N₂O pada tanah inseptisol dan vertisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alami

selanjutnya terikat dengan lapisan-lapisan kristal melalui ikatan hidrogen. Kondisi ini akan menyebabkan tanah menjadi kondisi reduksi yang memungkinkan produksi CH₄-nya lebih tinggi (Susilawati *et al.* 2015). Potensi produksi N₂O pada tanah inseptisol dan vertisol berkebalikan dengan CH₄. Hal ini sejalan dengan penelitian Wassman (2004), bahwa pola emisi N₂O pada umumnya bertolak belakang dengan emisi CH₄. Potensi produksi N₂O pada tanah inseptisol pada semua perlakuan lebih rendah daripada potensi produksi N₂O di tanah vertisol. Hal ini karena tanah inseptisol mempunyai ikatan antar-lapisan yang relatif lemah dan mempunyai ruang antar-lapisan yang memungkinkan untuk menyerap dan memfiksasi senyawa

organik yang terdapat dalam bahan alami sehingga kandungan bahan alami tersebut dapat menghambat proses nitrifikasi. Potensi produksi N₂O pada awal penggenangan sampai dengan 16 HSP di tanah vertisol terlihat sangat rendah dan setelah itu mulai naik. Pada akhir penggenangan masih terdapat potensi produksi N₂O dari aplikasi beberapa bahan penghambat nitrifikasi yang terlihat naik kecuali pada daun/bunga babandotan dan sabut kelapa.

Gambar 7 memperlihatkan kumulatif dari produksi CH₄ dan N₂O. Kumulatif dari potensi produksi CH₄ di tanah inseptisol tertinggi terlihat pada limbah daun teh diikuti kontrol, limbah kopi, daun kenikir, rimpang kunyit, sabut kelapa, dan daun/bunga babandotan.



Gambar 7 Kumulatif produksi CH₄ dan N₂O pada tanah inceptisol dan vertisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alami

Selain limbah daun teh, tambahan bahan nitrifikasi mampu menekan potensi produksi CH₄ di tanah inceptisol sedangkan di tanah vertisol semua aplikasi bahan penghambat nitrifikasi mampu menekan emisi CH₄. Hal ini diduga bahwa bahan alami yang mengandung metabolit sekunder berupa polifenol atau lemak tak jenuh tertentu yang dapat bertindak sebagai penghambat nitrifikasi dengan cara menghambat kerja bakteri dalam pembentukan CH₄ dan mempertahankan nitrogen dalam bentuk NH₄⁺. Menurut Wihardjaka *et al.* (2012), tannin dan polifenol dapat menghambat kerja bakteri metanogen. Kumulatif potensi produksi N₂O pada tanah inceptisol lebih rendah daripada pada tanah vertisol. Pada tanah inceptisol, aplikasi rimpang kunyit dan daun kenikir menghasilkan kumulatif potensi produksi lebih besar daripada kontrol akan tetapi pada tanah vertisol kedua bahan alami tersebut mampu menekan produksi N₂O. Kandungan C total yang tinggi pada tanah vertisol dimungkinkan dapat menekan atau menghambat potensi produksi karena kandungan polifenol yang tinggi yang terdapat di kedua bahan alami tersebut sehingga mampu mengoksidasi amonia menjadi nitrit (Ishikawa 1998). Berbeda dengan tanah inceptisol yang kandungan C totalnya rendah, penurunan tidak terjadi. Reduksi NO₃⁻ menjadi NO₂⁻, N₂O menjadi N₂, Mn⁴⁺ menjadi Mn²⁺, Fe³⁺ menjadi Fe²⁺, SO₄²⁻ menjadi S²⁻, dan CO₂ menjadi CH₄ dapat terjadi jika bahan organik-C tersedia (Wang *et al.* 1993).

Produksi CH₄ dan N₂O dari aplikasi bahan penghambat nitrifikasi alami terlihat pada Tabel 3. Rata-rata produksi CH₄ yang mampu ditekan di tanah inceptisol berbeda nyata satu dengan yang lain. Nilai tertinggi terlihat pada aplikasi limbah daun teh adalah 0,810 mg

diikuti oleh kontrol, limbah kopi, daun kenikir, rimpang kunyit, sabut kelapa, dan daun/bunga babandotan dengan nilai berturut-turut 0,737; 0,680; 0,637; 0,520; 0,329 dan 0,323 mg CH₄ g tanah⁻¹. Dibandingkan dengan kontrol, aplikasi limbah daun teh meningkatkan rata-rata 9,9% produksi CH₄ yang disebabkan oleh asam-asam organik dan protein atau asam amino yang merupakan sumber energi bagi bakteri metanogen, sedangkan aplikasi limbah kopi, daun kenikir, rimpang kunyit, sabut kelapa, dan daun/bunga babandotan mampu menekan produksi CH₄ masing-masing 7,7%; 13,6%; 29,4%; 55,6% dan 56,2%. Semua aplikasi bahan nitrifikasi alami di tanah vertisol mampu menekan rata-rata produksi CH₄ dibandingkan dengan kontrol. Potensi produksi rata-rata terendah pada tanah Inceptisol adalah dari limbah kopi adalah 1,76 µg N₂O g tanah⁻¹ diikuti daun/bunga babandotan, limbah daun teh, sabut kelapa, rimpang kunyit, dan daun kenikir masing-masing 1,79; 2,0; 2,3; 5,0; 7,2 dan 7,7 µg N₂O g tanah⁻¹. Penurunan produksi N₂O di tanah inceptisol dari limbah kopi, daun/bunga babandotan, limbah daun teh, sabut kelapa berturut-turut 54,6%; 60,7%; 64,2%; dan 64,8% dibandingkan dengan kontrol. Potensi produksi rata-rata terendah pada vertisol terdapat pada aplikasi limbah kopi adalah 42,5 µg N₂O g tanah⁻¹ diikuti oleh daun kenikir, rimpang kunyit, kontrol, daun/bunga babandotan, sabut kelapa, dan limbah daun teh masing-masing 48,4; 54,2; 70,7; 87,2; 113,6; dan 131,2 µg N₂O g tanah⁻¹.

Potensi produksi N₂O sangat dipengaruhi oleh jenis tanah tetapi tidak dipengaruhi oleh aplikasi bahan alami. Rata-rata potensi produksi CH₄ di tanah Inceptisol lebih besar dibandingkan pada vertisol,

Tabel 3 Potensi produksi CH₄, N₂O dan potensi pemanasan global (GWP) pada tanah inseptisol dan vertisol dengan berbagai perlakuan aplikasi bahan nitrifikasi alami

Jenis Tanah	Bahan NI	CH ₄	N ₂ O	GWP
		mg CH ₄ /g tanah	µg N ₂ O/g tanah	g CO ₂ -eq
Inseptisol	Kontrol	0,737 ab ± 0,2641	5,0 f ± 1,35	0,018 dc ± 0,0060
	Limbah daun teh	0,810 ab ± 0,2075	2,0 fe ± 0,86	0,019 dc ± 0,0050
	Sabut kelapa	0,329 dc ± 0,1565	2,3 f ± 0,91	0,008 d ± 0,0034
	Limbah kopi	0,680 ab ± 0,2901	1,8 f ± 0,84	0,016 dc ± 0,0069
	Daun/bunga babandotan	0,323 dc ± 0,1277	1,8 f ± 0,79	0,008 d ± 0,0027
	Daun kenikir	0,637 ab ± 0,2824	7,7 fe ± 10,52	0,016 dc ± 0,0065
Vertisol	Rimpang kunyit	0,520 bc ± 0,1008	7,2 fe ± 1,97	0,014 dc ± 0,0017
	Kontrol	0,093 de ± 0,1294	70,5 cd ± 8,02	0,023 bc ± 0,0045
	Limbah daun teh	0,021 e ± 0,0106	131,2 a ± 54,96	0,039 a ± 0,0164
	Sabut kelapa	0,013 e ± 0,0040	113,6 ab ± 58,46	0,034 ab ± 0,0173
	Limbah kopi	0,020 e ± 0,0036	42,5 dfe ± 13,77	0,014 dc ± 0,0042
	Daun/bunga babandotan	0,023 e ± 0,0049	87,2 bc ± 37,27	0,026 bc ± 0,0111
Anova	Daun kenikir	0,035 e ± 0,0129	48,4 dce ± 19,54	0,015 dc ± 0,0058
	Rimpang kunyit	0,024 e ± 0,0124	54,2 dc ± 31,97	0,017 dc ± 0,0092
	Jenis tanah	**	**	**
	Bahan NI	*	NS	*
	Interaksi	NS	*	**

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%

* : signifikan pada taraf uji 5%

** : signifikan pada taraf uji 1%

NS : tidak signifikan

meskipun potensi produksi N₂O berkebalikan dengan potensi produksi CH₄. Potensi produksi N₂O yang dihasilkan oleh tanah inseptisol lebih kecil daripada tanah vertisol. Pada tanah inseptisol, aplikasi daun kenikir dan rimpang kunyit menghasilkan potensi produksi N₂O rata-rata lebih besar daripada kontrol dengan nilai masing-masing 7,7 dan 7,2 µg N₂O g tanah⁻¹ sedangkan aplikasi sabut kelapa, limbah daun teh, daun/ bunga babandotan, dan limbah kopi, mampu menekan produksi N₂O berturut-turut 56,1%; 60,7%; 64,2% dan 64,8% dengan nilai masing-masing 2,3; 2,0; 1,79 dan 1,76 µg N₂O g tanah⁻¹. Pada tanah vertisol tidak semua bahan mampu menurunkan produksi N₂O. Yang mampu menurunkan produksi N₂O rata-rata adalah rimpang kunyit, daun kenikir, dan limbah kopi dengan penurunan berturut-turut 23,2%; 31,4% dan 39,8% dengan nilai 54,2; 48,4 dan 42,5 µg N₂O g tanah⁻¹. Kandungan polifenol dalam tanah dapat menghambat aktivitas bakteri nitrifikasi dan bakteri denitrifikasi.

Potensi pemanasan global dari aplikasi redoks bahan penghambat nitrifikasi alami tertinggi di tanah Inseptisol terlihat pada aplikasi limbah daun teh diikuti oleh kontrol, aplikasi daun kenikir, limbah kopi, rimpang kunyit, sabut kelapa, dan daun/bunga babandotan dengan nilai GWP masing-masing 0,019; 0,018; 0,0163; 0,0161; 0,014; 0,0088, dan 0,0080 g CO₂-eq. Bahan alami yang dapat menurunkan GWP di tanah Inseptisol adalah aplikasi daun kenikir, limbah kopi, rimpang kunyit, sabut kelapa, dan daun/bunga babandotan berturut-turut 11,8%; 12,5%; 23,7%; 55,3%; dan 56,8%. Pada tanah Vertisol, GWP tertinggi dihasilkan dari aplikasi limbah daun teh disusul sabut kelapa, daun/bunga babandotan, kontrol, rimpang kunyit, dan daun kenikir dengan nilai masing-masing 0,039; 0,034; 0,026; 0,023; 0,017; dan 0,015 g CO₂-eq.

Bahan penghambat nitrifikasi alami yang mampu menurunkan nilai GWP di tanah vertisol adalah rimpang kunyit, daun kenikir, dan limbah kopi dengan persentase berturut-turut 27,8%; 34,2%; dan 37,7%. Hal ini karena keragaman peran bahan alami dalam menghambat nitrifikasi dengan menurunkan produksi metana dan dinitrogen oksida akibat pengaruh kandungan senyawa tertentu dalam bahan alami tersebut terutama kandungan polifenol berupa tanin, lipid, dan sulfur. Kandungan senyawa-senyawa tersebut diduga menghambat aktivitas mikrob yang mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat pada proses nitrifikasi, dan menghambat aktivitas mikrob metanogen dalam menghasilkan gas metana (Ishikawa 1998; Wassman *et al.* 2000).

KESIMPULAN

Berdasarkan aplikasi bahan alami yang digunakan sebagai NI di tanah inseptisol dan vertisol, produksi CH₄ dipengaruhi oleh aplikasi bahan alami NI dan jenis tanah, sedangkan produksi N₂O dipengaruhi oleh interaksi bahan alami NI dan jenis tanah. Kandungan metabolit sekunder dalam bahan NI alami dan sifat fisika dan kimia tanah berpengaruh pada potensi produksi CH₄ dan N₂O. Penurunan GWP di tanah inseptisol tertinggi dihasilkan oleh aplikasi daun/bunga babandotan ialah 56,8% diikuti oleh aplikasi sabut kelapa, rimpang kunyit, limbah kopi, dan daun kenikir berturut-turut 55,3; 23,7; 12,5; dan 11,8%. Sementara itu, di tanah vertisol penurunan GWP tertinggi dijumpai pada aplikasi daun kenikir dan rimpang kunyit masing-masing 34,2 dan 27,8%. Kandungan senyawa dalam NI alami dapat menurunkan emisi GRK (CH₄ dan N₂O) untuk tanah yang memiliki potensi emisi GRK tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi atas dukungan dana sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Terima kasih kepada peneliti dan teknisi Emisi dan Absorpsi Gas Rumah Kaca, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian atas bantuannya dalam pelaksanaan kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Braatz BV, Hogan KB. 1997. *Sustainable Rice Productivity and Methane Reduction Research Plan*. U.S: Environmental Protection Agency
- Byrne MP, Tobin JT, Forrestal PJ, Danaher M, Nkwonta CG, Richards K, Cummins E, Hogan SA, O'Callaghan TF. 2020. Urease and nitrification inhibitors—as mitigation tools for greenhouse gas emissions in sustainable dairy systems: a review. *Sustainability*. 12: 6018. <https://doi.org/10.3390/su12156018>
- Darmawidjaya ML. 1992. *Klasifikasi Tanah. Dasar Teori Bagi Peneliti dan Pelaksana Pertanian di Indonesia*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Hartmann TE, Guzman-Bustamante I, Ruser R, Müller T. 2020. Turnover of urea in a soil from the North China Plain as affected by the urease inhibitor NBPT and wheat straw. *Agronomy*. 10: 857. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060857>
- IFA. 2019. International Fertilizer Association [internet] [diunduh 2019 September 11]. Tersedia pada <https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>.
- Ishikawa T. 1998. Suppression of nitrification and nitrous oxide emission by a tropical grass. *JIRCAS 1998 Annual Report*. p.5.
- Knowles R. 1979. Denitrification, acetylene reduction, and methane metabolism in lake sediment exposed to acetylene. *Applied and Environmental Microbiology*. 38: 486–493. <https://doi.org/10.1128/aem.38.3.486-493.1979>
- McTaggart IP, Clayton H, Parker J, Swan L, Smith KA. 1997. Nitrous oxide emissions from grassland and spring barley following N fertilizer application with and without nitrification inhibitors. *Biology and Fertility of Soils*. 25: 261–268. <https://doi.org/10.1007/s003740050312>
- Mosier AR, Duxbury JM, Freney JR, Heinemeyer O, Minami K. 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: assessment, measurement and mitigation. *Plant and Soil*. 181: 95–108. <https://doi.org/10.1007/BF00011296>
- Naharia O. 2004. Teknologi pengairan dan pengolahan tanah pada budidaya padi sawah untuk mitigasi gas metana (CH₄). Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana IPB.
- Neue HU, Sass RL. 1994. Trace gas emission from rice fields. *Global Atmospheric-Biospheric Chemistry*, 119–147. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2524-0_8
- Nursyamsi D, Suprihati. 2005. Sifat-sifat Kimia dan Mineralogi Tanah serta Kaitannya dengan Kebutuhan Pupuk untuk Padi (*Oryza sativa*), Jagung (*Zea mays*), dan Kedelai (*Glycine max*). *Buletin Agronomi*. 33(3): 40–47.
- Puslittanak. 2000. *Atlas Sumberdaya Tanah Eksplorasi Indonesia skala 1:1.000.000*. Bogor (ID): Puslittanak, Badan Litbang Pertanian.
- Setyanto P, Makarim AK, Fagi AM, Wassmann R, Buendia LV. 2000. Crop management practices affecting methane emissions from irrigated and rainfed rice in Central Java, Indonesia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58: 85–95. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0898-3_8
- Skiba U, Smith KA, Fowler D. 1993. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in a sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 25: 1527–1536. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90007-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90007-X)
- Susilawati HL, Setyanto P, Makarim AK, Ariani M, Ito K, Inubushi K. 2015. Effects of steel slag applications on CH₄, N₂O and the yields of Indonesian rice fields: a case study during two consecutive rice-growing seasons at two sites. *Soil Science and Plant Nutrition*. 61: 704–718. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1041861>
- Susilawati HL, Wihardjaka A, Setyanto P. 2020. Methane and nitrous oxide productions affected by natural nitrification inhibitors under different soil types. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 423 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/423/1/012050>
- Thomas J, Prasad R. 1982. Studies on mineralization of neem and sulfur coated and N-serve treated urea. *Fertilizer News*. 27: 39–53.
- Topp E, Knowles R. 1984. Effect of nitrapyrin [2-chloro-6(tricloromethyl)pyridine] on the obligate methanotroph methylosinus trichosporium OB3b. *Applied and Environmental Microbiology*. 47: 258–262. <https://doi.org/10.1128/aem.47.2.258-262.1984>
- Upadhyay RK, Patra DD, Tewari SK. 2011. Natural nitrification inhibitors for higher nitrogen use efficiency, crop yield, and for curtailing global warming. *Journal of Tropical Agriculture*. 49 (1–2): 19–24.

- Wang B, Xu Y, Wang Z, Li Z, Ding Y, Guo Y. 1999. Methane production potentials of twenty-eight rice soils in China. *Biology and Fertility of Soils*. 29: 74–80. <https://doi.org/10.1007/s003740050527>
- Wang Z, Lindau CW, DeLaune RD, Jr. Patrick HW. 1993. Methane emission and entrapment in flooded rice soils as affected by soil properties. *Biology and Fertility of Soils*. 16: 163–168. <https://doi.org/10.1007/BF00361401>
- Wassmann R, Lantin RS, Neue HU, Buendia LV, Corton TM, Lu Y. 2000. Characterization of Methane Emissions from Rice Fields in Asia. III. Mitigation Option and Future Research Needs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58: 23–36. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0898-3_3
- Wassmann R, Neue HU, Ladha JK, Aulakh MS. 2004. Mitigating greenhouse gas emissions from rice–wheat cropping systems in Asia. *Journal of Environment and Sustainable Development*. 6: 65–90. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3604-6_4
- Wihardjaka A, Tandjung SD, Sunarminto BH, Sugiharto E. 2012. Methane emission from direct seeded rice under the influences of rice straw and nitrification inhibitor. *Indonesian Journal of Agricultural Science*. 13(1): 1–11. <https://doi.org/10.21082/ijas.v13n1.2012.p1-11>
- Willison TW, Webster CP, Goulding KWT, Powlson DS. 1995. Methane oxidation in temperate soils: Effects of land use and the chemical form of nitrogen fertilizer. *Chemosphere*. 30: 539–546. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)00416-R](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)00416-R)
- Yang Y, Zhang M, Li Y, Fan X, Geng Y. 2012. Controlled Release Urea Improved Nitrogen Use Efficiency, Activities of Leaf Enzymes, and Rice Yield. *Soil Science Society of America Journal*. 76(6): 2307. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0173>
- Yao H, Conrad R. 1999. Thermodynamics of methane production in different rice paddy soils from China, the Philippines and Italy. *Soil Biology and Biochemistry*. 31: 463–473. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00152-7)