

SKRIPSI

**DINAMIKA EMISI N₂O PADA LAHAN PADI SAWAH DENGAN
VARIASI PEMUPUKAN DAN SISTEM PENGELOLAAN AIR
DI DESA DEMAKAN, KECAMATAN MOJOLABAN
SUKOHARJO**



Oleh :
Maria Niken Puri Andari
H 0708124

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2012**

commit to user

**DINAMIKA EMISI N₂O PADA LAHAN PADI SAWAH DENGAN
VARIASI PEMUPUKAN DAN SISTEM PENGELOLAAN AIR
DI DESA DEMAKAN, KECAMATAN MOJOLABAN
SUKOHARJO**

SKRIPSI

**untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna memperoleh derajat Sarjana Pertanian
di Fakultas Pertanian
Universitas Sebelas Maret**



**Oleh :
Maria Niken Puri Andari
H 0708124**

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2012**

commit to user

SKRIPSI

**DINAMIKA EMISI N₂O PADA LAHAN PADI SAWAH DENGAN
VARIASI PEMUPUKAN DAN SISTEM PENGELOLAAN AIR
DI DESA DEMAKAN, KECAMATAN MOJOLABAN,
SUKOHARJO**

Maria Niken Puri Andari
H 0708124

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Prof. Dr. Ir. Purwanto, MS
NIP 19520511 198203 1 002

Ir. Djoko Mursito, MP
NIP 19481202 197811 1 001

Surakarta, Oktober 2012
Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Sebelas Maret

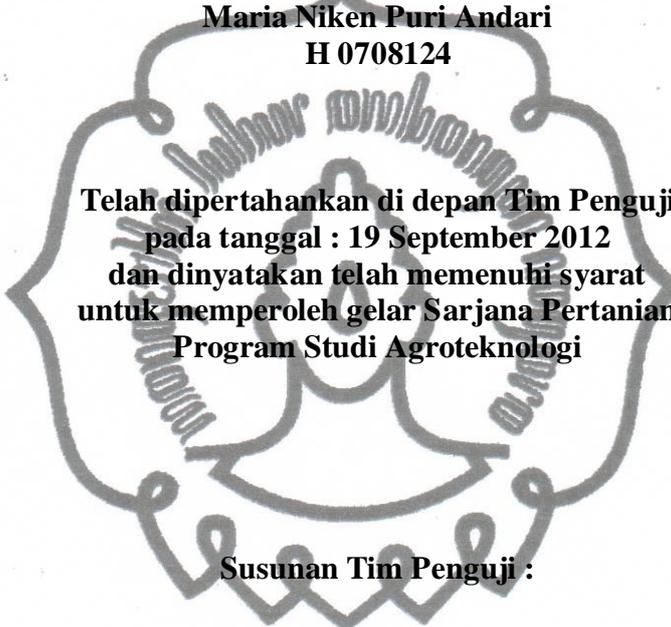
Prof. Dr. Ir. Bambang Pujiasmanto, MS
NIP 19560225 198601 1 001

commit to user

SKRIPSI

**DINAMIKA EMISI N₂O PADA LAHAN PADI SAWAH DENGAN
VARIASI PEMUPUKAN DAN SISTEM PENGELOLAAN AIR
DI DESA DEMAKAN, KECAMATAN MOJOLABAN,
SUKOHARJO**

yang dipersiapkan dan disusun oleh
Maria Niken Puri Andari
H 0708124



Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal : 19 September 2012
dan dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian
Program Studi Agroteknologi

Susunan Tim Penguji :

Ketua

Anggota I

Anggota II

Prof.Dr.Ir. Purwanto,MS
NIP 195205111982031002

Ir. Djoko Mursito,MP
NIP 194812021978111001

Prof.Dr.Ir.S. Minardi,MP
NIP 195107241976111001

commit to user

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yesus Kristus yang telah melimpahkan segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan skripsi ini. Dalam penulisan skripsi ini tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Pujiasmanto, M.S., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Prof. Dr. Ir. Purwanto, M.S, selaku pembimbing utama yang telah memberikan banyak arahan, masukan, saran, ide dan nasehat untuk penulisan skripsi ini.
3. Ir. Djoko Mursito, M.P, selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan koreksi, bimbingan dan saran dalam penulisan skripsi ini.
4. Prof. Dr. Ir. S. Minardi, M.P, selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasehat selama masa perkuliahan.
5. Ibunda dan Ayahanda tercinta, yang telah memberikan kasih sayang yang tak terhingga, doa, nasehat, dan dukungan.
6. Teman-temanku seperjuangan Agroteknologi Angkatan 2008 (*Soulmated*) atas kebersamaan yang telah kita lalui dengan penuh suka dan duka.
7. Segenap Laboran di Laboratorium Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan analisis laboratorium.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan agar dapat lebih baik. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Surakarta, Oktober 2012

Penulis

commit to user

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Emisi Gas N ₂ O pada Lahan Pertanian	5
B. Nitrifikasi dan Denitrifikasi pada Tanah Sawah	6
C. Tanaman Padi (<i>Oryza sativa</i> L.)	8
D. Tanah Sawah	11
E. Pemupukan pada Padi Sawah	12
F. Pengelolaan Air (sistem pengairan) pada Budidaya Padi Sawah	14
III. METODE PENELITIAN	16
A. Tempat dan Waktu Penelitian	16
B. Bahan dan Alat Penelitian	16
C. Perancangan Penelitian dan Analisis Data	16
D. Pelaksanaan Penelitian	18
E. Pengamatan Peubah	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
A. Kondisi Umum Lokasi Penelitian	25
B. Analisis Tanah Awal	26
C. Pengaruh Perlakuan terhadap Dinamika Emisi Gas N ₂ O	27

D. Pengaruh Perlakuan terhadap Hubungan Kandungan Nitrogen Total Tanah dan Dinamika Emisi Gas N ₂ O.....	32
E. Pengaruh Perlakuan terhadap NH ₄ ⁺ dan NO ₃ ⁻ Tanah dan Hubungannya dengan Dinamika Emisi Gas N ₂ O.....	41
F. Pengaruh Perlakuan terhadap Reaksi Tanah (pH) dan Potensial Redoks Tanah (Eh) dan Hubungannya dengan Dinamika Emisi Gas N ₂ O.....	53
G. Pengaruh Perlakuan terhadap Hubungan Produksi Padi dan Dinamika Emisi Gas N ₂ O.....	61
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
A. Kesimpulan.....	72
B. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Nomor	Judul dalam Teks	Halaman
1	Kombinasi Perlakuan.....	17
2	Pola pengaturan air pada lahan sawah dengan metode SRI.....	19
3	Pola pengaturan air pada lahan sawah secara konvensional.....	19
4	Penentuan waktu dan dosis pemupukan.....	20
5	Hasil analisis tanah awal	26
6	Hubungan perlakuan pemupukan terhadap rata-rata N-total tanah	36
7	Hubungan perlakuan pemupukan terhadap rata-rata N-NO ₃ ⁻ 7 hari setelah panen.....	44
8	Hubungan perlakuan pemupukan terhadap rata-rata tinggi tanaman akhir sebelum panen	63
Judul dalam Lampiran		
9	Metode analisis dan pengukuran peubah yang diamati.....	81
10	Rumusan masalah penelitian.....	83
11	Perhitungan kebutuhan pupuk.....	85
12	Perhitungan penentuan dosis pupuk.....	86

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul dalam Teks	Halaman
1	Dinamika fluks emisi gas N ₂ O saat sebelum tanam, 22 HST, 43 HST, 65 HST dan setelah panen pada setiap perlakuan.....	28
2	Dinamika N-total tanah saat sebelum tanam, 22 HST, 43 HST, 65 HST dan setelah panen pada setiap perlakuan.....	34
3	Kandungan N-total tanah dan dinamika emisi gas N ₂ O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST	38
4	Dinamika N-Nitrat tanah saat sebelum tanam, 22 HST, 43 HST, 65 HST dan setelah panen pada setiap perlakuan.....	42
5	Kandungan N- NO ₃ ⁻ tanah dan dinamika emisi gas N ₂ O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.....	46
6	Dinamika N-Amonium tanah saat sebelum tanam, 22 HST, 43 HST, 65 HST dan setelah panen pada setiap perlakuan.....	49
7	Kandungan N- NH ₄ ⁺ tanah dan dinamika emisi gas N ₂ O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.....	51
8	Dinamika pH tanah saat sebelum tanam, 22 HST, 43 HST, 65 HST dan setelah panen pada setiap perlakuan.....	54
9	pH tanah dan dinamika emisi gas N ₂ O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.....	55
10	Dinamika Eh tanah saat sebelum tanam, 22 HST, 43 HST, 65 HST dan setelah panen pada setiap perlakuan.....	57
11	Potensial redoks (Eh) tanah dan dinamika emisi gas N ₂ O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.....	59
12	Rata-rata tinggi tanaman akhir menjelang panen pada masing-masing perlakuan.....	62
13	Rata-rata berat gabah kering panen pada masing-masing perlakuan...	64
14	Berat gabah kering panen dan dinamika total emisi gas N ₂ O selama satu periode tanam padi.....	65
15	Rata-rata berat gabah kering giling pada masing-masing perlakuan...	69
16	Berat gabah kering giling dan dinamika total emisi gas N ₂ O selama	70

satu periode tanam padi.....

Judul dalam Lampiran

17	Kerangka berpikir penelitian	80
18	Denah petak percobaan di lapangan.....	101



commit to user

RINGKASAN

DINAMIKA EMISI N₂O PADA LAHAN PADI SAWAH DENGAN VARIASI PEMUPUKAN DAN SISTEM PENGELOLAAN AIR DI DESA DEMAKAN, KECAMATAN MOJOLABAN, SUKOHARJO.

Skripsi: Maria Niken Puri Andari (H0708124). Pembimbing: Purwanto, Djoko Mursito, dan S. Minardi. Program Studi: Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta.

Dinitrogen oksida (N₂O) merupakan salah satu gas rumah kaca yang memiliki potensi pemanasan global sebesar 310 kali CO₂. Emisi N₂O dari tanah dapat terjadi dari kegiatan pengelolaan tanah. Perbedaan pengelolaan tanah lahan padi sawah akan mengubah proses-proses fisika, kimia, dan biologi di dalam tanah, sehingga akan menghasilkan emisi N₂O yang berbeda pula. Perlu dikaji lebih lanjut mengenai pengelolaan tanah sawah yang meliputi sistem pengelolaan air dan pengelolaan penggunaan pupuk anorganik yang berdampak terhadap dinamika emisi N₂O tanah. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh variasi pemupukan dan sistem pengelolaan air pada budidaya padi (*Oryza sativa*) di tanah sawah terhadap dinamika emisi N₂O dan mengetahui kombinasi pemupukan dan sistem pengelolaan air efisien yang menghasilkan emisi N₂O rendah dengan produksi tinggi pada budidaya padi. Penelitian dilaksanakan mulai bulan Maret 2012 sampai Juli 2012, pada lahan sawah di Dukuh Nandan, Desa Demakan, Kecamatan Mojolaban, Kabupaten Sukoharjo. Rancangan lingkungan yang digunakan adalah Rancangan Petak Terpisah, dengan faktor perlakuan sistem pengairan sebagai *main plot* yang terdiri dari dua taraf, yaitu I1 (sistem pengairan metode SRI-System of Rice Intensification) dan I2 (sistem pengairan metode konvensional) dan faktor perlakuan pemupukan sebagai *sub plot* yang terdiri dari tiga taraf, yaitu P1 (pemupukan dosis petani setempat), P2 (pemupukan rekomendasi Peraturan Kementerian Pertanian) dan P3 (pemupukan berdasarkan hasil uji tanah). Data hasil penelitian dianalisis dengan analisis ragam taraf kepercayaan 95% dilanjutkan dengan analisis perbandingan Uji Jarak Berganda Duncan taraf kepercayaan 95%, dan uji korelasi untuk mengetahui keeratan hubungan antar variabel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pemupukan dan sistem pengelolaan air secara mandiri berpengaruh nyata terhadap dinamika emisi gas N₂O dalam satu periode tanam padi. Pemupukan dosis petani (768 kg/ha ZA, 538 kg/ha SP 36, dan 384 kg/ha KCl) menghasilkan rata-rata total emisi gas N₂O 43,9% lebih tinggi (351,94 mg N₂O/m²) dibandingkan perlakuan pemupukan hasil uji tanah (2000 kg/ha pupuk kandang sapi, 176 kg/ha Urea, 212 kg/ha SP 36, 142 kg/ha KCl) yang menghasilkan rata-rata total emisi gas N₂O sebesar 244,57 mg N₂O/m² dalam satu periode tanam padi. Sistem pengelolaan air metode konvensional menghasilkan rata-rata total emisi gas N₂O 83,56% lebih rendah (-71,28 mg N₂O/m²) dibandingkan dengan sistem pengelolaan air metode SRI (pengairan berselang) dengan rata-rata total emisi 362,27 mg N₂O/m². Perlakuan sistem pengairan SRI menghasilkan rata-rata produksi padi 19,3% lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata produksi padi pada perlakuan sistem pengairan konvensional. Sistem pengairan metode SRI tetap dapat diterapkan sebagai sistem pengelolaan air yang efisien dengan resiko lingkungan yang rendah (emisi gas nitro-oksida rendah), dengan mengubah pola pengaturan air dari pengairan secara berselang menjadi pengairan secara macak-macak.

SUMMARY

THE DYNAMICS OF N₂O EMISSION IN RICE FARMING LAND WITH FERTILIZATION AND WATER MANAGEMENT SYSTEM VARIATION IN DEMAKAN VILLAGE, MOJOLABAN SUBDISTRICT, SUKOHARJO. Thesis: Maria Niken Puri Andari (H0708124). Consultants: Purwanto, Djoko Mursito, and S. Minardi. Agrotechnology Study Program, Agriculture Faculty of Surakarta Sebelas Maret University (UNS).

Dinitrogen oxide (N₂O) is one of greenhouse gasses having global warming potential 310 times higher than CO₂ do. N₂O emission from soil can result from soil cultivation activity. The difference of soil cultivation in rice farming land will change physical, chemical, and biological process within the soil, thereby providing different N₂O emission as well. There should be a further study on farming land cultivation including water management system and inorganic fertilizer use management affecting the dynamics of N₂O emission in the soil. This research aims to study the effect of fertilization and water management system variation in rice (*Oryza sativa*) cultivation in farming land on the dynamics of N₂O emission and to find out the efficient combination of fertilization and water management system providing low N₂O emission with high production in rice cultivation. The study was taken place from March to July 2012, in rice farm land in Nandan Hamlet, Demakan Village, Mojolaban Subdistrict, Sukoharjo Regency. The environmental design used was Split Plot Design, with irrigation system treatment factor as main plot consisting of two levels: I1 (SRI-System of Rice Intensification method of irrigation system) and I2 (conventional method of irrigation system) and fertilization treatment factor as sub plot consisting of three levels: P1 (fertilization with local farmer dose), P2 (fertilization recommended by Agricultural Minister's Regulation) and P3 (fertilization based on soil test result). The result of research data was analyzed using variance analysis at confidence interval of 95% followed by Duncan Multiple Range Test comparative analysis at confidence interval of 95%, and correlation test to find out the closeness of inter-variable relationship.

The result of research showed that fertilization treatment and irrigation system treatment independently have real effect to the dynamics of N₂O emission during one rice planting period. Fertilization with local farmer dose (768 kg/ha ZA, 538 kg/ha SP 36, dan 384 kg/ha KCl) providing total average of of N₂O emission 43,9% higher (351,94 mg N₂O/m²) than fertilization based on soil test result (2000 kg/ha cow manure, 176 kg/ha Urea, 212 kg/ha SP 36, 142 kg/ha KCl) that has provide total average of of N₂O emission 244,57 mg N₂O/m² during one rice planting period. Conventional method of irrigation system providing total average of of N₂O emission 83,56% lower (-71,28 mg N₂O/m²) than SRI method of irrigation system with providing total average of of N₂O emission 362,27 mg N₂O/m². SRI method of irrigation system treatment providing average of rice production 19,3% higher than average of rice production on conventional method of irrigation system treatment. SRI method of irrigation system can still applied as efficient method of irrigation system that has low environment risk (low N₂O emission), with change water management system from intermitent irrigation system become moisture irrigation system.

commit to user



commit to user



commit to user

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemanasan global merupakan salah satu isu permasalahan lingkungan hidup yang berdampak global, termasuk di Indonesia. Dalam rangka menindaklanjuti kesepakatan *Bali Action Plan* pada *The Conferences of Parties (COP) ke-13 United Nations Frameworks Convention on Climate Change (UNFCCC)* dan hasil COP-15 di Copenhagen dan COP-16 di Cancun serta memenuhi komitmen Pemerintah Indonesia dalam pertemuan G-20 di Pittsburg untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 26% dengan usaha sendiri dan mencapai 41% jika mendapat bantuan internasional pada tahun 2020 dari kondisi tanpa adanya rencana aksi (Perpres 61, 2011), diharapkan adanya kajian data yang informatif mengenai besarnya emisi gas rumah kaca ke atmosfer sehingga akan diperoleh data emisi gas rumah kaca. Data tersebut dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk menekan peningkatan gas rumah kaca. Hal ini sesuai dengan visi pemerintah Indonesia dalam rencana aksi nasional tersebut.

Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), pengaruhnya terhadap pemanasan dan perubahan iklim global yang terjadi pada 50 tahun terakhir banyak disebabkan oleh aktivitas manusia. Dalam agenda Rencana Nasional Departemen Pertanian (2007), dinyatakan bahwa iklim adalah unsur utama dalam sistem metabolisme dan fisiologi tanaman, maka perubahan iklim akan berdampak buruk terhadap keberlanjutan pembangunan pertanian. Perubahan iklim global akan mempengaruhi setidaknya tiga unsur iklim dan komponen alam yang sangat erat kaitannya dengan pertanian, yaitu: (a) naiknya suhu udara yang juga berdampak terhadap unsur iklim lain, terutama kelembaban dan dinamika atmosfer, (b) berubahnya pola curah hujan dan makin meningkatnya intensitas kejadian iklim ekstrim (anomali iklim) seperti El-Nino dan La-Nina, dan (c) naiknya permukaan air laut akibat pencairan gunung es di kutub utara.

Salah satu dampak besar terjadinya perubahan iklim pada sektor pertanian adalah perubahan siklus musim kemarau dan penghujan, dan perubahan curah hujan. Kedua perubahan ini akan menimbulkan potensi tingginya kegagalan panen,

commit to user

selain itu petani akan kesulitan untuk menentukan waktu memulai bercocok tanam karena ketidakpastian musim kemarau dan musim hujan.

Dinitrogen oksida (N_2O) merupakan salah satu gas rumah kaca menjadi perhatian karena akhir-akhir ini konsentrasinya di atmosfer terus meningkat sampai dua kali lipat. Walaupun emisi N_2O lebih rendah dibanding dengan CO_2 , tetapi N_2O memiliki potensi pemanasan global 310 ton CO_2 ekuivalen dalam 100 tahun. Hal tersebut menunjukkan bahwa N_2O memiliki potensi pemanasan global sebesar 310 kali CO_2 . N_2O juga mempunyai kemampuan merusak lapisan ozon di stratosfer melalui proses fotolisis (IPCC, 2001). Dengan demikian N_2O dari sudut pandang lingkungan global mempunyai dua aspek resiko, yaitu pemanasan atmosfer bumi dan perusakan lapisan ozon di stratosfer.

Sumber N_2O utama adalah kegiatan antropogenik yang berkaitan dengan pembakaran fosil, pembakaran biomas dan pertanian. Dalam UNFCCC (2010) emisi N_2O dari tanah dapat terjadi dari kegiatan pengelolaan tanah. Emisi N_2O dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Emisi N_2O tanah secara langsung merupakan akibat dari pengelolaan aplikasi pemupukan N sintetis dan bahan organik pada suatu lahan pertanian. Sedangkan emisi N_2O tanah secara tidak langsung diakibatkan oleh pemupukan N sintetis, seperti urea, AS (*amonium sulphate*) dan bahan organik ke lahan pertanian.

Dalam pertanian modern, penggunaan pupuk N hampir tidak dapat dihindari. Khususnya lahan padi sawah yang secara kontinu diberi masukan pupuk N guna memenuhi intensifikasi penggunaan lahan agar produksi padi tetap tinggi. Beberapa peneliti menganggap bahwa lahan sawah merupakan salah satu sumber emisi N_2O yang potensial, demikian juga IPCC (2006) yang menyatakan bahwa tanah sawah padi merupakan salah satu sumber antropogenik utama gas dinitrogen oksida (N_2O), yang memberikan kontribusi terhadap pemanasan global.

Peningkatan emisi N_2O di tanah sawah ditentukan oleh proses denitrifikasi pada kondisi tanah anaerobik, yaitu reduksi NO_3^- oleh mikroorganisme menjadi N_2O dan N_2 , dan proses nitrifikasi pada kondisi tanah aerobik di mana terjadinya oksidasi NH_4^+ oleh mikroorganisme menjadi NO_2^- , lalu diubah lagi menjadi NO_3^- . Dalam hal ini proses pelepasan N_2O dari tanah ke udara yang dipengaruhi oleh

proses difusi dalam tanah dan kapasitas tanah untuk konsumsi N juga menentukan emisi N_2O di lahan sawah (Wihardjaka, 2004).

Nitrogen (N) dalam tanah mempunyai dinamika yang sangat tinggi karena selalu mengalami perubahan dan perpindahan. Selain sangat mutlak dibutuhkan, N juga dengan mudah dapat hilang atau menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Menurut Mukhlis dan Fauzi (2003) ketidaktersediaan N dari dalam tanah dapat melalui proses pencucian atau terlindi (*leaching*) NO_3^- , volatilisasi NH_4^+ menjadi NH_3 , terfiksasi oleh mineral liat atau dikonsumsi oleh mikroorganisme tanah, serta denitrifikasi NO_3^- menjadi N_2O .

Peningkatan ketersediaan nitrogen dalam tanah umumnya akan meningkatkan emisi gas N_2O . Namun besarnya emisi tergantung pada interaksi antara sifat tanah, faktor iklim, dan teknik budidaya pertanian. Peningkatan masukan hara nitrogen dapat menyebabkan kehilangan nitrogen dalam bentuk gas N_2O . Berdasarkan data model statistika Departemen Pertanian (2007), emisi global yang bersumber dari pemupukan pupuk kimia pada lahan pertanian di Indonesia diestimasikan sebesar 15 Gg N_2O dan 23 Gg NO_2 per tahun. Hasil penelitian Ladha *et al.* (1997), Sahrawat (2004) dalam Wihardjaka (2010) menyatakan bahwa, hara nitrogen yang hilang melalui denitrifikasi di lahan sawah dapat mencapai kisaran 30-40%. Kehilangan hara nitrogen melalui nitrifikasi dan denitrifikasi menyebabkan efisiensi pupuk nitrogen rendah, serta meningkatkan emisi N_2O tanah.

Perbedaan pengelolaan tanah pada lahan padi sawah akan mengubah proses-proses fisika, kimia, dan biologi di dalam tanah, sehingga akan menghasilkan emisi N_2O yang berbeda pula. Oleh karena itu perlu dikaji lebih lanjut mengenai pengelolaan lahan sawah yang meliputi pengelolaan air (sistem pengairan) dan pengelolaan penggunaan pupuk anorganik yang berdampak terhadap dinamika emisi N_2O tanah. Hal tersebut diupayakan dengan mengelola sistem pengairan dan aplikasi pupuk anorganik secara efisien pada tanaman padi di tanah sawah.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian tersebut memunculkan pertanyaan penelitian yang akan dijawab pada percobaan ini, meliputi :

1. Bagaimana pengaruh variasi pemupukan dan sistem pengelolaan air pada budidaya padi (*Oryza sativa*) di tanah sawah terhadap dinamika emisi N_2O ?
2. Kombinasi pemupukan dan sistem pengelolaan air mana yang efisien menghasilkan emisi N_2O rendah dengan produksi tinggi pada budidaya padi (*Oryza sativa*) di tanah sawah?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mempelajari pengaruh variasi pemupukan dan sistem pengelolaan air pada budidaya padi (*Oryza sativa*) di tanah sawah terhadap dinamika emisi N_2O .
2. Mengetahui kombinasi pemupukan dan sistem pengelolaan air efisien yang menghasilkan emisi N_2O rendah dengan produksi tinggi pada budidaya padi di tanah sawah.

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi informasi mengenai dinamika emisi N_2O pada budidaya padi (*Oryza sativa*) di tanah sawah dengan berbagai variasi pemupukan dan sistem pengelolaan air. Selain itu, kiranya penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai pedoman sistem pengelolaan tanah di tanah sawah yang memiliki efisiensi pemupukan (khususnya pemupukan anorganik) dan efisiensi sistem pengairan, tetapi menghasilkan emisi gas N_2O yang rendah dan produksi padi yang tinggi di desa Demakan kecamatan Mojolaban, Sukoharjo. Dalam hal ini diharapkan efisiensi pemupukan (khususnya nitrogen) dan sistem pengelolaan air dapat meminimalkan resiko lingkungan dengan adanya emisi N_2O , serta memberi manfaat ekonomi pertanian, khususnya pengurangan biaya pembelian pupuk oleh para petani padi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Emisi gas N₂O pada Lahan Pertanian

Gas nitro-oksida atau *nitrous oxide* (N₂O) merupakan salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan oleh jasad renik di lahan sawah, yang terdiri atas persenyawaan hara nitrogen dan oksigen. Gas tersebut dapat merugikan bagi lingkungan, karena selain sebagai salah satu penyebab pemanasan global bumi, juga dapat merusak lapisan ozon. Peningkatan aktivitas manusia dalam mengelola lahan persawahannya dapat meningkatkan kandungan nitrogen tersedia dalam tanah melalui pemupukan nitrogen (urea, ZA dll) dan pemberian bahan organik. Meskipun emisi gas N₂O jauh lebih rendah daripada emisi gas karbondioksida, namun gas N₂O dapat menyerap panas 310 kali lebih kuat dibandingkan gas CO₂ di atmosfer (Dwihardjaka, 2004).

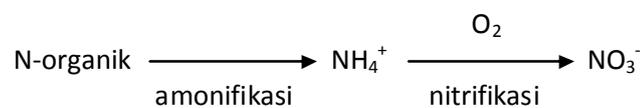
Penambahan bahan organik atau urea ke dalam tanah yang tergenang secara terus menerus selama masa pertumbuhan tanaman padi bukan merupakan sumber pencemaran gas N₂O yang membahayakan lingkungan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Indriyati *et al.* (2008) yang menyatakan bahwa emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan dari tanah tergenang yang diberi perlakuan bahan organik dan atau urea berdasarkan hasil penelitian relatif rendah.

Sumber utama emisi N₂O adalah pemakaian pupuk N (urea) yang tidak tepat sasaran untuk kebutuhan tanaman, hal ini dapat diartikan pula bahwa proses pembentukan N₂O akan dihambat apabila pupuk urea diberikan tepat pada waktunya. Beberapa teknologi anjuran hasil penelitian Balingtan menunjukkan bahwa penerapan sistem pertanaman PTT (pengolahan tanaman terpadu) dan SRI (*System of Rice Intensification*) mampu menekan laju emisi N₂O rata-rata sebesar 39-45% dibandingkan cara pengelolaan konvensional (Setyanto, 2008).

Tingkat emisi N₂O diduga dapat meningkat dengan adanya penggunaan pupuk nitrogen seperti urea, yang tidak berimbang. Nitrogen yang terdapat di pupuk urea dan ammonium sulfat (AS) menjadi N₂O dan NO₂ dengan tingkat emisi 1 dan 1,57%. Pada tahun 1998/1999 emisi nitrogen dari penggunaan pupuk kimia di Indonesia sebesar 14,15 Gg N₂O dan 22,23 Gg NO₂ (Deptan RI, 2007).

B. Nitrifikasi dan Denitrifikasi pada Tanah Sawah

Pada tanah tergenang N merupakan hara yang tidak stabil karena adanya proses mineralisasi bahan organik (amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi) oleh mikroba tanah tertentu. Pada lapisan atas dimana oksigen masih cukup, proses mineralisasi akan menghasilkan NO_3^- (Prasetyo *et al*, 2004). Bakteri yang berperan dalam nitrifikasi, antara lain *Nitrisococus sp* dan *Nitrosomonas sp*. berperan mengubah NH_4^+ menjadi NO_3^- dan *Nitrobakter sp*. berperan mengubah NO_2^- menjadi NO_3^- . Adapun proses mineralisasi bahan organik, sebagai berikut :



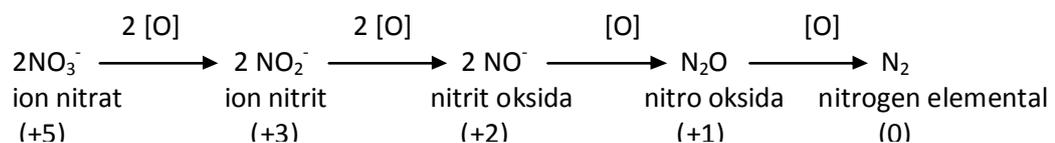
N tanah dalam bentuk anorganik utamanya adalah NO_3^- dan NH_4^+ (hanya sedikit NO_2^-). Pada tanah kering NO_3^- adalah bentuk N-anorganik yang stabil. Organik-N mengalami mineralisasi menjadi NH_4^+ (amonifikasi) yang selanjutnya teroksidasi (nitrifikasi) menjadi NO_2^- kemudian menjadi NO_3^- . Pada tanah tergenang, tidak adanya O_2 dapat menghambat aktivitas *Nitrosomonas* (bakteri nitrifikasi) untuk mengoksidasi NH_4^+ . Karena pada tanah sawah yang tergenang air ditemukan lapisan tanah tipis di permukaan yang bersifat aerobik sehingga terbentuk senyawa NO_3^- yang stabil dalam keadaan oksidatif. Karena kadar NO_3^- lapisan di bawahnya dengan anaerob lebih rendah, maka terjadilah proses difusi NO_3^- ke lapisan bawah tersebut. Di lapisan bawah dalam kondisi tersebut, NO_3^- mengalami proses denitrifikasi menjadi N_2 gas (mungkin juga N_2O) yang hilang dari tanah. Kadar NH_4^+ yang lebih tinggi di lapisan bawah yang anaerobik daripada lapisan atas yang aerobik maka menyebabkan difusi NH_4^+ ke lapisan atas juga terus terjadi (Hardjowigeno dan Rayes, 2005).

Kadar nitrat tergantung potensial redok (Eh). Apabila nilai Eh turun (reduktif), nitrat akan cepat hilang menjadi gas N_2O dan atau N_2 melalui proses denitrifikasi. Pada kondisi reduktif, N- NH_4^+ lebih dominan daripada N- NO_3^- , namun sebaliknya dalam kondisi oksidatif N- NH_4^+ bisa berubah menjadi N- NO_3^- melalui proses nitrifikasi. Dengan demikian maka pencucian N dalam sistem yang reduktif akan menghasilkan NH_4^+ , sedangkan dalam sistem yang oksidatif akan

menghasilkan NO_3^- . Kehilangan N dari lahan pertanian dapat dikurangi dengan cara mengurangi pencucian, aliran permukaan, dan jumlah N yang diberikan (pupuk dan pestisida) (Nursyamsi *et al*, 2005).

Nitrifikasi adalah proses oksidasi ion NH_4^+ dan senyawa-senyawa nitrogen tereduksi secara mikrobawi, sehingga secara berturut-turut akan terbentuk nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-). Amonium (NH_4^+) adalah senyawa nitrogen anorganik yang paling tereduksi dan merupakan substrat awal bagi proses nitrifikasi (Hadisudarmo, 2009). Nitrifikasi dianggap merugikan karena proses nitrifikasi akan menurunkan efisiensi pemupukan N dan sebagai awal penyebab pencemaran nitrat pada air tanah dan perairan serta emisi gas rumah kaca.

Pada tanah yang dipersawahkan dalam kondisi tereduksi nitrat mengalami denitrifikasi menjadi N_2O dan N_2 . Denitrifikasi adalah proses reduksi mikrobawi dari NO_3^- menjadi NO_2^- dan selanjutnya menjadi gas N_2O dan N_2 yang terbebaskan ke atmosfer. Proses ini disebut juga sebagai denitrifikasi enzimatis, yang berbeda dengan proses reduksi asimilasi NO_3^- yang dilakukan oleh berbagai biota untuk pertumbuhannya dan juga berbeda dengan proses reduksi disimilasi NO_3^- menjadi NH_4^+ yang dilakukan oleh beberapa mikroba pada kondisi tidak adanya oksigen. Proses denitrifikasi merupakan salah satu contoh dari respirasi anaerobik yaitu penggunaan senyawa bukan oksigen (dalam hal ini nitrat) sebagai aseptor elektron terminal dalam proses respirasinya (Hadisudarmo, 2009). Keseluruhan proses denitrifikasi dapat digambarkan sebagai berikut :



Faktor lingkungan yang paling penting dalam menentukan kecepatan denitrifikasi adalah jenis bahan organik yang ada, kadar air, aerasi, pH tanah, suhu tanah dan kadar serta bentuk N anorganik.

C. Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.)

Padi termasuk genus *Oryza* L yang meliputi lebih kurang 25 spesies, tersebar didaerah tropik dan daerah sub tropik seperti Asia, Afrika, Amerika dan Australia. Menurut Chevalier dan Neugier padi berasal dari dua benua *Oryza fatua* Koenig dan *Oryza sativa* L berasal dari benua Asia, sedangkan jenis padi lainnya yaitu *Oryza stapfii* Roschev dan *Oryza glaberima* Steund berasal dari Afrika barat. Padi yang ada sekarang ini merupakan persilangan antara *Oryza officinalis* dan *Oryza sativa* spontania. Di Indonesia pada mulanya tanaman padi diusahakan di daerah tanah kering dengan sistim ladang, akhirnya orang berusaha memantapkan basil usahanya dengan cara mengairi daerah yang curah hujannya kurang. Tanaman padi yang dapat tumbuh dengan baik didaerah tropis ialah Indica, sedangkan *Japonica* banyak diusahakan didaerah sub tropika (Dinas Pertanian dan Kehutanan, 2008).

Padi termasuk dalam suku padi-padian atau *Poaceae* (sinonim *Graminae* atau *Lumiflorae*). Sejumlah ciri suku (familia) ini juga menjadi ciri padi, antara lain berakar serabut, daun berbentuk lanset (sempit memanjang), urat daun sejajar, memiliki pelepah daun, bunga tersusun sebagai bunga majemuk dengan satuan bunga berupa loret, floret tersusun dalam spikelet, khusus untuk padi satu spikelet hanya memiliki satu floret, buah dan biji sulit dibedakan karena merupakan bulir atau kariopsis. Adapun klasifikasi ilmiah padi (*Oryza sativa*) sebagai berikut :

Kerajaan : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
(tidak termasuk) Monocots
(tidak termasuk) Commelinids
Ordo : Poales
Famili : Poaceae
Genus : *Oryza*
Spesies : *Oryza sativa* L.

(Wikipedia, 2011).

Pertumbuhan tanaman padi dibagi ke dalam tiga fase, yaitu (1) vegetatif (awal pertumbuhan sampai pembentukan bakal malai/ primordia); (2) reproduktif (primordia sampai pembungaan); dan (3) pematangan (pembungaan sampai gabah

matang). Fase vegetatif merupakan fase pertumbuhan organ-organ vegetatif, seperti penambahan jumlah anakan, tinggi tanaman, jumlah, bobot, dan luas daun. Lama fase ini beragam, hal ini yang menyebabkan adanya perbedaan umur tanaman. Fase reproduktif ditandai dengan : (a) memanjangnya beberapa ruas teratas batang tanaman; (b) berkurangnya jumlah anakan (matinya anakan tidak produktif); (c) munculnya daun bendera; (d) bunting; dan (e) pembungaan. Di daerah tropik, untuk kebanyakan varietas padi, lama fase reproduktif umumnya 35 hari dan fase pematangan sekitar 30 hari. Perbedaan masa pertumbuhan (umur) hanya ditentukan oleh lamanya fase vegetatif (Makarim dan Suhartatik, 2010).

Strategi utama dalam mengurangi kapasitas laju produksi dan emisi gas rumah kaca dari lahan sawah adalah dengan memilih varietas dan teknik budidaya yang tepat. Tanaman padi berperan aktif sebagai media pengangkut metana dari lahan sawah ke atmosfer. Lebih dari 90% metana diemisikan melalui jaringan aerenkim dan ruang interseluler tanaman padi, sedangkan kurang dari 10% sisanya dari gelembung air. Kemampuan tanaman padi dalam mengemisikan metana beragam, bergantung pada sifat fisiologis dan morfologis suatu varietas. Selain itu, masing-masing varietas mempunyai umur dan aktivitas akar yang berbeda yang erat kaitannya dengan volume emisi metana.

Hasil pengujian beberapa varietas padi sawah irigasi, sawah tadah hujan maupun sawah pasang surut menunjukkan bahwa varietas Cisadane mengemisikan metana paling tinggi sebesar 218 kg CH₄/ha, sedangkan IR36 dan Dodokan paling rendah yaitu sebesar 74 kg CH₄/ha. Cisadane diduga mempunyai kemampuan fotosintesis yang lebih baik dari varietas lain sehingga eksudat akar yang dihasilkan lebih mudah terdegradasi. Sebaliknya IR36 dan Dodokan diduga mempunyai kapasitas pengoksidasi akar yang lebih baik dari varietas lain sehingga konsentrasi oksigen di sekitar akar meningkat dan metana teroksidasi secara biologis oleh bakteri metanotropik (Balai Lingkungan Pertanian, 2006).

Pemilihan varietas padi yang ditanam di suatu daerah ditentukan oleh potensi hasil panen, kondisi ekosistem, serta ketahanan terhadap hama dan penyakit endemik serta kondisi ekstrim. Setiap varietas padi memiliki sifat-sifat morfologi dan agronomi yang berbeda-beda, misal dari segi umur, tinggi, bentuk, warna daun, jumlah anakan dan produksinya. Perbedaan tersebut mempengaruhi pengangkutan

dan akumulasi unsur nitrogen dari dalam tanah. Dalam hal ini dapat digunakan varietas unggul baru (VUB) yang mampu beradaptasi dengan lingkungan untuk menjamin pertumbuhan tanaman yang baik, hasil tinggi, kualitas baik dan mampu menekan resiko lingkungan. Penggunaan varietas yang unggul dan adaptif terhadap praktek pertanian terpadu akan mengurangi input pupuk kimia anorganik, karena varietas padi unggul memiliki sistem perakaran yang lebih kuat dan lebih aktif sehingga diduga memiliki tingkat efisiensi pemupukan yang lebih tinggi dibandingkan varietas lokal. Sama halnya dengan emisi metana, aktivitas ini akan mengurangi emisi nitro-oksida dari penggunaan pupuk kimia anorganik dengan tetap mempertahankan kualitas produk pertanian.

Varietas unggul padi sawah dan beberapa karakteristik penting, sebagai berikut :

Varietas	Produktivitas (ton/ha) GKG	Umur Tanaman (hari)	Ketahanan terhadap hama dan penyakit	Tekstur Nasi
IR-64	5,0-6,0	110-120	Tahan WCK biotipe 1, 2, agak tahan WCK biotipe 3	Pulen
Ciherang	6,0-8,5	116-125	Tahan WCK biotipe 2, agak tahan WCK biotipe 3, dan tahan HBD	Pulen
Ciliwung	5,0-6,0	117-125	Tahan WCK biotipe 1, 2, WH, ganjur. Tahan Tungro dan HBD	Pulen
Mekongga	6,0-8,4	116-125	Agak tahan WCK biotipe 2, 3. Agak tahan HBD biotipe strain IV	Pulen
Sarinah	6,9-8,0	110-125	Agak tahan WCK biotipe 1, agak peka biotipe 2,3	Pulen
Cigeulis	5,0-8,0	115-125	Tahn WCK biotipe 2, 3, dan HBD strain IV	Pulen
Bondoyudo	6,0-8,4	110-120	Tahan WCK dan tungro	Pulen
Batang Piaman	6,0-7,6	97-120	Tahan terhadap penyakit blas daun dan blas leher malai	Pera

Keterangan : WCK = Wereng Coklat; HBD = Hawar Daun Bakteri

Sumber : BBPTP (2008)

Hasil penelitian Syamsuhaidi (2010) menunjukkan bahwa perbedaan penggunaan varietas padi IR-64 dan Cisadane tidak memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap fluks gas N₂O selama satu musim tanam. Hal tersebut berlawanan dengan hipotesis sebelumnya yang memperkirakan petak percobaan yang ditanami

padi varietas Cisadane yang lebih besar dan lama waktu tumbuhnya dibandingkan dengan padi IR-64, akan menghasilkan fluks N_2O yang berbeda nyata dengan petak percobaan yang ditanami padi varietas IR-64. Dalam hal ini diketahui bahwa padi varietas Cisadane dan varietas IR-64 memiliki nilai efisiensi pengambilan N dalam kisaran 41,9-45,5%, kedua varietas tersebut sama-sama responsif terhadap unsur hara N. Pada perlakuan irigasi kontinyu padi varietas IR-64 menghasilkan emisi N_2O 14,7% lebih tinggi ($22,58 \text{ mg } N_2O/m^2/jam$) dibandingkan padi varietas Cisadane yang mengemisikan $19,69 \text{ mg } N_2O/m^2/jam$. Namun, pada kondisi irigasi berselang padi varietas Cisadane menghasilkan emisi N_2O 24,8% lebih tinggi ($26,63 \text{ mg } N_2O/m^2/jam$) dibandingkan emisi N_2O yang dihasilkan padi varietas IR-64, yaitu sebesar $21,34 \text{ mg } N_2O/m^2/jam$.

D. Tanah Sawah

Tanah sawah merupakan tanah yang sangat penting di Indonesia karena merupakan sumber daya alam yang utama dalam produksi beras. Saat ini keberadaan tanah-tanah sawah subur beririgasi terancam oleh gencarnya pembangunan kawasan industri dan perluasan kota (perumahan) sehingga luas tanah sawah semakin berkurang, karena dikonversikan untuk penggunaan nonpertanian (Hardjowigeno dan Rayes, 2005).

Di Indonesia, sawah sering dikategorikan menjadi tiga yaitu a) sawah beririgasi; b) sawah tadah hujan; dan c) sawah rawa (lebak dan pasang surut). Sistem pengelolaan air pada ketiga macam sawah tersebut sangat berbeda, karena perbedaan kondisi hidrologi dan kebutuhan air. Lugas tanah optimal dijumpai pada sawah irigasi yang berada pada daerah dengan sumber air berlimpah, yaitu pada daerah dengan curah hujan yang cukup untuk irigasi. Kualitas lahan sawah sangat bergantung pada ketersediaan lugas yang beragam dari satu tempat ke tempat lain dari tahun ke tahun bahkan daerah beririgasi sekalipun (Subagiono *et al.*, 2004).

Tanah sawah adalah tanah yang digunakan untuk bertanam padi sawah, baik secara terus menerus sepanjang tahun maupun bergiliran dengan tanaman palawija. Istilah tanah sawah bukan merupakan istilah taksonomi, tetapi merupakan istilah umum seperti halnya tanah hutan, tanah perkebunan, tanah pertanian dan sebagainya. Segala macam jenis tanah dapat disawahkan asalkan air cukup tersedia.

Selain itu, padi sawah juga ditemukan pada berbagai iklim yang jauh lebih beragam dibandingkan dengan jenis tanaman lain. Karena itu tidak mengherankan bila sifat tanah sawah sangat beragam sesuai dengan sifat tanah asalnya (Hardjowigeno *et al.*, 2004).

Menurut FAO (1996) dalam Yuwono (2007) tanah sawah intensif ditandai dengan hasil panen yang dapat dicapai melebihi 8 ton/ha dengan satu atau lebih musim tanam dalam satu tahun. Pada tanah sawah intensif ini akan terjadi pengurasan hara yang tersedia di dalam tanah. Tersedianya air irigasi yang mencukupi sepanjang tahun telah mendorong petani untuk menanam padi secara terus menerus di lahannya.

E. Pemupukan pada Padi Sawah

Pupuk anorganik menurut Departemen Pertanian didefinisikan sebagai pupuk hasil rekayasa secara kimia, fisik atau biologis, dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk yang mengandung hara utama N, P, dan K, hara sekunder yang dilengkapi unsur-unsur mikro seperti tembaga, kobalt, seng, mangan, molibden dan boron (Deptan RI, 2000).

Dalam implementasi program intensifikasi dan ekstensifikasi padi berbasis teknologi Revolusi Hijau, penggunaan pupuk kimia meningkat hampir enam kali lipat, dari 635 ribu ton pada tahun 1970 menjadi 4,42 juta ton pada tahun 2003. Saat ini kebutuhan pupuk kimia untuk pertanaman padi mencapai 4,50 juta ton/tahun. Penggunaan pupuk oleh petani cenderung berlebihan, terutama pada tanaman padi. Kisaran penggunaan pupuk urea (N) dewasa ini adalah 100-800 kg/ha, serta pupuk P dan K masing-masing 0-300 kg dan 0-250 kg/ha (Las *et al.*, 2006).

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara yang penting bagi tanaman padi dan kekurangan N dapat membatasi produksi padi. Tanaman padi dapat menggunakan N mineral yang berasal dari pupuk N mineral dan bahan organik. Umumnya pupuk N anorganik tidak digunakan secara efisien oleh tanaman dan cenderung hilang dalam bentuk gas (Indriyati *et al.*, 2008).

Secara nyata, kekurangan N selalu menjadi faktor pembatas. Efisiensi pupuk N yang diberikan beragam dengan jenis tanah dan pengelolaan. Amonium sering kali lebih aktif dalam tanah yang tereduksi daripada tanah yang teroksidasi.

Amonium yang diberikan ke tanah dalam jumlah yang cukup besar akan tercuci jika perkolasi atau *upwelling* berlangsung dalam tanah sawah. Oksidasi-reduksi yang silih berganti dalam tanah sawah sangat meningkatkan kehilangan N yang diberikan (tetapi tidak pada N tanah) oleh proses nitrifikasi dan denitrifikasi (Hardjowigeno dan Rayes, 2005).

Upaya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk N dapat dilakukan dengan menanam varietas unggul yang tanggap terhadap pemberian N serta memperbaiki cara budidaya tanaman padi, yang mencakup pengaturan kepadatan tanaman, pengairan yang tepat, serta pemberian pupuk N secara tepat baik takaran, cara dan waktu pemberian maupun sumber N (Wahid, 2003).

Pemilihan pupuk N sebaiknya dilakukan atas dasar kecepatan pengaruhnya dan efek samping yang mungkin ditimbulkannya. Untuk daerah tropis semua pupuk N praktis bereaksi dengan cepat. Hal ini dikarenakan tingginya temperatur, maka perombakan urea menjadi amonium serta juga nitrifikasi berlangsung cepat. Kehilangan N umumnya terjadi karena denitrifikasi, pencucian, pengaliran dari permukaan, dan penguapan sebagai amoniak. Dari total pemberian pupuk N sekitar 30-50% langsung diambil oleh tanaman, sebagian diikat oleh mikroorganisme dan sisanya hilang. Pemberian pupuk N tergantung faktor nilai pH, bahan-bahan organik, dan P *availabel* (Siagian, 2004).

Tanaman menyerap hara N dalam bentuk NO_3^- dan NH_4^+ , sehingga keberadaannya di dalam larutan tanah harus tetap terpelihara. Rendahnya serapan hara pupuk oleh tanaman sebagian besar diakibatkan oleh gagalnya proses penyediaan hara yang optimum di dalam larutan tanah sebagai akibat rendahnya kadar bahan organik tanah dan ketidaksinkronan antara jumlah hara yang tersedia dengan waktu tanaman membutuhkan hara tersebut. Rendahnya kadar N tanah menjadi alasan petani untuk memberikan pupuk N dalam jumlah besar, namun pemberian pupuk urea takaran tinggi belum tentu menjamin produksi yang tinggi, karena berkaitan dengan tingkat efisiensi pupuk N yang rendah (Hardjowigeno dan Rayes, 2005).

F. Pengelolaan Air (sistem pengairan) pada Budidaya Padi Sawah

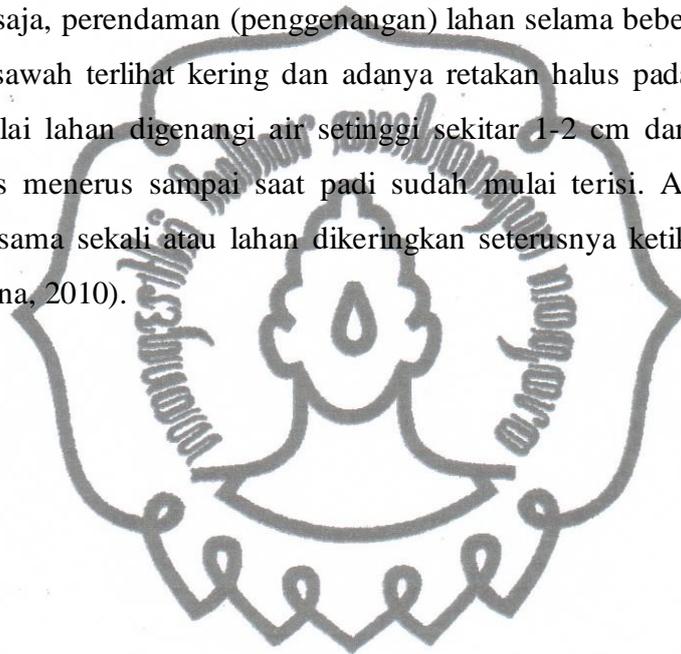
Pengelolaan air berperan sangat penting dan merupakan salah satu kunci keberhasilan peningkatan produksi padi di lahan sawah. Produksi padi sawah akan menurun jika tanaman padi menderita cekaman air (*water stress*). Tanaman padi membutuhkan air yang volumenya berbeda untuk setiap fase pertumbuhannya. Variasi kebutuhan air tergantung juga pada varietas padi dan sistem pengelolaan lahan sawah. Pengelolaan air untuk sawah lama dengan sawah bukaan baru harus dibedakan. Pada sawah lama umumnya telah terbentuk lapisan kedap air di bawah zona pengolahan tanah yang sering disebut dengan lapisan tapak bajak (*plow pan*), sedangkan pada sawah baru lapisan ini belum terbentuk. Dari segi kebutuhan air untuk irigasi, sawah lama akan lebih efisien dibanding sawah bukaan baru karena sedikit terjadi kehilangan air melalui perkolasi (Subagjono *et al.*, 2004).

Pengelolaan air yang utama pada lahan sawah adalah irigasi. Secara umum irigasi didefinisikan sebagai pemberian air untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman. Pekerjaan irigasi meliputi menampung dan mengambil air dari sumbernya, mengalirkannya melalui saluran-saluran ke lahan pertanian dan membuang kelebihan air ke saluran pembuangan. Tujuan irigasi adalah memberikan tambahan air terhadap air hujan dan memberikan air untuk tanaman dalam jumlah yang cukup dan pada saat dibutuhkan. Irigasi pada lahan sawah dimaksudkan untuk menjenuhkan tanah agar diperoleh struktur lumpur (*puddling*) yang baik bagi pertumbuhan tanaman padi, memenuhi kebutuhan air tanaman, kebutuhan penggenangan dan mengganti kehilangan air di saluran (Subagjono *et al.*, 2004).

Salah satu hambatan utama dalam budidaya padi di Indonesia antara lain adalah masalah pengairan selain hambatan-hambatan lainnya. Sudah cukup banyak cara dan metode yang diperkenalkan kepada petani untuk meningkatkan hasil produksinya. Alternatif yang cukup menjanjikan untuk meningkatkan produksi beras adalah pola tanam SRI (*System of Rice Intensification*). Penerapan SRI tidak hanya ditujukan untuk mendapatkan hasil panen secara maksimum tetapi lebih untuk meningkatkan produktivitas dari lahan, tenaga kerja, modal dan terlebih penggunaan air yang dapat menguntungkan petani. Selain di Indonesia, di negara lain seperti Madagaskar, Kamboja, Bangladesh, Vietnam dan lainnya telah

dilaporkan adanya kenaikan hasil panen yang mencapai 2 kali lipat bahkan 3 kali lipat sebagai hasil penerapan pola tanam ini dengan pengurangan konsumsi air, pupuk dan benih (Suiatna, 2009).

SRI (*System of Rice Intensification*) merupakan suatu metode atau cara penanaman padi dan perawatannya. Salah satu prinsip pola tanam SRI ini adalah lahan sawah tidak terus menerus direndam (digenangi) air tetapi cukup dijaga agar tetap lembab. Dalam hal ini air diatur agar hanya macak-macak atau mengalir di saluran air saja, perendaman (penggenangan) lahan selama beberapa saat dilakukan bila lahan sawah terlihat kering dan adanya retakan halus pada tanah. Saat mulai muncul malai lahan digenangi air setinggi sekitar 1-2 cm dari permukaan tanah secara terus menerus sampai saat padi sudah mulai terisi. Aliran air kemudian dihentikan sama sekali atau lahan dikeringkan seterusnya ketika bulir padi sudah terisi (Suiatna, 2010).



III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret sampai Juli 2012, pada lahan sawah padi (*Oryza sativa*) di Dukuh Nandan, Desa Demakan, Kecamatan Mojolaban, Kabupaten Sukoharjo yang terletak pada $07^{\circ} 36' 25,7''$ LS dan $110^{\circ} 52' 43,0''$ BT dengan ketinggian tempat 123 m di atas permukaan laut. Analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium Kimia Tanah Fakultas Pertanian UNS. Sedangkan untuk analisis penetapan konsentrasi gas N_2O dilaksanakan di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan, Jakenan, Pati.

B. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan

Bahan-bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah benih padi (*Oryza sativa*) varietas Sunggal, sampel tanah, pupuk Urea, pupuk ZA, pupuk SP 36, pupuk KCl, pupuk kandang sapi, serta gas standar N_2O (682 ppb) dan gas N_2 (*carrier gas*).

2. Alat

Alat yang digunakan antara lain : Gas Chromatografi Shimatsu 14A, *soil moisture tester*, boks penangkap sampel gas N_2O ukuran 40 cm x 20 cm x 17 cm, thermometer, injektor, kertas perak (*aluminium foil*), septum dan blangko pengamatan.

C. Perancangan Penelitian dan Analisis Data

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan rancangan lingkungan Petak Terpisah, dengan faktor perlakuan sebagai berikut :

1. Sistem Pengairan (I) – *Main plot*

I1 = Sistem pengairan metode SRI

I2 = Sistem pengairan metode konvensional

2. Pemupukan (P) – Sub plot

P1 = Pemupukan dengan dosis petani setempat

P2 = Pemupukan rekomendasi Peraturan Kementerian Pertanian (Permentan)

P3 = Pemupukan rekomendasi berdasarkan hasil uji tanah

Berdasarkan perlakuan-perlakuan tersebut diperoleh enam kombinasi faktor perlakuan di lapangan dengan pengulangan sebanyak empat kali, sehingga diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut :

Tabel 1. Kombinasi perlakuan

No	Kombinasi Perlakuan	Keterangan
1.	I1P1	Pengaturan penggenangan air + pupuk dosis petani setempat*)
2.	I1P2	Pengaturan penggenangan air + pupuk rekomendasi Permentan**)
3.	I1P3	Pengaturan penggenangan air + pupuk rekomendasi hasil uji tanah***)
4.	I2P1	Kondisi lahan selalu tergenang + pupuk dosis petani setempat*)
5.	I2P2	Kondisi lahan selalu tergenang + pupuk rekomendasi Permentan**)
6.	I2P3	Kondisi lahan selalu tergenang + pupuk rekomendasi hasil uji tanah***)

Keterangan : Dosis pupuk

*) = 768 kg/ha ZA, 538 kg/ha SP 36, 384 kg/ha KCl

***) = 2000 kg/ha pupuk kandang sapi, 150 kg/ha Urea, 25 kg/ha SP 36, 80 kg/ha KCl

***) = 2000 kg/ha pupuk kandang sapi, 176 kg/ha Urea, 212 kg/ha SP 36, 142 kg/ha KCl

Analisis data menggunakan analisis uji F (*Fisher Test*) dengan taraf kepercayaan 95%. Apabila terdapat pengaruh yang nyata maka dilanjutkan analisis perbandingan dengan menggunakan metode Uji Jarak Berganda Duncan (*Duncan Multiple Range Test*) taraf kepercayaan 95%. Uji korelasi digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan antar variabel.

D. Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahap pelaksanaan penelitian sebagai berikut :

1. Penentuan lokasi lahan percobaan

Lokasi lahan percobaan adalah lahan sawah dengan komoditas tanaman padi (*Oryza sativa*). Lahan tersebut dibagi menjadi 24 petak masing-masing berukuran 3 m x 3 m, disertai penambahan luasan di setiap sisi petak lahan dengan lebar 0,3 dan 0,4 m sebagai lahan untuk tanaman tepi.

2. Pengumpulan data lokasi lahan percobaan

Tahap pengumpulan data ini dengan mengumpulkan informasi mengenai pemilik lahan, luas lahan, ketinggian tempat serta pola tanam petani setempat.

3. Persiapan penelitian

Persiapan penelitian meliputi persiapan alat dan bahan serta lahan yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian.

4. Pengambilan data analisis tanah awal

Pengambilan data analisis tanah awal ini dilakukan dengan analisis laboratorium dengan tujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik tanah serta status hara di lahan terkait. Sehingga data tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan dosis rekomendasi pemupukan.

5. Penanaman padi (*Oryza sativa*)

Benih padi yang akan ditanam telah disemaikan sebelumnya, dan setelah berumur kira-kira 25 hari, bibit padi dipindah tanam. Penanaman sebanyak 2 bibit tiap lubang tanam dengan jarak tanam 25 x 25 cm.

6. Pengaturan air

Sistem pengairan untuk setiap petak percobaan disesuaikan dengan masing-masing perlakuan yang telah ditentukan. Sistem pengairan menurut metode SRI diterapkan berdasarkan Suswadi dan Suharto (2011).

Tabel 2. Pola pengaturan air pada lahan sawah dengan metode SRI

Umur (HST)	Keadaan Tanaman	Pengaturan Air
0-7	Saat pindah tanam	Air macak-macak
7-41	Anakan aktif sampai menjelang anakan maksimum	Pemberian air berselang 5 hari macak-macak 5 hari digenangi maksimal 3 cm
41-90	Primordia, pembungaan, pengisian gabah hingga sepuluh hari sebelum panen	Digenangi air maksimal 3 cm, paling tidak macak-macak
90-100	10 hari sebelum panen	Lahan dikeringkan

Sumber : Suswadi dan Suharto (2011)

Tabel 3. Pola pengaturan air pada lahan sawah secara konvensional

Umur (HST)	Keadaan Tanaman	Pengaturan Air
0-2	Saat pindah tanam	Air macak-macak
3-90	Menjelang awal anakan aktif sampai anakan maksimal, pembentukan malai, pengisian biji	Digenangi air terus dengan ketinggian air 3-4 cm
90-100	10 hari sebelum panen	Lahan dikeringkan

7. Pemupukan

Jenis dan dosis pupuk yang diberikan sesuai dengan masing-masing perlakuan yang telah ditentukan, yaitu berdasarkan waktu pengaplikasian dan dosis dari petani, rekomendasi Permentan dan rekomendasi berdasarkan hasil uji tanah. Adapun waktu dan dosis pupuk tersebut disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. Penentuan waktu dan dosis pemupukan

Waktu Pemupukan	Dosis Pemupukan (kg/ha)		
	Petani	Rekomendasi Permentan	Rekomendasi berdasarkan Hasil Uji Tanah
Sebelum tanam (7 hari sebelum tanam)	-	Pupuk kandang sapi = 2000	Pupuk kandang sapi = 2000
Saat tanam (0 HST)	ZA = 384 SP-36 = 230	Urea = 50 SP-36 = 12,5 KCl = 40	Urea = 25 SP-36 = 6,25 KCl = 20
Awal anakan aktif (21-28 HST)	ZA = 230 SP-36 = 154 KCl = 230	Urea = 50 SP-36 = 12,5 KCl = 40	Urea = 75,5 SP-36 = 205,75 KCl = 142
Awal primordia (35-50 HST)	ZA = 154 SP-36 = 154 KCl = 154	Urea = 50	Urea = 75,5
Sumber : Permentan (2007)			Sumber : Hasil Uji Tanah Laboratorium Kimia Tanah FP UNS

8. Pengambilan sampel gas

Waktu pengambilan sampel gas N_2O (T) terbagi menjadi lima kali tahap pengambilan sesuai dengan fase tumbuh padi dan diambil pada titik lokasi yang sama, sebagai berikut:

T1 = 7 hari sebelum tanam

T2 = Fase pembentukan anakan aktif sampai maksimal (22 HST) (Buresh *et al*, 2006)

T3 = Fase awal pembentukan malai/ primordia (43 HST) (Buresh *et al*, 2006)

T4 = Fase pembungaan (65 HST) (Buresh *et al*, 2006)

T5 = 7 hari setelah panen

Setiap tahap pengambilan sampel gas N_2O dilakukan pada interval waktu 15, 30, dan 45 menit (Balingtan, 2007).

Metode pengambilan sampel gas N₂O dari lapangan sesuai prosedur menurut Balingtan (2007), sebagai berikut :

- a. Sampel gas diambil kurang lebih 1 (satu) minggu sekali (bisa lebih atau kurang dari interval waktu tersebut). Waktu pengambilan terbaik adalah pagi hari (06.00-08.00), namun pengambilan sampel dapat juga dilakukan pada siang atau sore hari.
 - b. Sebelum pengambilan sampel gas, penutup boks dibiarkan terbuka sedikitnya 5 menit untuk menstabilkan konsentrasi gas dalam boks.
 - c. Gas diambil menggunakan jarum suntik yang dipasang pada posisi tegak lurus (tidak miring) dengan interval waktu 15, 30, dan 45 menit. Jarum suntik ditutup dengan septum sesegera mungkin untuk menghindari kebocoran.
 - d. Sampel gas segera dibawa ke laboratorium untuk analisa penetapan emisi gas N₂O dengan menggunakan *gas chromatograph* (GC).
9. Pengambilan sampel tanah
- a. Pengambilan sampel tanah awal
Pengambilan sampel tanah awal dilakukan 2 minggu sebelum penanaman dan sebelum pemberian bahan organik pada lahan. Tujuan pengambilan sampel tanah awal ini adalah untuk mengetahui status hara tanah terkait sebagai dasar dalam menentukan rekomendasi pemupukan berdasarkan hasil uji tanah.
 - b. Pengambilan sampel tanah setiap fase tumbuh padi
Pengambilan sampel tanah dilakukan pada setiap periode pengambilan sampel gas. Pengambilan sampel tanah ini bertujuan untuk analisis kandungan N total, N tersedia, dan potensial reduksi oksidasi pada setiap petak lahan perlakuan.

E. Pengamatan Peubah

1. Variabel utama yang diamati

a. Emisi gas N₂O

Pengukuran emisi gas N₂O dilakukan dengan menerapkan metode sungkup statik, kemudian contoh gas diukur menggunakan *gas chromatography* (GC) Shimatsu 14A.

Metode penetapan emisi gas N₂O dengan menggunakan *gas chromatography* (GC) sesuai prosedur Balingtan (2007), sebagai berikut :

- 1) *Carrier gas* dibuka untuk mengalirkan gas. *Gas chromatography* (GC), CBM dan computer dinyalakan. Pilih menu program *GC solution* yang sudah disetting pada computer. *GC solution program* akan memperlihatkan lima kotak pilihan. Klik pada kotak pertama atau pilihan menu *ECD* dan selanjutnya akan terhubung antara computer dengan *GC system* melalui CBM. Suhu *injector*, kolom dan CBM (detektor) tidak perlu diganti karena sudah diset oleh *GC solution program*.
- 2) Setelah komputer dan *GC system* terhubung dan menuliskan *password*, selanjutnya akan masuk pada menu utama. Pilih menu *file*, kemudian *open methode file N₂O, conditioning N₂O*, jika menu utama memperlihatkan tanda *ready* maka pilih menu *file, open methode file, N₂O-methode calibrate* dan klik kotak *download*.
- 3) Setelah suhu stabil, klik kotak *zero CBM, single run, sample login* dan isikan nama file sampel yang disuntikkan. Setelah terlihat *standby* pada menu utama suntikkan sampel gas pada *injector pot* dan tekan tombol *start* pada *GC system*. *Injector pot* untuk analisa gas N₂O terdapat dibagian atas (bagian atas untuk analisa CO₂). Sampel gas disuntikkan dengan interval waktu tujuh menit per sampel gas. Waktu yang diperlukan untuk satu kali analisa adalah 55 menit dengan 8 buah sampel gas. Semakin banyak sampel gas, semakin banyak waktu yang diperlukan.

Adapun perhitungan emisi gas N₂O :

1) Menghitung konsentrasi gas

Konsentrasi gas dari sampel gas yang diambil dari lapang dihitung dengan persamaan :

$$\frac{K1}{A1} = \frac{Kx}{A2} \dots\dots\dots(1)$$

di mana :

K1 : konsentrasi gas standar = 682 ppb

A1 : area pembacaan dari integrator untuk standar 682 ppb

Kx : konsentrasi N₂O dari contoh gas (ppb)

A2 : area pembacaan dari contoh gas yang diukur konsentrasinya dengan persamaan tersebut di atas, konsentrasi contoh gas (Kx) dapat dicari melalui persamaan :

$$Kx = \frac{K1 \times A2}{A1} \dots\dots\dots(2)$$

2) Menghitung emisi gas N₂O

Untuk menentukan emisi gas N₂O yang dihasilkan dari contoh gas di lapangan digunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{Vch}{Ach} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{273,2+T}$$

di mana :

E : Emisi gas N₂O

dc/dt : Perbedaan konsentrasi N₂O per waktu (ppb/menit)

Vch : Volume boks (m³)

Ach : Luas books (m²)

mW : Berat molekul N₂O (g)

mV : Volume molekul CH₄ (22,41 l)

T : Temperatur rata-rata selama pengambilan sampel (°C)

b. N total tanah

Kandungan N total dianalisis dengan metode *Kjeldahl* (Balittanah, 2005).

c. N tersedia

Kandungan N tersedia (N-NO₃⁻ dan N-NH₄⁺) dianalisis dengan metode larut air kemudian diukur menggunakan spektrofotometer (Suranta *et al.*, 1989).

2. Variabel pendukung

a. pH tanah

pH tanah diukur dengan menggunakan *soil moisture tester* di lapangan.

b. Potensial reduksi oksidasi (Eh)

Potensial reduksi oksidasi dianalisis dengan reagen H₂O dan KCl. Masing-masing dengan perbandingan 1:2,5 kemudian diukur dengan menggunakan Eh meter (Balittanah, 2005).

c. Tinggi tanaman akhir

Tinggi tanaman akhir diukur pada saat sehari sebelum panen. Pengukuran dilakukan pada sampel rumpun setiap petak percobaan. Setiap petak percobaan dipilih lima rumpun padi sebagai tanaman sampel. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan mistar, dengan mengukur batang tertinggi pada setiap rumpun padi dari permukaan tanah.

d. Berat gabah kering panen

Berat gabah kering panen ditimbang dengan menggunakan timbangan sesaat setelah gabah dirontokkan dari malainya. Berat gabah kering panen ditimbang untuk produksi gabah setiap petak lahan percobaan.

e. Berat gabah kering giling

Berat gabah kering giling ditimbang dengan menggunakan timbangan setelah dilakukan pengeringan gabah kering panen. Pengeringan dilakukan dengan menjemur gabah kering panen di bawah sinar matahari langsung selama kurang lebih tujuh hari. Penjemuran dilakukan selama 3 jam setiap harinya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada lahan sawah padi (*Oryza sativa*) di Dukuh Nandan, Desa Demakan, Kecamatan Mojolaban, Kabupaten Sukoharjo yang terletak pada $07^{\circ} 36' 25,7''$ LS dan $110^{\circ} 52' 43,0''$ BT dengan ketinggian tempat 123 m di atas permukaan laut dan rata-rata curah hujan 1716 mm/tahun. Menurut data Dinas Pertanian Kabupaten Sukoharjo (2011), semua penggunaan lahan pertanian yang produktif di wilayah desa Demakan dimanfaatkan sebagai lahan sawah. Adapun tanaman yang dibudidayakan didominasi oleh padi sawah dengan rata-rata persentase keberhasilan panen sekitar 66% dari jumlah luasan lahan yang dimanfaatkan untuk budidaya padi sawah di lapangan.

Lahan sawah yang digunakan untuk pelaksanaan penelitian ini bukan termasuk lahan sawah yang komersial. Budidaya padi hanya merupakan usaha sampingan keluarga, sehingga pemilik lahan tidak begitu memperhatikan mengenai penggunaan pupuk dalam budidaya padi. Penambahan pupuk dalam budidaya padi selalu dilakukan, terlebih penambahan pupuk anorganik dalam jumlah besar melebihi standar kebutuhan pupuk tanaman padi. Hal ini dilakukan karena menurut masyarakat sekitar, sebagian besar tanah sawah di daerah Dukuh Nandan, Desa Demakan bukan lagi merupakan tanah yang subur. 'Bukan tanah subur' yang dimaksudkan oleh masyarakat sekitar adalah hilangnya lapisan olah tanah atas (terkurasnya hara tanah pada lapisan atas) akibat kegiatan masyarakat yang menggunakan lapisan atas tanah sawah sebagai bahan untuk membuat genteng.

Lahan sawah yang digunakan untuk pelaksanaan penelitian ini terletak pada daerah lahan persawahan, dengan dominasi vegetasi pohon jati dan pohon pisang di sekitarnya. Lokasi penelitian ini termasuk lahan sawah irigasi yang memanfaatkan air sungai terdekat sebagai sumber pengairan. Kebiasaan pola tanam petani pemilik pada lahan sawah terkait yaitu dengan selalu menanam padi untuk setiap musim tanam. Hal ini mengartikan bahwa dalam tiga kali musim tanam dalam setahun, lahan terus dimanfaatkan untuk budidaya padi tanpa ada sistem rotasi tanam.

commit to user

B. Analisis Tanah Awal

Tabel 5. Hasil analisis tanah awal

No.	Sifat Tanah	Hasil	Pengharkatan*)
1.	pH H ₂ O	5,9	Agak masam
2.	pH KCl	4,8	Masam
3.	BO	3,69%	Tinggi
4.	C-Organik	2,14%	Sedang
5.	N-Total	0,13%	Rendah
6.	C/N	17,05	Tinggi
7.	P Tersedia	1,43 ppm	Sangat rendah
8.	K Tertukar Tanah	0,13 me%	Sangat rendah
9.	KPK	31,37 me%	Tinggi

Sumber : Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian UNS 2012

*) = pengharkatan menurut Balai Penelitian Tanah (Balittanah) 2005.

Berdasarkan analisis tanah awal yang telah dilakukan di laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta, tanah desa Demakan kecamatan Mojolaban termasuk jenis tanah Inceptisol. Tabel 5 menunjukkan bahwa tanah sawah Inceptisol mempunyai pH aktual (H₂O) agak masam yaitu 5,9 dan pH potensial (KCl) masam sebesar 4,8. Dalam hal ini nilai pH tersebut bukan merupakan nilai pH optimum untuk padi, seperti yang dikemukakan Hardjowigeno dan Rayes (2005) bahwa nilai pH optimum untuk padi sekitar 6,6. Pada pH 6,6 akan terjadi pembebasan N organik menjadi NH₄⁺ dan pembebasan P sukar larut oleh mikroorganismenya berlangsung cepat, ketersediaan Cu, Fe, Mn, Mo dan Zn cukup, serta konsentrasi unsur-unsur yang mempengaruhi penyerapan hara atau unsur beracun, seperti Al, Fe, Mn dan CO₂, asam organik dan H₂S adalah rendah.

Kandungan bahan organik pada tanah tersebut tergolong tinggi, yaitu 3,69%. Kandungan bahan organik yang tinggi dikarenakan kebiasaan petani yang selalu meninggalkan sebagian biomassa padi pada saat panen. Sehingga tanah tersebut selalu mendapatkan masukan bahan organik kembali, walaupun diketahui bahwa petani tidak pernah memberikan masukan pupuk organik pada tanah terkait. Tingginya kandungan bahan organik pada tanah tersebut juga diikuti oleh tingginya nilai kapasitas pertukaran kation (KPK) sebesar 31,37 me%, hal ini sejalan dengan pernyataan Bohn *et al.* (1979) bahwa bahan organik bermanfaat dalam

pembentukan struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, penyangga pH tanah, dan meningkatkan kapasitas menahan air.

Tabel 5 juga menunjukkan bahwa nilai C/N rasio tanah tersebut tergolong tinggi yaitu sebesar 17,05. Hal ini terjadi karena lebih rendahnya kandungan nitrogen total tanah yang hanya mencapai 0,13% dibandingkan dengan kandungan karbon organik tanah yaitu sebesar 2,14%. Nilai C/N rasio tinggi mengartikan bahwa bahan organik yang terkandung pada tanah tersebut belum terurai secara sempurna dan akan membusuk lebih lama bila dibandingkan tanah dengan C/N rasio yang rendah. Proses penguraian yang lama tersebut akan berpengaruh terhadap ketersediaan kandungan unsur-unsur hara seperti N, P, K dan S.

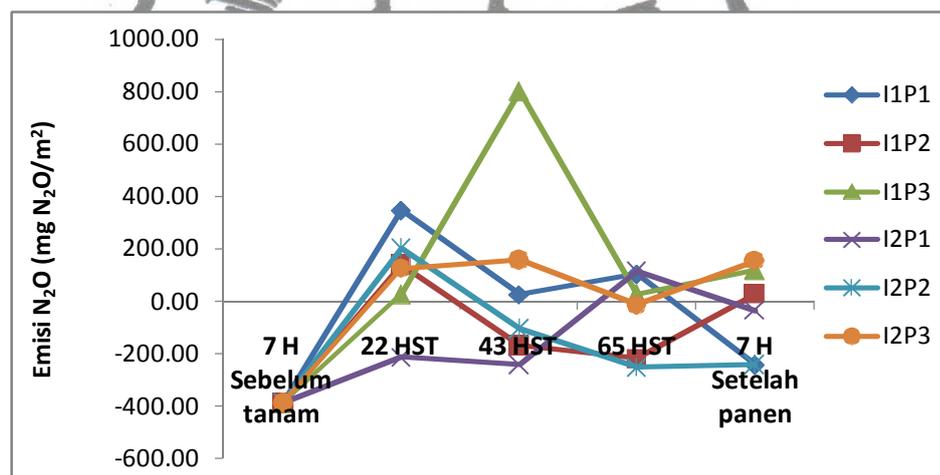
C. Pengaruh Perlakuan terhadap Dinamika Emisi Gas N₂O (Nitro oksida)

Pemanasan bumi secara global akibat terjadinya emisi gas rumah kaca ke atmosfer cenderung mengalami peningkatan dari waktu ke waktu akibat meningkatnya aktivitas manusia. Peningkatan suhu udara global menyebabkan terganggunya kondisi iklim global dan aktivitas makhluk hidup di muka bumi. Gas nitro-oksida atau *nitrous oxide* (N₂O) merupakan salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan oleh jasad renik di lahan sawah, yang terdiri atas persenyawaan hara nitrogen dan oksigen. Gas tersebut dapat merugikan bagi lingkungan, karena selain sebagai salah satu penyebab pemanasan global bumi, gas ini juga dapat merusak lapisan ozon. Peningkatan aktivitas manusia dalam mengelola lahan persawahan bisa meningkatkan kandungan nitrogen tersedia dalam tanah melalui pemupukan nitrogen dan pemberian bahan organik. Berdasarkan data model statistika Departemen Pertanian (2007), emisi global yang bersumber dari pemupukan pupuk kimia pada lahan pertanian di Indonesia diestimasikan sebesar 15 Gg N₂O dan 23 Gg NO₂ per tahun. Meskipun emisi gas nitro-oksida jauh lebih rendah daripada emisi gas karbondioksida, seperti yang dikemukakan dalam IPCC (2001) bahwa gas nitro-oksida dapat menyerap panas 310 kali lebih kuat dibandingkan gas karbondioksida di atmosfer. Selain itu, gas nitro-oksida di atmosfer bisa tinggal lebih lama dan lebih stabil daripada gas karbondioksida ataupun gas metana.

Emisi gas nitro-oksida dari dalam tanah utamanya dihasilkan oleh adanya proses mikrobiologi di dalam tanah melalui proses nitrifikasi autotropik dan

denitrifikasi heterotropik (Ambus 1998 dalam Muller dan Sherlock 2004). Adapun faktor utama yang mempengaruhi emisi gas nitro-oksida dari dalam tanah adalah kondisi aerasi tanah yang berhubungan dengan kelembaban tanah dan curah hujan, suhu tanah, dan N mineral tersedia (NH_4^+ , NO_3^- dan NO_2^-). Faktor tambahan lain yang juga mempengaruhi emisi gas nitro-oksida adalah kandungan karbon dan pH tanah. Bagaimana pun juga faktor-faktor tersebut bukan merupakan faktor yang berpengaruh tunggal terhadap emisi gas nitro-oksida, tetapi interaksi diantara beberapa faktor tersebut yang menentukan besarnya emisi gas nitro-oksida dari dalam tanah (Syakila dan Kroeze 2011 dalam Hickman *et al.* 2011).

Berikut ini dinamika fluks gas nitro-oksida saat sebelum tanam, selama pertumbuhan tanaman padi hingga setelah panen pada setiap perlakuan :



Gambar 1. Dinamika fluks emisi gas N₂O saat sebelum tanam, 22 HST^{*)}, 43 HST^{*)}, 65 HST^{*)} dan setelah panen pada setiap perlakuan.

Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

P1: Pemupukan dosis petani

I2: Sistem pengairan metode konvensional

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

^{*)}HST : Hari Setelah Tanam

P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

Dinamika emisi gas nitro-oksida dalam budidaya padi saat sebelum tanam, selama masa pertumbuhan tanaman, hingga saat setelah panen pada setiap perlakuan terlihat sangat fluktuatif dari data yang disajikan pada gambar 1. Berdasarkan sajian gambar 1 emisi gas nitro-oksida tertinggi sebesar 801,59 mg N₂O/m²/43 HST. Emisi gas nitro-oksida terendah terlihat pada saat 7 hari sebelum

panen sebesar $-386,81 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2$. Pada data dinamika emisi gas nitro-oksida tersebut terlihat bahwa terjadi peningkatan emisi gas nitro-oksida dari 7 hari sebelum tanam hingga mencapai 22 HST pada saat fase pembentukan anakan aktif, dan kemudian emisi gas nitro-oksida mengalami fluktuasi yang beragam untuk kondisi pada masing-masing perlakuan sampai memasuki fase setelah panen.

Meningkatnya emisi gas nitro-oksida dari saat 7 hari sebelum tanam hingga mencapai umur 22 HST dikarenakan pada saat awal pertumbuhan padi tanah telah mendapatkan tambahan masukan pupuk anorganik. Sehingga kecenderungan terjadi perubahan senyawa hara N di dalam tanah baik NH_4^+ yang mengalami proses nitrifikasi menjadi NO_3^- maupun terjadinya reduksi NO_3^- menjadi gas nitro-oksida melalui denitrifikasi saat tanaman padi belum sepenuhnya memanfaatkan hara N yang tersedia di dalam tanah.

Emisi gas nitro-oksida pada 43 HST saat tanaman padi dalam fase pertumbuhan primordia bunga mengalami peningkatan pada beberapa perlakuan dibanding pada 22 HST dan mencapai emisi gas nitro-oksida tertinggi dalam masa pertumbuhan padi. Peningkatan emisi gas nitro-oksida tersebut diantaranya terjadi pada perlakuan sistem pengairan metode SRI dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (IIP3) mengalami peningkatan dari $26,60 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/22$ hari menjadi $801,59 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/43$ hari dan perlakuan sistem pengairan metode konvensional dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (I2P3) yang mengalami peningkatan emisi gas dari $127,62 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/22$ hari menjadi $159,94 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/43$ hari.

Peningkatan emisi gas nitro-oksida pada fase pertumbuhan primordia bunga ini sejalan dengan hasil penelitian Wihardjaka (2010) yang menunjukkan emisi nitro-oksida tertinggi terjadi saat tanaman padi dalam fase pertumbuhan primordia bunga (45 HST). Fase pertumbuhan primordia bunga merupakan awal pertumbuhan generatif atau reproduktif tanaman padi. Produksi eksudat akar tanaman padi lebih aktif terjadi saat awal fase pertumbuhan reproduktif terutama pada saat primordia bunga. Eksudat akar dibutuhkan mikroba dalam metabolismenya sebagai sumber energi atau substrat dalam melakukan aktivitasnya, termasuk bakteri denitrifikasi pada kondisi tanah anaerobik. Hal inilah yang memacu bakteri denitrifikasi untuk bekerja mengemisikan gas nitro-oksida. *Pseudomonas* dan *Achromobacter*

merupakan genus-genus bakteri yang melaksanakan denitrifikasi yang paling banyak dijumpai dalam tanah sawah. Dilaporkan bahwa keberadaan mikrobiota *denitrifier* hanya 0,1 hingga 5% dari mikrobiota yang ada di dalam tanah, dengan kerapatan populasi sebesar 10^5 - 10^6 cfu per gram tanah.

Menurut Sembiring *et al.* (2007) periode antara primordia bunga hingga pembungaan merupakan waktu serapan N yang relatif cepat dengan kebutuhan N yang lebih tinggi dibandingkan dengan periode tumbuh lainnya, yang bertepatan dengan perkembangan rambut akar pada lapisan permukaan tanah. Hal ini yang menyebabkan tanaman mengeluarkan eksudat akar lebih banyak di sekitar perakaran padi sawah. Eksudat akar tersebut digunakan mikroba sebagai sumber energi atau substrat dalam melakukan aktivitasnya, antara lain berupa bahan organik dan nitrat. Sehingga kondisi ini memacu perkembangan bakteri denitrifikasi dalam melakukan aktivitasnya dalam tanah. Dapat dipahami jika dalam kondisi tersebut terjadi persaingan antara tanaman dengan bakteri denitrifikasi dalam memperebutkan nitrat (NO_3^-). Diduga bahwa laju denitrifikasi lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan tanaman menyerap N dalam bentuk nitrat sehingga dihasilkan peningkatan emisi gas nitro-oksida pada fase primordia bunga.

Peningkatan emisi gas nitro-oksida pada fase primordia tersebut sebagai hasil interaksi antara nitrat dengan bakteri denitrifikasi yang menggunakan nitrat sebagai substrat dalam melakukan aktivitasnya. Interaksi tersebut juga didukung dengan hasil uji korelasi antara emisi gas nitro-oksida dengan kandungan nitrat dalam tanah pada fase primordia bunga (43 HST) yang menunjukkan bahwa keduanya berkorelasi negatif ($r = -0,002$). Peningkatan emisi gas nitro-oksida berbanding terbalik dengan kandungan nitrat. Ketersediaan nitrat dalam tanah tidak nyata mempengaruhi besarnya emisi gas nitro-oksida ($p > 0,05$) pada fase primordia bunga.

Perbedaan kombinasi perlakuan sistem pengelolaan air (pengairan) dan dosis pemupukan pada budidaya padi akan menunjukkan perbedaan pola dinamika emisi gas nitro-oksida selama masa pertumbuhan padi. Dinamika emisi gas nitro-oksida pada masing-masing perlakuan (Gambar 1) menunjukkan fluktuasi yang variatif dalam satu periode tanam padi. Fluktuasi emisi gas nitro-oksida tersebut salah satunya ditentukan oleh interaksi yang terjadi antara sistem pengairan lahan

dengan dosis dan jenis pupuk yang diaplikasikan. Oleh karena itu interaksi yang terjadi pada masing-masing kombinasi perlakuan akan menghasilkan fluktuasi emisi gas nitro-oksida yang berbeda selama satu periode tanam padi.

Interaksi antara sistem pengairan dengan pemupukan juga akan berpengaruh terhadap efisiensi pemupukan pada setiap perlakuan yang diujikan, khususnya efisiensi pemupukan N. Menurut Siregar dan Marzuki (2011), efisiensi pemakaian pupuk N di lahan padi sawah dapat dimaksimalkan dengan pemupukan tepat waktu yaitu disesuaikan dengan tahapan perkembangan tanaman padi dimana puncak kebutuhan nutrisi N terjadi, dan dengan cara penempatan pupuk dalam tanah. Selain itu pemanfaatan inhibitor (penghambat) nitrifikasi dan penggunaan varietas yang efisien dalam penyerapan N juga dapat dilakukan. Efisiensi pemupukan N diduga memberikan pengaruh terhadap emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan oleh lahan sawah. Semakin tinggi efisiensi pemupukan N pada lahan sawah, maka semakin rendah persentase kehilangan N pada lahan terkait baik melalui pelindian, volatilisasi maupun denitrifikasi. Pada tanaman padi sawah, penyerapan hara N terbanyak terjadi pada fase pembibitan, pertunasan, primordia bunga hingga sampai pembungaan. Dalam hal ini efisiensi unsur hara (khususnya hara N) mengalami perubahan menurut umur tanaman. Sehingga dapat dipahami jika pada setiap perlakuan yang diujikan menghasilkan dinamika emisi gas nitro-oksida yang fluktuatif dalam satu periode tanam padi.

Dalam hal ini efisiensi pemupukan N dikaitkan sebagai perbandingan antara penggunaan dosis pupuk N, kandungan ketersediaan N dan produksi padi dengan besarnya emisi gas nitro-oksida selama masa pertumbuhan padi. Pengkajian mengenai hubungan emisi gas nitro-oksida dengan variabel pembandingan efisiensi pemupukan N perlu didukung dengan adanya upaya untuk meningkatkan efisiensi pemupukan N pada lahan sawah, guna mengoptimalkan penyerapan N oleh tanaman sehingga menekan kesempatan hara N teremis ke atmosfer dalam bentuk gas nitro-oksida.

Adanya emisi gas nitro-oksida yang bernilai negatif dapat mengindikasikan bahwa besar emisi gas tersebut berada di bawah batas deteksi minimum emisi gas nitro-oksida. Hasil emisi gas nitro-oksida negatif juga dilaporkan oleh Verchot *et al.* (1999) dalam Pinto *et al.* (2002) dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa hasil

pengukuran fluks gas nitro-oksida antara -0,18 dan 0,18 ng N₂O-N/cm²/jam pada lahan padang rumput di daerah Brasil, pengukuran fluks dilakukan pada awal musim hujan. Begitu juga halnya dengan hasil penelitian Levine (1996) dalam Pinto *et al.* (2002), pengukuran fluks gas nitro-oksida di padang rumput daerah Afrika Selatan juga menunjukkan fluks nitro-oksida yang sangat rendah, bahkan saat setelah turun hujan dan adanya penggenangan buatan.

Emisi gas nitro-oksida yang bernilai negatif juga diperkirakan karena terjadi penyerapan nitro-oksida oleh tanah seperti yang dikemukakan oleh Byrnes (1990) dalam Syamsuhaidi (2010) dan pelarutan nitro-oksida dalam air genangan. Dalam hal ini diketahui bahwa kelarutan nitro-oksida dalam air adalah 56,7 cm³ dalam 100 cm³ air pada 25⁰C dan 130 cm³ dalam 100 cm³ pada 0⁰C. Semakin panas suhu air maka akan semakin sedikit kelarutan gas nitro-oksida. Apabila air irigasi yang masuk dalam lahan sawah percobaan belum jenuh dari gas-gas terlarut, maka air tersebut akan banyak melarutkan gas nitro-oksida yang teremisikan dari dalam tanah sawah terkait.

D. Pengaruh Perlakuan terhadap Hubungan Kandungan Nitrogen Total Tanah dan Dinamika Emisi Gas N₂O (nitro-oksida)

Peranan unsur nitrogen (N) dalam tanaman yang terpenting adalah sebagai penyusun atau sebagai bahan dasar protein dan pembentukan klorofil. N memberikan pengaruh besar terhadap perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Tanaman padi dapat menggunakan N mineral yang berasal dari pupuk N mineral dan bahan organik. N merupakan unsur hara penting yang bersifat *mobile*, umumnya pupuk N anorganik tidak digunakan secara efisien oleh tanaman dan cenderung hilang dalam bentuk gas.

N dalam tanah terus menerus bergerak dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain. Pergerakan N dalam tanah tersebut karena beberapa proses kimia yang terjadi antara lain mineralisasi, amonifikasi, nitrifikasi, dan imobilisasi. Hilangnya N dalam tanah dapat terjadi melalui proses denitrifikasi, volatilisasi, pencucian oleh air, dan penyerapan oleh tanaman. Menurut Thorn dan Mikita (2000) nitrogen terdapat dalam tanah berupa N-organik seperti asam amino, protein dan N-anorganik seperti, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, N₂O, NO, dan N₂.

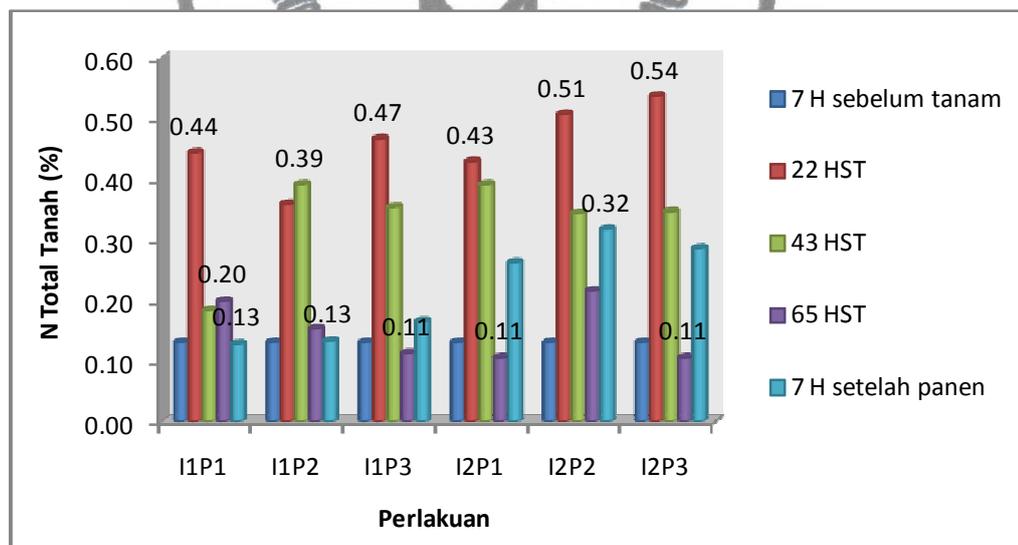
Keadaan anaerob pada tanah sawah akan menyebabkan perombakan bahan-bahan organik menjadi lebih lambat dan kurang sempurna dibandingkan dengan tanah pada kondisi aerob. Dengan demikian, kondisi tanah anaerob dapat membatasi ketersediaan unsur-unsur hara yang bersumber dari bahan organik, salah satunya adalah nitrogen (N) tanah. Pengelolaan air berperan sangat penting dan merupakan salah satu kunci keberhasilan peningkatan produksi padi di lahan sawah. Sistem pengairan pada budidaya padi akan berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan air dan pemupukan. Penggenangan pada lahan sawah (sistem pengairan konvensional) seperti yang dilakukan petani pada umumnya dapat menyebabkan tingginya kehilangan air melalui perkolasi yang di dalamnya juga terlarut unsur hara yang bersifat *mobile*, sehingga tingkat kehilangan hara juga menjadi tinggi.

Salah satu sistem pengelolaan air pada lahan sawah yang diduga mampu memberikan efisiensi penggunaan air dan menekan laju kehilangan hara adalah sistem irigasi berselang. Sistem irigasi ini dikenal dan diterapkan pada metode SRI (*System of Rice Intensification*) dalam budidaya padi. Prinsip pengelolaan air sesuai metode SRI ini adalah lahan sawah tidak terus menerus direndam (digenangi) air tetapi cukup dijaga agar tetap lembab. Pemberian air ke lahan sawah dengan level tertentu kemudian pemberian air berikutnya dilakukan pada periode tertentu setelah genangan air pada level tersebut surut hingga tidak terjadi genangan.

Pemberian tambahan pupuk anorganik pada lahan pertanian merupakan salah satu upaya untuk mencukupi kebutuhan unsur hara tersedia dan dapat langsung digunakan oleh tanaman. Nitrogen merupakan salah satu unsur hara yang penting bagi tanaman padi dan kekurangan N dapat membatasi produksi padi. Oleh karena itu kandungan N dalam tanah akan sangat menentukan perkembangan dan pertumbuhan tanaman padi. Aplikasi pemupukan N dan bahan organik sebagai sumber utama N dalam tanah dilaporkan oleh Syakila dan Kroeze (2011) dalam Hickman *et al.* (2011) menyumbangkan sekitar 60% emisi gas nitro-oksida secara global dari bidang pertanian.

Gambar 2 menyajikan mengenai gambaran dinamika kandungan N total tanah dalam satu musim tanam padi pada setiap perlakuan yang diujikan. Gambar 2 menunjukkan bahwa adanya perbedaan fluktuasi kandungan N-total tanah pada masing-masing perlakuan. Perbedaan fluktuasi tersebut akibat adanya perbedaan

faktor perlakuan yang diujikan. Kandungan N total tanah tertinggi pada setiap perlakuan terlihat pada 22 HST saat padi dalam fase pembentukan anakan aktif sampai maksimal (Gambar 2). Kandungan N total tanah saat 22 HST pada setiap perlakuan menunjukkan kisaran nilai N total tanah yang termasuk sedang (0,21-0,50%) sampai tinggi (0,51-0,75%) berdasarkan pengharkatan menurut Balittanah (2005). Sama halnya dengan peningkatan emisi gas nitro-oksida dalam pembahasan sebelumnya yang menyatakan bahwa emisi gas nitro-oksida mengalami peningkatan dari saat sebelum tanam sampai padi memasuki fase pembentukan anakan aktif, begitu juga dengan kandungan N total tanah yang mengalami peningkatan dari sebelum tanam hingga saat 22 HST dikarenakan adanya masukan pupuk sebagai tambahan asupan unsur hara pada saat awal pertumbuhan padi. Masukan pupuk tersebut yang meningkatkan kandungan N total tanah, yang diharapkan dapat dimanfaatkan oleh tanaman padi secara optimal.



Gambar 2. Dinamika N total tanah saat 7 hari sebelum tanam, 22 HST^{*)}, 43 HST^{*)}, 65 HST^{*)} dan 7 hari setelah panen pada setiap perlakuan.

Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

I2: Sistem pengairan metode konvensional

^{*)}HST : Hari Setelah Tanam

P1: Pemupukan dosis petani

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

Saat memasuki awal fase pematangan yang ditandai dengan pembungaan pada 65 HST, kandungan N total pada masing-masing perlakuan mengalami penurunan. Berdasarkan pengharkatan kandungan N-total tanah menurut Balittanah (2005), kandungan N-total tanah pada setiap perlakuan saat 65 HST termasuk rendah dengan kisaran 0,10 hingga 0,20%. Hal ini dikarenakan pada awal fase pematangan yang ditandai dengan pembungaan, tanaman padi membutuhkan hara N dalam jumlah yang besar dalam proses pembentukan bulir padi. Dalam hal ini N tanah terkuras karena dimanfaatkan oleh tanaman padi, sehingga kandungan N-total tanah pada 65 HST menjadi rendah, mengalami penurunan jika dibandingkan pada 22 HST dan 43 HST.

Berdasarkan hasil analisis ragam, interaksi antara perlakuan sistem pengairan dan dosis pemupukan ternyata tidak mempengaruhi besar kandungan N-total tanah secara nyata, baik pada 22 HST, 43 HST maupun 65 HST (Lampiran 6A). Namun diketahui bahwa perlakuan sistem pengairan dan dosis pemupukan masing-masing secara mandiri berpengaruh nyata terhadap rata-rata kandungan N-total tanah selama satu musim tanam padi (Lampiran 6A). Sistem pengairan antara metode SRI dan konvensional secara mandiri nyata memberikan perbedaan hasil terhadap kandungan N-total tanah pada masing-masing perlakuan. Begitu juga dengan perlakuan pemupukan yang secara mandiri memberikan pengaruh yang nyata terhadap rata-rata kandungan N-total tanah selama satu musim tanam padi (Tabel 6).

Berdasarkan hasil analisis perbandingan dengan metode Uji Jarak Berganda Duncan pada faktor perlakuan tunggal pemupukan (Lampiran 7A), menunjukkan perbedaan nyata antara rata-rata kandungan N-total tanah selama satu musim tanam padi pada perlakuan pemupukan dosis petani (P1) dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (P3). Pada tabel 6 diketahui perlakuan pemupukan dosis petani (P1) dengan rata-rata kandungan N-total tanah sebesar 0,24% dan perlakuan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (P3) yang menunjukkan rata-rata kandungan N-total tanah sebesar 0,26%.

Tabel 6. Hubungan perlakuan pemupukan terhadap rata-rata N-total tanah

Perlakuan	Rata-rata N-total tanah (%)
Pemupukan dosis petani setempat (P1)	0,24a
Pemupukan rekomendasi Permentan (P2)	0,20ab
Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (P3)	0,23b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata dengan uji Jarak Berganda Duncan pada taraf kepercayaan 95%.

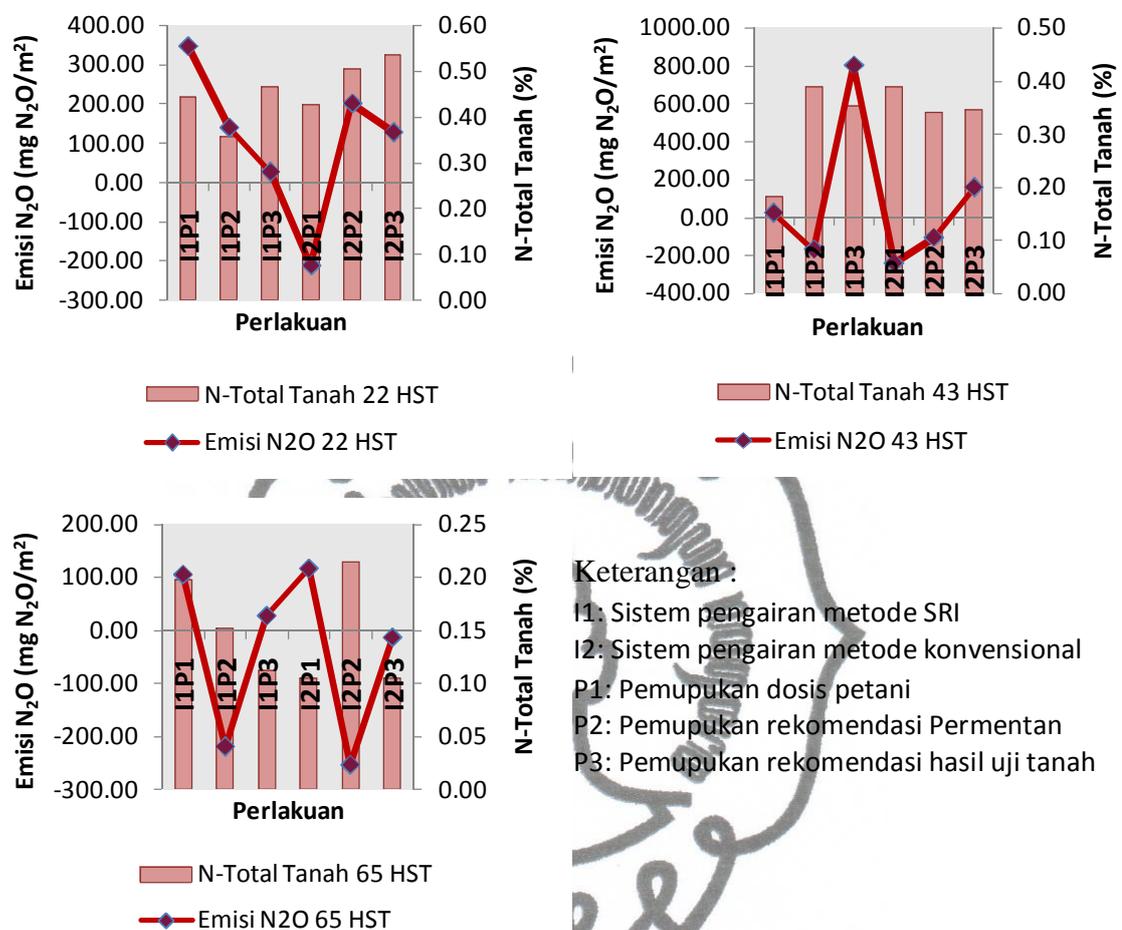
Sifat kimia tanah sawah merupakan sifat tanah sawah yang sangat penting dalam hubungannya dengan teknologi pemupukan yang efisien. Pada tanah tergenang N merupakan hara yang tidak stabil karena adanya proses mineralisasi bahan organik (amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi) oleh mikroba tanah tertentu. Proses-proses mineralisasi tersebut akan memacu pelepasan gas nitro-oksida. Berawal dari proses mineralisasi bahan organik yang membentuk NH_4^+ (amonifikasi) kemudian menghasilkan NO_3^- (nitrifikasi) akibat terjadinya persenyawaan dengan O_2 (oksigen), hingga terjadinya denitrifikasi yang menghasilkan gas nitro-oksida (N_2O).

Kandungan N-total tanah saat tanaman padi dalam fase pembentukan anakan aktif sampai maksimal (22 HST) mencapai kisaran sedang hingga tinggi pada masing-masing perlakuan menurut pengharkatan Balittanah (2005), yaitu berkisar 0,40-0,55% (Gambar 3). Perlakuan sistem pengairan metode konvensional dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (I2P3) memiliki kandungan N-total tanah tertinggi sebesar 0,54% dibandingkan dengan semua perlakuan yang diujikan. Tingginya kandungan N-total tanah tersebut ternyata tidak diikuti dengan besar emisi gas nitro-oksida yang tertinggi. Hal ini sesuai dengan hasil uji korelasi (*Pearson correlation*) antara fluks emisi gas nitro-oksida dengan kandungan N-total tanah pada 22 HST yang menunjukkan korelasi negatif, yang ditunjukkan dengan nilai $r = -0,209$ ($p > 0,05$), mengartikan bahwa kenaikan emisi gas nitro-oksida diikuti oleh penurunan kandungan N-total tanah. Namun kenaikan emisi gas nitro-oksida tersebut tidak akan selalu diikuti oleh penurunan kandungan N-total yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi $p > 0,05$ (Lampiran 8A), terjadi demikian karena hara N yang mengalami transformasi menjadi gas nitro-oksida pada suatu ketika

akan mengalami penambahan kandungan hara N dalam tanah dari adanya proses mineralisasi bahan organik tanah yang masih berlangsung.

Gambar 3 menunjukkan bahwa emisi gas nitro-oksida tertinggi saat 22 HST terlihat pada perlakuan sistem pengairan metode SRI dengan pemupukan dosis petani (IIP1) dengan besar emisi 346,89 mg $N_2O/m^2/22$ hari. Perlakuan IIP1 menghasilkan emisi gas nitro-oksida tertinggi dengan kandungan N-total tanah 0,44% mengindikasikan bahwa telah terjadi transformasi hara N dari pupuk N yang diberikan menjadi bentuk gas. Diduga transformasi hara N terjadi setelah pemberian masukan pupuk N. Jenis pupuk N yang diberikan dalam perlakuan IIP1 adalah pupuk amonium sulfat (ZA) dengan dosis sebesar 768 kg ZA/ha. Tingginya dosis pupuk memungkinkan sejumlah hara $N-NH_4^+$ yang bersumber dari pupuk ZA mengalami persenyawaan dengan O_2 membentuk NO_3^- (nitrifikasi). Hal ini terutama dipacu oleh kondisi tanah yang cukup oksidatif pada petak perlakuan karena sistem pengairan yang macak-macak. NO_3^- yang dihasilkan akan diserap oleh tanaman atau terdenitrifikasi. Proses denitrifikasi inilah yang mengemisikan gas nitro-oksida ke atmosfer. Fenomena demikian juga dipengaruhi oleh tingkat efisiensi pupuk N yang diberikan. Pada fase 22 HST diketahui bahwa kondisi tanaman padi belum mampu memanfaatkan hara N secara optimal, karena ketersediaan hara N yang melebihi kapasitas serapan tanaman yang menyebabkan hilangnya hara N dalam bentuk yang tidak tersedia lagi bagi tanaman. Berdasarkan perbandingan masukan pupuk N dengan emisi gas nitro-oksida dapat dikatakan bahwa petak perlakuan IIP1 memiliki tingkat efisiensi pemupukan N yang rendah.

Perlakuan I2P3 dengan kandungan N-total tertinggi menunjukkan emisi gas nitro-oksida yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan IIP1, yaitu sebesar 127,62 mg $N_2O/m^2/22$ hari. Terjadi demikian karena petak perlakuan I2P3 dalam kondisi anaerob dengan pengairan konvensional, penggenangan setinggi 4-5 cm. Kondisi tersebut menyebabkan transformasi hara $N-NH_4^+$ yang bersumber dari masukan pupuk N menjadi NO_3^- menjadi terbatas, karena kondisi anaerob menyebabkan NH_4^+ memiliki kesempatan yang sangat kecil untuk bersenyawa dengan O_2 , hal ini sejalan dengan pernyataan Siagian (2004) bahwa penggenangan pada tanah sawah menyebabkan udara dalam tanah akan terlepas dan gas-gas akan berdifusi termasuk oksigen (O_2).



Gambar 3. Kandungan N-total tanah dan dinamika emisi gas N₂O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.

Namun, jika dikaji kembali terlihat bahwa perlakuan sistem pengairan metode konvensional dengan pemupukan dosis petani (I2P1) menghasilkan emisi gas nitro-oksida yang terendah diantara semua perlakuan, yaitu sebesar -212,16 mg N₂O/m²/22 hari (Gambar 3). Jika dibandingkan dengan perlakuan I2P3 yang memiliki kesamaan dalam sistem pengairan, perlakuan I2P1 menghasilkan emisi gas nitro-oksida yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan adanya hubungan dengan jenis, dosis, dan efisiensi pemupukan pada masing-masing perlakuan. Perlakuan I2P3 memperoleh masukan pupuk N dalam bentuk pupuk Urea (CO(NH₂)₂) yang mengandung 46% N. Sedangkan perlakuan I2P1 memperoleh masukan pupuk N dalam bentuk pupuk amonium sulfat (ZA) yang diketahui bahwa kandungan N dalam pupuk ZA hanya sebesar 21% (Departemen Pertanian, 2000). Hal tersebut

yang menyebabkan N dalam bentuk tersedia (NH_4^+) pada pupuk Urea dua kali lebih banyak dibandingkan pada pupuk ZA. Semakin mudah jenis pupuk N dalam menyediakan hara N dalam bentuk tersedia bagi tanaman, akan semakin besar kemungkinan pupuk tersebut memiliki tingkat efisiensi yang rendah. Efisiensi pemupukan N juga ditentukan oleh umur tanaman padi. Sehingga hal ini berpengaruh terhadap hasil emisi gas nitro-oksida pada perlakuan I2P3 yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan I2P1 saat tanaman padi pada fase pembentukan anakan aktif (22 HST).

Pada 43 HST saat tanaman padi dalam fase pembentukan primordia terjadi perubahan fluks emisi gas nitro-oksida dari fase sebelumnya. Penurunan fluks gas yang sangat mencolok terjadi pada perlakuan sistem pengairan metode SRI dengan pemupukan dosis petani (I1P1). Emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan oleh perlakuan ini sebesar $26,48 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/43 \text{ hari}$. Penurunan emisi gas tersebut terjadi karena rendahnya kandungan N-total tanah yang hanya mencapai 0,18%. Hal ini menyebabkan transformasi hara N kemungkinan terjadi sangat rendah. Rendahnya kandungan N dalam tanah akan menghambat aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam proses mineralisasi hara N mengingat nitrogen adalah bahan utama dalam proses mineralisasi tersebut.

Penurunan emisi gas nitro-oksida yang nyata juga ditunjukkan oleh perlakuan sistem pengairan metode konvensional dengan pemupukan rekomendasi Permentan (I2P2), bermula dari emisi gas sebesar $201,58 \text{ N}_2\text{O/m}^2/22 \text{ hari}$ menjadi $-103,48 \text{ N}_2\text{O/m}^2/43 \text{ hari}$. Penurunan fluks emisi gas ini terjadi diduga karena kondisi tanah dengan penggenangan pada perlakuan tersebut yang menghambat proses denitrifikasi yang mengemisikan gas nitro-oksida, hal ini didukung oleh pernyataan Hardjowigeno dan Rayes (2005) yang menyatakan bahwa penggenangan pada tanah sawah akan memperkecil kesempatan terjadinya denitrifikasi setelah persediaan oksigen dalam tanah untuk bakteri pelaku denitrifikasi dalam jumlah yang terbatas. Selain itu, nilai negatif pada emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan oleh perlakuan I2P2 saat 22 HST mengindikasikan bahwa emisi gas tersebut berada di bawah batas deteksi minimum emisi gas nitro-oksida, yang dikarenakan adanya faktor tanah lain yang berpengaruh seperti yang telah dinyatakan pada pembahasan sebelumnya.

Pada 43 HST ini hampir pada setiap perlakuan yang diujikan mengalami penurunan emisi gas nitro-oksida yang juga diikuti oleh penurunan kandungan N-total tanah. Keadaan ini sesuai dengan hasil uji korelasi yang positif antara emisi gas nitro-oksida dengan kandungan N-total tanah pada fase 43 HST (Lampiran 8B) dengan nilai $r = 0,094$ ($p > 0,05$). Penurunan kandungan N-total tanah terus terjadi hingga tanaman padi memasuki fase pembungaan (65 HST) karena kebutuhan tanaman padi akan hara N yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan tanaman padi. Pengkajian lebih lanjut, terlihat bahwa saat tanaman padi dalam fase pembentukan primordia (43 HST) terjadi peningkatan emisi gas nitro-oksida mencapai $801,59 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/43 \text{ hari}$ yang diikuti dengan penurunan kandungan N-total tanah menjadi 0,35% pada perlakuan sistem pengairan metode SRI dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (I1P3).

Saat tanaman padi memasuki fase awal pematangan yang ditandai dengan pembungaan (65 HST), selain terjadi penurunan kandungan N-total tanah juga terjadi penurunan emisi gas nitro-oksida untuk masing-masing perlakuan. Beberapa perlakuan diketahui menghasilkan emisi gas di bawah batas deteksi minimum emisi gas nitro-oksida yang ditunjukkan dengan besar emisi bernilai negatif, diantaranya adalah perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan rekomendasi Permentan (I1P2) dengan rata-rata emisi gas sebesar $-218,69 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/65 \text{ hari}$, perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan rekomendasi Permentan (I2P2) dan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (I2P3) dengan besar emisi gas rata-rata berturut-turut $-252,64 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/65 \text{ hari}$ dan $-12,80 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2/65 \text{ hari}$.

Tidak sama halnya dengan dinamika kandungan N-total tanah yang mengalami penurunan seiring dengan pertumbuhan tanaman padi (Gambar 3), dinamika emisi gas nitro-oksida mengalami dinamika yang fluktuatif dalam satu periode tanam. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak hanya dengan adanya perbedaan faktor perlakuan dan pengaruh kandungan N-total tanah yang berpengaruh terhadap dinamika emisi gas nitro-oksida dalam masa pertumbuhan tanaman padi, tetapi juga pengaruh dari pergerakan hara N tersebut di dalam tanah seperti yang dikemukakan oleh Subagjono *et al.* (2004), bahwa pergerakan N di dalam tanah sawah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi

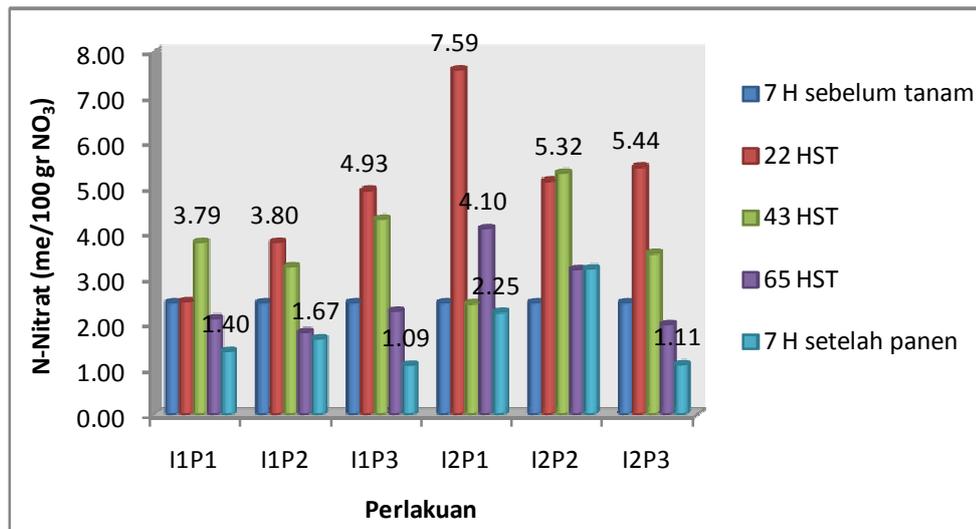
kelembaban tanah, suhu, pH tanah, ketersediaan N bagi tanaman, efisiensi pemupukan N dan aktivitas mikrobiota dalam tanah.

E. Pengaruh Perlakuan terhadap NH_4^+ dan NO_3^- Tanah dan Hubungannya dengan Dinamika Emisi Gas N_2O (nitro-oksida)

Dalam siklus biogeokimia nitrogen, terdapat lima proses yaitu amonifikasi, nitrifikasi, asimilasi nitrogen, denitrifikasi dan fiksasi nitrogen. Amonifikasi merupakan proses pembentukan amonia dari materi organik. Amonia juga dapat mengalami asimilasi menjadi asam amino dan dapat diasimilasi secara langsung oleh tanaman tingkat tinggi. Nitrifikasi merupakan reaksi oksidasi yaitu proses pembentukan nitrat dari amonia. Sedangkan asimilasi nitrogen adalah proses pemanfaatan nitrogen untuk pembentukan asam amino dalam protoplasma oleh bakteri. Denitrifikasi merupakan reaksi reduksi nitrat menjadi nitrit, nitrit oksida, nitro oksida, dan gas nitrogen organik.

Laju penambahan nitrogen yang bersifat antropogenik yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, terutama adalah penggunaan pupuk nitrogen pada lahan pertanian. Pemberian masukan N anorganik dan organik pada lahan pertanian sebagai sumber tambahan amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) akan memacu terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Kecepatan denitrifikasi meningkat dengan adanya peningkatan NO_3^- tanah dan peningkatan konsentrasi menuju ke tingkat tertentu yang konstan. Produksi nitro-oksida melalui proses nitrifikasi di dalam tanah juga meningkat sebanding dengan peningkatan konsentrasi substrat NH_4^+ . Oleh karena itu besarnya volatilisasi NH_3 juga menentukan ketersediaan N untuk nitrifikasi dan denitrifikasi.

Hara NH_4^+ dan NO_3^- dalam tanah mempunyai sifat dan perilaku spesifik. Kation NH_4^+ dapat: 1) terimobilisasi oleh mikroba tanah, 2) diserap akar tanaman, 3) terjerap koloid tanah pada kisi mineral lempung bertipe 2:1 atau oleh koloid humus, 4) teralihrupakan menjadi NH_3 dan teruapkan ke atmosfer, 5) ternitrifikasi menjadi NO_2^- dan selanjutnya menjadi NO_3^- . Sedangkan anion NO_3^- dapat mengalami: 1) terimobilisasi oleh mikroba tanah, 2) diserap akar tanaman, 3) terlindi bersama air drainase, 4) teruapkan ke atmosfer dalam bentuk gas N_2O , NO dan N_2 melalui denitrifikasi (Brady and Weil, 2002).



Gambar 4. Dinamika N-Nitrat tanah saat 7 hari sebelum tanam, 22 HST^{*)}, 43 HST^{*)}, 65 HST^{*)} dan 7 hari setelah panen pada setiap perlakuan.

Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

I2: Sistem pengairan metode konvensional

^{*)}HST : Hari Setelah Tanam

P1: Pemupukan dosis petani

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

Pada tanah kering NO_3^- adalah bentuk N-anorganik yang stabil. N-organik mengalami mineralisasi menjadi NH_4^+ (amonifikasi) yang selanjutnya teroksidasi (nitrifikasi) menjadi NO_2^- kemudian menjadi NO_3^- . Lain halnya pada pada tanah tergenang, tidak adanya O_2 dapat menghambat aktivitas *Nitrosomonas* (bakteri nitrifikasi) untuk mengoksidasi NH_4^+ sehingga termineralisasi berhenti sampai ke bentuk NH_4^+ . Namun dinamika N- NO_3^- dalam satu periode tanam padi dari awal sebelum tanam, saat masa pertumbuhan hingga fase setelah panen (Gambar 4) menunjukkan adanya perbedaan fluktuasi N- NO_3^- untuk masing-masing perlakuan yang diujikan.

Terlihat bahwa kandungan N- NO_3^- tertinggi dihasilkan oleh perlakuan sistem pengairan metode konvensional dengan pemupukan dosis petani (I2P1) sebesar 7,59 me/100 gr NO_3^- yang dianalisis pada saat fase 22 HST. Pada perlakuan ini dinamika N- NO_3^- juga terlihat sangat fluktuatif dalam satu periode tanam. Pada perlakuan pemupukan yang sama tetapi dengan perlakuan sistem pengairan SRI (I1P1) besar kandungan N- NO_3^- hanya mencapai 2,49 me/100 gr NO_3^- saat fase 22

HST. Fenomena demikian didukung oleh pernyataan Hardjowigeno dan Rayes (2005), karena pada tanah sawah yang tergenang air ditemukan lapisan tanah tipis di permukaan yang bersifat aerobik, sehingga pada lapisan tersebut terjadilah proses nitrifikasi sehingga terbentuk senyawa NO_3^- yang stabil dalam keadaan oksidatif. Sehingga dalam kondisi penggenangan tidak menutup kemungkinan sistem tanah mampu menghasilkan senyawa NO_3^- , bahkan dengan kandungan yang lebih tinggi dibandingkan kandungan N-NO_3^- yang dihasilkan oleh tanah dalam kondisi lembab (tidak tergenang).

Kandungan N-NO_3^- pada semua perlakuan mengalami peningkatan dari awal sebelum tanam sebesar 2,46 me/100 gr NO_3 hingga memasuki fase 22 HST dengan besar kandungan N-NO_3^- yang bervariasi. Peningkatan kandungan N-NO_3^- tersebut dikarenakan adanya pemberian masukan pupuk pada saat awal setelah penanaman. Pemberian masukan pupuk, terutama pupuk N anorganik akan meningkatkan kandungan N dalam bentuk tersedia di dalam tanah, salah satunya adalah N-NO_3^- . Hampir semua perlakuan yang diujikan menunjukkan bahwa terjadi penurunan kandungan N-NO_3^- setelah padi memasuki fase pembentukan primordia (43 HST) hingga fase awal pematangan. Bahkan setelah dilakukan pemberian masukan pupuk N tahap kedua pada 42 HST. Penurunan tersebut terus terjadi hingga fase 65 HST saat padi dalam fase awal pematangan sampai fase setelah panen.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan sistem pengairan dan pemupukan (Lampiran 6B) tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kandungan N-NO_3^- selama masa pertumbuhan padi, begitu pun interaksi antar kedua perlakuan. Namun di lain pihak perlakuan sistem pengairan dan pemupukan secara mandiri berpengaruh nyata terhadap kandungan N-NO_3^- pada saat tujuh hari setelah panen. Dalam hal ini, dapat disimpulkan bahwa perlakuan pemupukan selama satu periode tanam padi berpengaruh terhadap residu N-NO_3^- di dalam tanah setelah panen berlangsung. Perlakuan pemupukan secara mandiri memberikan hasil kandungan N-NO_3^- yang berbeda nyata (Lampiran 7B) antara pemupukan berdasarkan dosis petani, rekomendasi Permentan dan rekomendasi hasil uji tanah (Tabel 7).

Tabel 7. Hubungan perlakuan pemupukan terhadap rata-rata N-NO₃⁻ 7 hari setelah panen

Perlakuan	Rata-rata NO ₃ ⁻ (me/100 gr NO ₃) 7 hari setelah panen
Pemupukan dosis petani setempat (P1)	1,82ab
Pemupukan rekomendasi Permentan (P2)	2,44b
Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (P3)	1,10a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata dengan uji Jarak Berganda Duncan pada taraf kepercayaan 95%.

Tabel 7 menunjukkan bahwa perlakuan pemupukan rekomendasi Permentan menghasilkan rata-rata kandungan N-NO₃⁻ sebesar 2,44 me/100 gr NO₃ yang besarnya berbeda nyata dengan kandungan N-NO₃⁻ dari perlakuan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah yang hanya mencapai 1,10 me/100 gr NO₃. Besar residu N-NO₃⁻ di dalam tanah setelah berlangsungnya panen dapat dipengaruhi oleh besarnya masukan bahan organik dan pupuk N, serta efisiensi ketersediaan N di dalam tanah selama pertumbuhan tanaman yang juga ditentukan oleh kebutuhan tanaman akan asupan hara N.

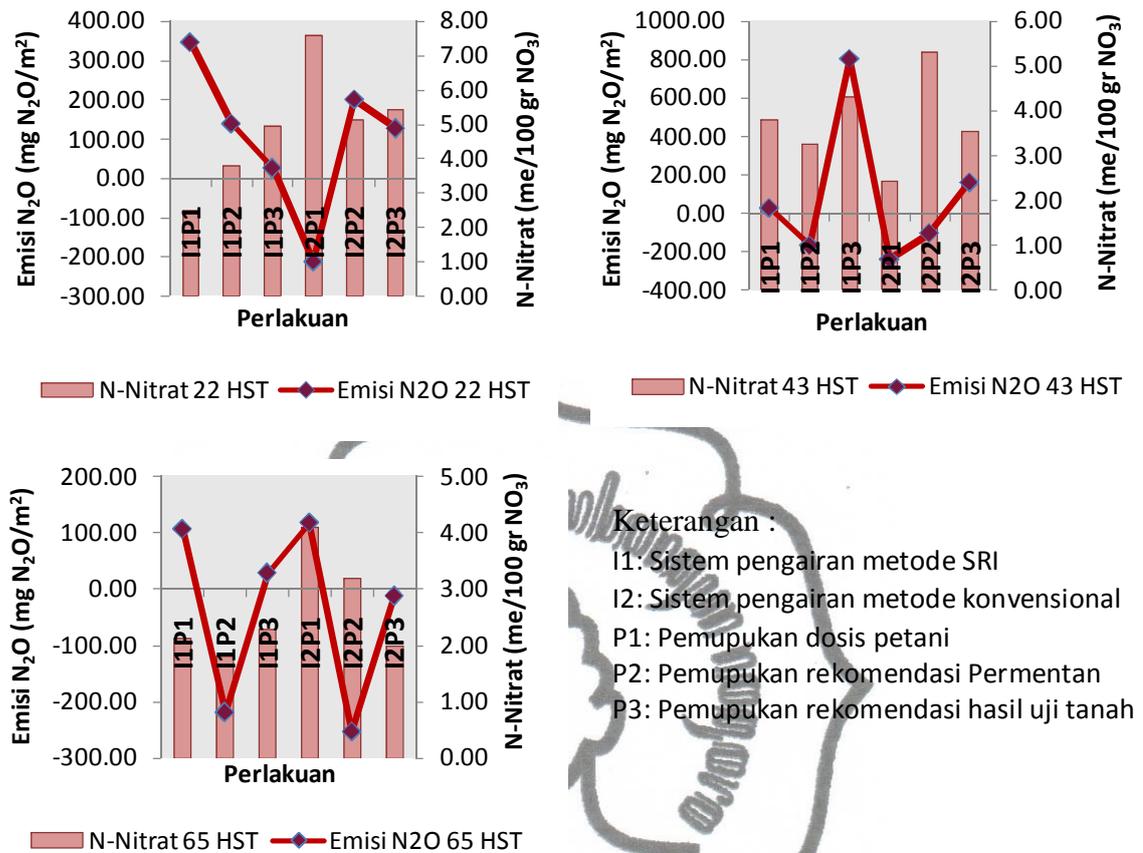
Emisi N₂O dari tanah dibedakan menjadi emisi dari denitrifikasi dan emisi langsung yang merupakan hasil samping nitrifikasi yang berlangsung pada kondisi oksidasi kurang optimal. Pada tanah sawah secara alami terbentuk lapisan oksidatif yang tipis diikuti dengan lapisan reduktif yang tebal di bawah lapisan oksidatif. Pada lapisan oksidatif, N₂O dapat terbentuk sebagai hasil antara proses nitrifikasi yaitu oksidasi NH₄⁺ oleh mikroba menjadi NO₂⁻ yang dioksidasi lanjut menjadi NO₃⁻. Karena kadar NO₃⁻ di lapisan reduktif lebih rendah, maka terjadi proses difusi NO₃⁻ ke lapisan reduktif tersebut. NO₃⁻ pada lapisan oksidatif bersifat sangat mobil, dan bila mencapai lapisan reduktif akan mengalami denitrifikasi oleh mikroba menjadi N₂O dan N₂. Selain itu, karena kadar NH₄⁺ yang lebih tinggi terkandung di lapisan reduktif daripada lapisan atas oksidatif, maka difusi NH₄⁺ ke lapisan oksidatif juga terus terjadi

Gambar 5 menunjukkan bahwa emisi gas nitro-oksida tertinggi sebesar 346,89 mg NO₂/m²/22 hari yang dihasilkan oleh perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani (I1P1) pada keadaan kandungan N-NO₃⁻ mencapai 2,49 me/100 gr NO₃. Lain halnya dengan emisi gas nitro-oksida yang terendah

dihasilkan pada perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan berdasarkan dosis petani (I2P1) sebesar $-212,16 \text{ mg NO}_2/\text{m}^2/22 \text{ hari}$, dengan kandungan N-NO_3^- $7,59 \text{ me}/100 \text{ gr NO}_3$. Hal ini mengartikan bahwa pada dosis pemupukan yang sama, tetapi dengan perlakuan pengairan yang berbeda berpengaruh terhadap kandungan N-NO_3^- di dalam tanah dan emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan.

Perlakuan I1P1 dengan pengairan metode SRI (berselang) menghasilkan emisi gas nitro-oksida dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan perlakuan I2P1 dengan pengairan konvensional dikarenakan kondisi pengairan secara berselang dapat memacu terbentuknya gas nitro-oksida yang tak lepas dari sejumlah N tersedia dalam tanah. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Suprihati (2007) bahwa tanah sawah yang senantiasa digenangi lebih sedikit mengemisi gas nitro-oksida, peluang emisi terjadi melalui oksidasi amonium (NH_4^+) oleh rizosfer menjadi nitrat (NO_3^-) yang segera tereduksi pada lapisan reduktif. Sedangkan oksidasi reduksi berselang-seling yang terjadi pada tanah sawah dapat memacu pembentukan gas nitro-oksida, siklus tersebut biasanya terjadi pada penggenangan dan pengeringan bergantian. Pada saat pengeringan terjadi nitrifikasi, dan pada saat penggenangan kembali segera nitrat terdenitrifikasi.

Emisi gas nitro-oksida pada masing-masing perlakuan yang diujikan saat fase pembentukan primordia (43 HST) mengalami penurunan dibandingkan dengan emisi gas pada saat 22 HST (Gambar 5). Namun terlihat juga peningkatan emisi gas nitro-oksida pada perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (I1P3) hingga mencapai $801 \text{ mg N}_2\text{O}/\text{m}^2/43 \text{ hari}$. Perlakuan ini adalah perlakuan yang menghasilkan emisi gas nitro-oksida tertinggi pada fase 43 HST diantara semua perlakuan yang diujikan. Peningkatan emisi gas nitro-oksida pada perlakuan ini juga diikuti oleh penurunan kandungan N-NO_3^- sebesar $0,62 \text{ me}/100 \text{ gr NO}_3$ sama halnya yang terjadi pada perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (I2P3). Hal ini mengindikasikan bahwa terjadinya penurunan kandungan N-NO_3^- dalam tanah menyebabkan meningkatnya emisi gas nitro-oksida.



Gambar 5. Kandungan N-NO₃⁻ dan dinamika emisi gas N₂O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.

Gas nitro-oksida dibebaskan dari tanah melalui peristiwa denitrifikasi dan nitrifikasi yang berlangsung pada kondisi oksidasi kurang optimal. Emisi gas nitro-oksida juga dipengaruhi oleh jenis dan jumlah pupuk N yang diaplikasikan, serta efisiensi pemupukan N. Pupuk N yang cepat menyediakan NO₃⁻ berpeluang besar menyumbang kehilangan N melalui emisi gas nitro-oksida, karena kemungkinan memiliki tingkat efisiensi pemupukan N yang rendah. Pupuk urea diketahui dapat lebih cepat melepaskan N dalam bentuk tersedia di dalam tanah dibandingkan pupuk amonium sulfat (ZA). Dalam hal ini, dapat dipahami jika perlakuan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (P3) pada fase 43 HST menghasilkan emisi gas nitro-oksida lebih besar dibandingkan perlakuan pemupukan dosis petani (P1) yang menggunakan pupuk amonium sulfat (ZA) sebagai masukan hara N. Selain itu, pengukuran emisi gas juga dilakukan sehari setelah diberikan pupuk N susulan (tahap kedua). Sehingga terjadi kemungkinan tidak semua hara N yang tersedia bagi

tanaman mampu dimanfaatkan pada waktu yang tepat oleh tanaman, tetapi sebagian hilang berubah menjadi gas nitro-oksida.

Fluktuasi emisi gas nitro-oksida pada 43 HST saat tanaman padi dalam fase pembentukan primordia (reproduktif) terlihat bahwa perlakuan pengairan SRI menghasilkan rata-rata emisi yang lebih besar dibandingkan dengan rata-rata emisi yang dihasilkan oleh perlakuan pengairan konvensional. Hal ini juga ditunjukkan dalam hasil penelitian Suratno *et al.* (1998) dalam Suprihati (2007) selama fase reproduktif, perlakuan penggenangan kontinu menghasilkan fluks gas nitro-oksida rata-rata secara nyata lebih kecil dibanding sistem penggenangan terputus, yaitu masing-masing sebesar 16,58 dan 26,34 $\mu\text{g N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{jam}$ dan didukung pernyataan Keller *et al.* (1986) dalam Wick *et al.* (2005) bahwa kondisi anaerobik mutlak pada suatu lahan padang rumput berpengaruh dalam mereduksi emisi gas N_2O dan N_2 .

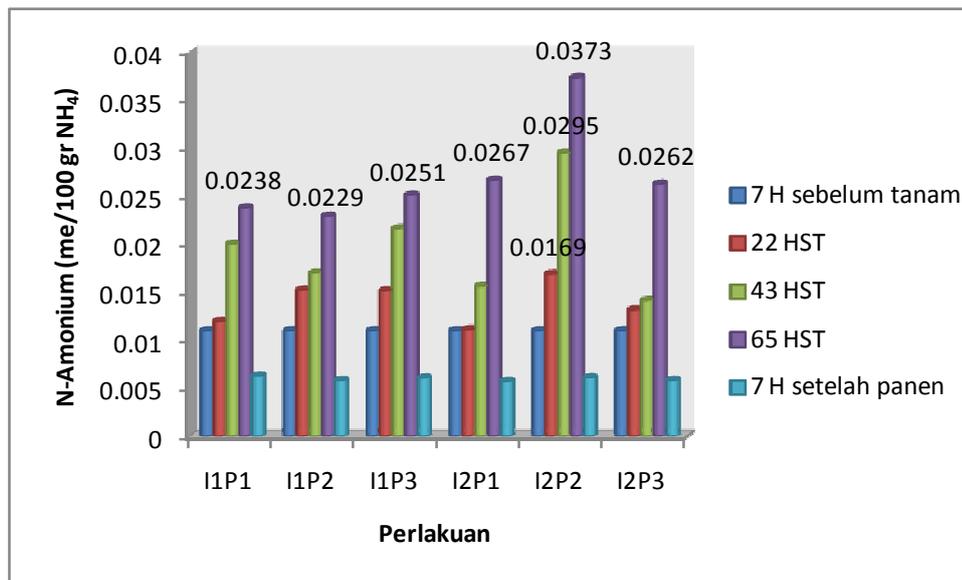
Emisi gas nitro-oksida pada fase 65 HST menunjukkan rata-rata emisi gas yang lebih rendah dibandingkan pada fase 22 HST pada masing-masing perlakuan. Pada beberapa perlakuan, awal masa pertumbuhan ketersediaan N hasil hidrolisis pupuk cenderung melebihi kapasitas serapan tanaman yang masih terbatas. Sehingga dalam hal ini terdapat peluang bagi NH_4^+ hasil hidrolisis pupuk yang tidak diserap oleh tanaman mengalami nitrifikasi dan NO_3^- yang terbentuk berpeluang mengalami proses denitrifikasi dengan hasil samping gas nitro-oksida (N_2O). Hal inilah yang menyebabkan peningkatan emisi gas nitro-oksida pada awal masa pertumbuhan (22 HST). Sedangkan pada fase awal pematangan dan selanjutnya, tanaman telah mampu memanfaatkan hara N dari pupuk secara optimal dengan kata lain pada fase ini tingkat efisiensi pemupukan N lebih tinggi dibandingkan pada saat fase pertumbuhan awal. Sehingga dipahami jika pada fase awal pematangan terjadi penurunan emisi gas nitro-oksida.

Tanaman dapat mengasimilasi nitrogen dalam bentuk NH_4^+ (amonium) dan NO_3^- (nitrat). Amonium berbentuk kation, dapat terjerap koloid tanah dan relatif non mobil. Sebaliknya nitrat merupakan anion yang bersifat mobil dalam larutan tanah. Keberadaan amonium (NH_4^+) dalam tanah berkaitan erat dengan laju nitrifikasi, bila NH_4^+ banyak dijumpai dalam tanah mengindikasikan oksidasi NH_4^+ menjadi NO_3^- berlangsung lebih lambat. Sebaliknya jika keberadaan NO_3^- yang lebih banyak ditemukan dalam tanah mengindikasikan bahwa proses mineralisasi

NH_4^+ berlangsung cepat. Proses nitrifikasi di daerah beriklim tropika basah seperti Indonesia sangat merugikan karena dapat menurunkan efisiensi pemupukan nitrogen. Nitrat juga sangat rentan terhadap proses denitrifikasi yang menyebabkan hilangnya N dalam bentuk gas.

Penghambatan pembentukan nitrat berpengaruh penting bagi bidang pertanian, karena jumlah nitrat yang melebihi kemampuan serap tanaman yang dibudidayakan akan tercuci ataupun menjadi substrat mikrobiota *denitrifier* pada kondisi anaerob. Hal tersebut akan menyebabkan efisiensi pemupukan N yang diberikan pada lahan pertanian menjadi rendah, karena N tidak dapat dimanfaatkan secara optimal oleh tanaman. Pupuk N dapat hilang melalui pelindian (*leaching*), terikut erosi dan aliran permukaan atau hilang teruapkan dalam bentuk gas. Mekanisme utama hilangnya N hasil hidrolisis pupuk adalah melalui emisi N dalam bentuk gas, melalui volatilisasi amonia (NH_3) dan denitrifikasi. Dalam hal ini, salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan N guna menekan hilangnya N dalam bentuk gas yaitu dengan pengaturan dosis pupuk dan sistem pengairan dengan pemberian penghambat nitrifikasi.

Pemberian penghambat nitrifikasi dapat dimanfaatkan untuk menekan terbentuknya NO_3^- di dalam tanah yang secara tidak langsung juga akan menekan terjadinya denitrifikasi yang mengemisikan gas nitro-oksida ke atmosfer. Berdasarkan data hasil penelitian diketahui bahwa rata-rata emisi gas nitro-oksida tertinggi dihasilkan pada saat padi dalam fase primordia bunga (43 HST). Dalam hal ini, penghambat nitrifikasi dapat dimanfaatkan dengan pengaplikasiannya saat padi menjelang fase primordia bunga. Dengan penghambatan nitrifikasi maka hilangnya N dalam bentuk gas nitro-oksida melalui proses denitrifikasi akan dapat dihindari. Meskipun penghambatan nitrifikasi menyebabkan penurunan ketersediaan hara N dalam bentuk NO_3^- , untuk keberlangsungan hidupnya tanaman padi akan memperoleh hara N tersedia dalam bentuk NH_4^+ . Selain sifatnya yang non mobil, menurut Raun dan Johnson (1999) dalam Wulansari (2010), dalam perhitungan kebutuhan energi, bentuk NH_4^+ akan lebih efisien diserap oleh tanaman karena membutuhkan energi fotosintat yang lebih rendah untuk direduksi menjadi NH_3 (substrat dalam sintesis asam amino) yaitu sebesar 5 ATP per molekul NH_4^+ , sedangkan untuk NO_3^- membutuhkan 20 ATP per molekul.



Gambar 6. Dinamika N-Ammonium tanah saat 7 hari sebelum tanam, 22 HST^{*)}, 43 HST^{*)}, 65 HST^{*)} dan 7 hari setelah panen pada setiap perlakuan.

Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

I2: Sistem pengairan metode konvensional

^{*)}HST : Hari Setelah Tanam

P1: Pemupukan dosis petani

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

Dinamika kandungan N-NH₄⁺ dalam satu periode tanam padi pada masing-masing perlakuan yang diujikan tidak menunjukkan fluktuasi yang terlalu berbeda dan menunjukkan pola dinamika kandungan N-NH₄⁺ yang hampir sama (Gambar 6). Besarnya kandungan N-NH₄⁺ pada setiap fase pertumbuhan untuk masing-masing perlakuan tergolong sangat rendah (<2 me/100 gr NH₄⁺) menurut pengarkatan berdasarkan Balittanah (2005). Rendahnya kandungan N-NH₄⁺ ini ditunjukkan baik pada perlakuan pengairan SRI (I1) maupun penggenangan kontinyu (I2). Kandungan N-NH₄⁺ tertinggi terlihat pada perlakuan sistem pengairan konvensional (penggenangan kontinyu) dengan pemupukan rekomendasi Permentan (I2P2) saat fase 65 HST sebesar 0,0373 me/100 gr NH₄⁺.

Kandungan N-NH₄⁺ terendah pada 22 HST sebesar 0,011 me/100 gr NH₄⁺ dihasilkan oleh perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan dosis petani (I2P1). Hal ini disebabkan karena sebagian besar NH₄⁺ telah teroksidasi menjadi NO₃⁻. Dugaan tersebut diperkuat data kandungan N-NO₃⁻ pada fase yang sama mencapai kandungan yang tinggi yaitu sebesar 7,59 me/100 gr NO₃⁻

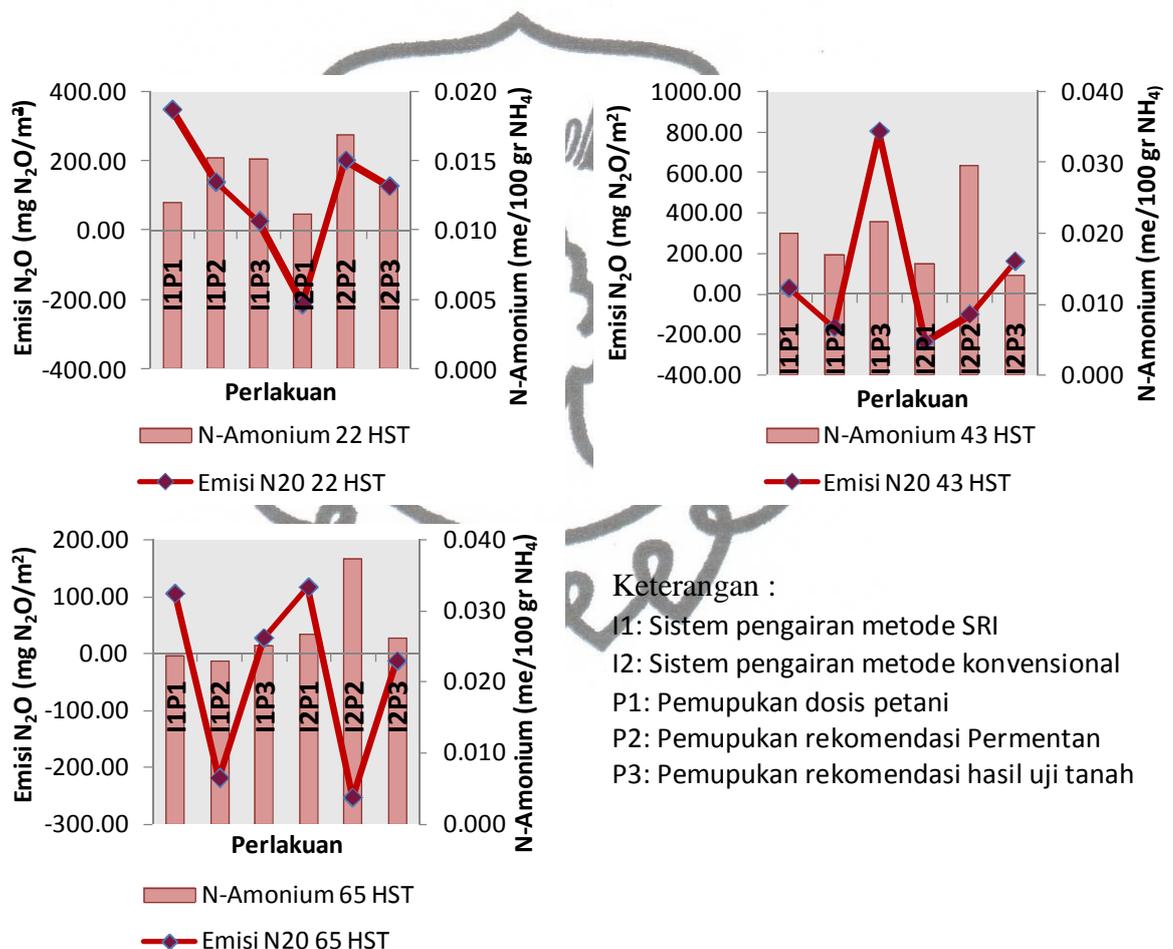
(Gambar 5). Namun lain halnya yang terjadi pada perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani (I1P1) yang juga memiliki kandungan N-NH_4^+ hampir sama dengan perlakuan I2P1 yaitu sebesar $0,012 \text{ me}/100 \text{ gr NH}_4^+$. Pada fase yang sama, perlakuan ini diketahui memiliki kandungan N-NO_3^- yang paling rendah diantara perlakuan lainnya, yaitu sebesar $2,49 \text{ me}/100 \text{ gr NO}_3^-$. Kandungan N-NH_4^+ yang rendah dikarenakan terjadi persenyawaan N-NH_4^+ dengan O_2 membentuk NO_3^- . Rendahnya kandungan N-NO_3^- pada fase yang sama pada perlakuan ini diperkuat oleh data emisi gas nitro-oksida yang menunjukkan bahwa perlakuan tersebut menghasilkan emisi gas nitro-oksida tertinggi yaitu sebesar $346,89 \text{ mg N}_2\text{O}/\text{m}^2/22 \text{ hari}$. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa penurunan kandungan N-NH_4^+ berbanding terbalik dengan kandungan N-NO_3^- di dalam tanah.

Pola dinamika kandungan N-NH_4^+ pada masing-masing perlakuan menunjukkan kesamaan, yang ditandai dengan terjadinya peningkatan kandungan N-NH_4^+ dari awal sebelum tanam hingga memasuki fase pembentukan primordia pada 65 HST yang kemudian mengalami penurunan setelah panen dilakukan. Peningkatan kandungan N-NH_4^+ seperti demikian terjadi karena adanya masukan pupuk N pada awal pertumbuhan tanaman padi dan pemberian pupuk N susulan menjelang fase reproduktif. N-NH_4^+ yang terbentuk merupakan hasil dari hidrolisis pupuk N yang diberikan, dan sebagian dari hasil mineralisasi bahan organik yang terkandung di dalam tanah.

Berdasarkan hasil analisis ragam yang dilakukan pada perlakuan yang diujikan dan kandungan N-NH_4^+ , diketahui bahwa perbedaan perlakuan sistem pengairan dan dosis pemupukan serta interaksi antara keduanya tidak mempengaruhi besarnya kandungan N-NH_4^+ secara nyata pada 22, 43 dan 65 HST (Lampiran 6C). Namun diketahui bahwa perlakuan sistem pengairan secara mandiri memberikan pengaruh nyata terhadap kandungan rata-rata N-NH_4^+ dalam satu periode tanam padi. Hal ini mengartikan bahwa kandungan rata-rata N-NH_4^+ pada perlakuan dengan sistem pengairan SRI (berselang) menunjukkan perbedaan nyata dengan kandungan rata-rata N-NH_4^+ pada perlakuan dengan sistem pengairan konvensional (penggenangan kontinyu).

Amonium (NH_4^+) merupakan bentuk N anorganik yang terekstrak selama periode penggenangan. Mineralisasi N organik pada tanah tergenang berhenti

sampai terbentuk NH_4^+ . Oleh karena itu kecepatan pembebasan NH_4^+ merupakan indeks yang baik bagi kemampuan tanah untuk memenuhi kebutuhan N tanaman padi. Kecepatan amonifikasi tergantung dari sifat tanah dan temperatur. Tanah dengan bahan organik tinggi dan mengandung hara N tinggi akan lebih cepat membentuk NH_4^+ . Pembentukan NH_4^+ juga lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi. Dalam tanah tergenang, pada lapisan oksidasi NH_4^+ akan mengalami proses nitrifikasi bersenyawa dengan O_2 membentuk NO_3^- .



Gambar 7. Kandungan N-NH_4^+ dan dinamika emisi gas N_2O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.

Gambar 7 menyajikan hubungan kandungan N-NH_4^+ dengan dinamika emisi gas nitro-oksida selama masa pertumbuhan tanaman padi. Berdasarkan gambar 7 diketahui bahwa pada 22 HST kandungan amonium tertinggi dihasilkan oleh perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan rekomendasi Permentan (I2P2) sebesar 0,017 me/100 gr NH_4 yang diikuti dengan emisi gas

nitro-oksida sebesar 201,58 mg N₂O/m²/22 hari. Sedangkan emisi gas nitro-oksida tertinggi dihasilkan oleh perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani sebesar 346,89 mg N₂O/m²/22 hari dengan kandungan N-NH₄⁺ 0,012 me/100 gr NH₄.

Besar kandungan N-NH₄⁺ pada masing-masing perlakuan tidak menunjukkan adanya perbedaan dalam rentang nilai yang lebar. Rentang nilai kandungan N-NH₄⁺ pada 22 HST berkisar antara 0,011 hingga 0,017 me/100 gr NH₄. Namun lain halnya dengan besarnya emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan oleh masing-masing perlakuan yang diujikan. Pada 22 HST diketahui bahwa rentangan emisi gas nitro-oksida berkisar 212,58 sampai 346,89 mg N₂O/m²/22 hari. Jika dikaji lebih lanjut, rata-rata kandungan N-NH₄⁺ pada perlakuan sistem pengairan SRI sebanding dengan rata-rata kandungan N-NH₄⁺ pada perlakuan sistem pengairan konvensional, yaitu sebesar 0,014 me/100 gr NH₄. Tetapi dalam hal ini diketahui bahwa rata-rata emisi gas nitro-oksida pada sistem pengairan SRI lebih besar dibanding emisi gas yang dihasilkan oleh perlakuan dengan sistem perlakuan konvensional pada 22 HST.

Hal tersebut terjadi karena dalam kondisi tanah anaerob, bahan organik akan lebih lambat mengalami proses perombakan disebabkan terbatasnya ketersediaan O₂. Oleh karena itu proses mineralisasi bahan organik dalam pembentukan NH₄⁺ pada perlakuan pengairan konvensional (penggenangan kontinyu) terjadi lebih lambat dan terbatas, sehingga berpengaruh terhadap emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan sesuai dengan pernyataan Furyanti (2009) bahwa dalam proses nitrifikasi tidak semua NH₄⁺ dioksidasi menjadi NO₃⁻ karena proses oksidasi hidrosilakim (NH₂OH) menjadi nitrosil (HNO), sebagian NH₄⁺ akan hilang sebagai gas nitro-oksida (N₂O).

Berdasarkan data yang disajikan pada gambar 7, terlihat bahwa terjadi rata-rata peningkatan kandungan N-NH₄⁺ sebesar 0,006 hingga 0,007 me/100 gr NH₄ pada masing-masing perlakuan pada fase 43 HST hingga 65 HST. Peningkatan emisi gas nitro-oksida pada fase 65 HST diikuti penurunan kandungan N-NH₄⁺ pada beberapa perlakuan. Emisi gas nitro-oksida berkorelasi negatif terhadap kandungan N-NH₄⁺ pada 65 HST (Lampiran 8C). Hal ini sesuai dengan hasil uji korelasi (*Pearson correlation*) antara emisi gas nitro-oksida dengan kandungan N-

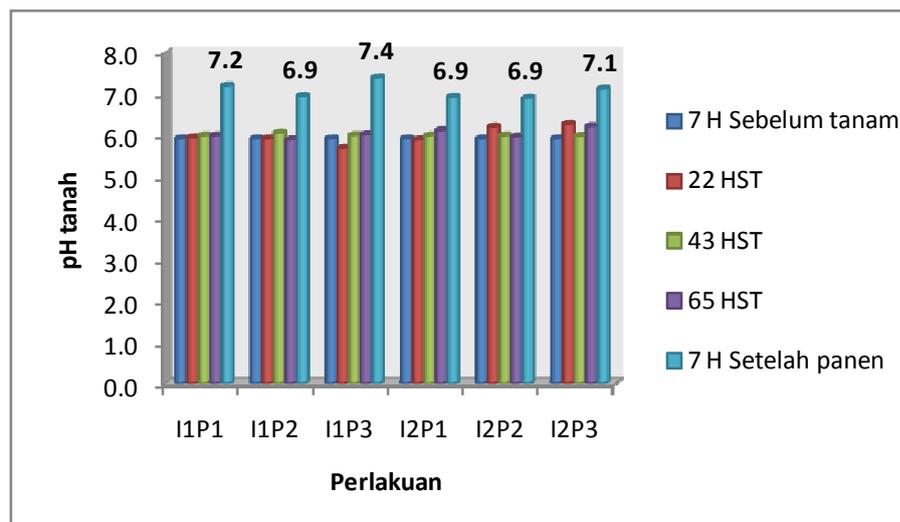
NH_4^+ pada fase 65 HST dengan nilai $r = -0,071$ ($p > 0,05$), yang mengartikan bahwa peningkatan emisi gas nitro-oksida ke atmosfer tidak selalu diikuti oleh penurunan kandungan N-NH_4^+ dalam tanah mengingat gas nitro-oksida yang terlepas ke atmosfer adalah hasil samping dari proses denitrifikasi (reduksi NO_3^-). Kandungan N-NH_4^+ yang tinggi dalam tanah tidak seluruhnya mengalami transformasi ke bentuk NO_3^- , jadi dalam hal ini N-NH_4^+ dalam tanah tidak berpengaruh langsung terhadap emisi gas nitro-oksida ke atmosfer. Penurunan kandungan N-NH_4^+ berbanding terbalik terhadap emisi gas nitro-oksida dan kandungan N-NO_3^- pada fase 65 HST. Hal ini dapat dipahami karena penurunan kandungan N-NH_4^+ disebabkan terjadinya proses nitrifikasi dimana N-NH_4^+ berperan sebagai substrat nitrifikasi yang menghasilkan N-NO_3^- , dan kondisi tanah oksidatif memacu terjadi denitrifikasi yang menghasilkan gas nitro-oksida.

F. Pengaruh Perlakuan terhadap Reaksi Tanah (pH) dan Potensial Redoks Tanah (Eh) dan Hubungannya dengan Dinamika Emisi Gas N_2O (nitro-oksida)

Reaksi tanah (pH tanah) merupakan pengukuran terhadap kemasaman atau alkalinitas (kebasaan) tanah yang memberikan indikasi terhadap aktivitas ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksil (OH^-) pada larutan tanah. Kedua jenis ion tersebut memiliki aktivitas kimia yang tinggi. Penggenangan pada tanah mineral masam mengakibatkan nilai pH tanah akan meningkat dan pada tanah basa akan mengakibatkan nilai pH tanah menurun mendekati netral. Perubahan pH pada tanah tergenang mempengaruhi konsentrasi hara dan unsur hara melalui proses a) keseimbangan kimia, b) jerapan dan pelepasan, c) penguapan (volatilisasi), dan d) proses mikrobiologis yang melepaskan atau yang menghancurkan unsur hara tanaman atau yang menghasilkan bahan beracun.

Pada pH sekitar 7,0 aktivitas mikroorganisme meningkat, karena sebagian besar mikroorganisme pada tanah tergenang, yakni mikroorganisme anaerob dapat tumbuh dengan baik pada pH 7,0. Oleh karena itu amonifikasi, denitrifikasi, reduksi SO_4^{2-} dan pembentukan CH_4 menjadi meningkat akibat penggenangan. Menurut Hardjowigeno dan Rayes (2005) di daerah tropis, tanah mineral dengan bahan organik $>2\%$ dapat mencapai pH optimum untuk tanaman padi (sekitar pH 6,6)

setelah 2 sampai 4 minggu penggenangan. Namun hal tersebut tidak nyata terlihat pada dinamika pH tanah yang disajikan pada gambar 9, yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan pH tanah mencapai optimal (pH 6,6) dari awal sebelum tanam yang merupakan waktu awal penggenangan hingga padi memasuki awal fase pematangan (65 HST).



Gambar 8. Dinamika pH tanah saat 7 hari sebelum tanam, 22 HST^{*)}, 43 HST^{*)}, 65 HST^{*)} dan 7 hari setelah panen pada setiap perlakuan.

Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

I2: Sistem pengairan metode konvensional

^{*)}HST : Hari Setelah Tanam

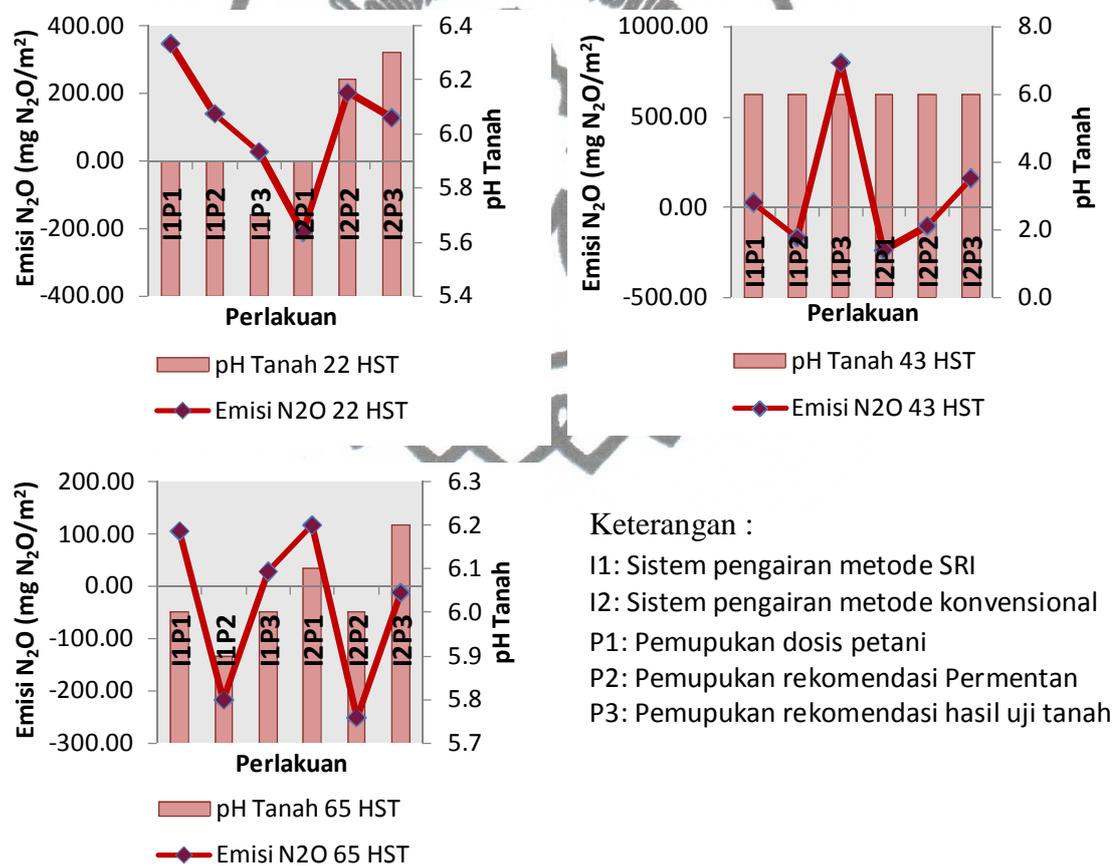
P1: Pemupukan dosis petani

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

Gambar 8 menunjukkan dinamika pH tanah selama satu periode tanam padi untuk masing-masing perlakuan yang diujikan. Rentangan nilai pH dalam satu periode tanam padi tersebut berkisar pH 5,9 hingga 7,4. pH tertinggi terlihat pada saat fase setelah panen pada masing-masing perlakuan. Perubahan pH yang terjadi selama masa pertumbuhan padi pada setiap perlakuan tidak menunjukkan pola perubahan yang signifikan. Hal ini diperkuat oleh hasil analisis ragam yang dilakukan pada perlakuan yang diujikan dan pH tanah yang menunjukkan hasil bahwa perbedaan perlakuan sistem pengairan dan dosis pemupukan serta interaksi diantara keduanya tidak berpengaruh nyata terhadap pH tanah selama masa pertumbuhan padi (22, 43, dan 65 HST) dan saat fase setelah panen (Lampiran 6D).

Nilai pH tanah rata-rata setiap fase pertumbuhan padi yang disajikan pada gambar 9, menunjukkan bahwa pH tanah mengalami fluktuasi dengan rentang nilai pH yang kecil pada saat dilakukan pengukuran pada setiap fase pertumbuhan padi dan memiliki kecenderungan peningkatan dari pH agak masam (sekitar pH 5,9) pada awal pertumbuhan menjadi sekitar pH 6,0 hingga 6,2 pada fase menjelang panen. Peningkatan pH terus terjadi mencapai kisaran pH netral sebesar 6,9 hingga 7,4 saat dilakukan pengukuran pada tujuh hari setelah panen. pH yang agak masam pada musim tanam tersebut dapat berasal dari akumulasi bahan organik yang berasal dari musim tanam sebelumnya.



Gambar 9. pH tanah dan dinamika emisi gas N₂O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.

Peningkatan pH tanah seiring dengan pertumbuhan tanaman padi (Gambar 9) diikuti dengan terjadinya peningkatan kandungan N-NH₄⁺ pada setiap fase pertumbuhan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi mineralisasi bahan organik

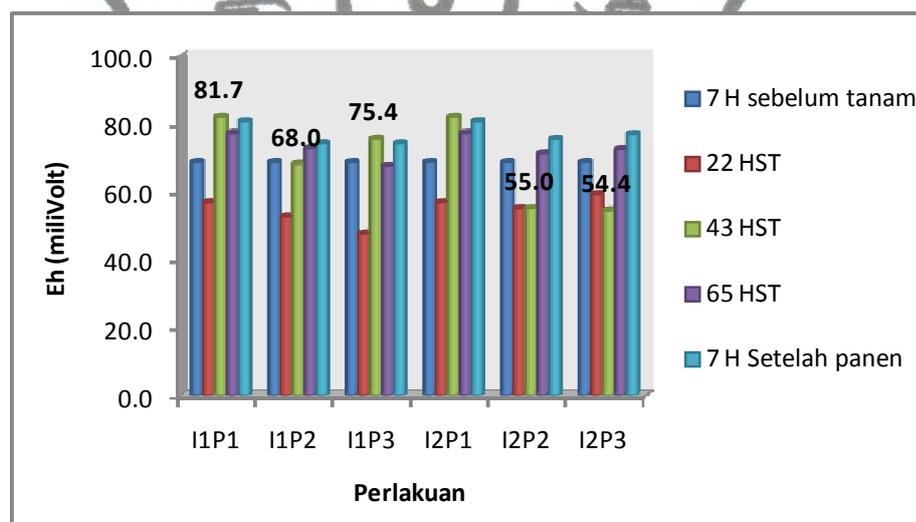
dan hidrolisis pupuk N menjadi bentuk N-NH_4^+ seiring dengan peningkatan pH tanah pada masing-masing perlakuan. Selain itu, diketahui terjadi peningkatan kandungan N-NO_3^- dalam tanah pada beberapa perlakuan selama masa pertumbuhan tanaman padi (Gambar 5). Peningkatan kandungan N-NO_3^- tersebut terjadi karena adanya proses nitrifikasi. Nitrifikasi sangat sensitif terhadap pH tanah, dengan reduksi yang nyata terjadi pada pH dibawah 6,0 atau diatas 8,0. Nitrifikasi dapat diabaikan pada pH yang berada di bawah 4,5. Bakteri *chemoautolitotrop* merupakan agensia utama yang berperan dalam proses nitrifikasi pada pH tanah yang masam, dimana bakteri heterotrof di tanah secara umum memberikan hanya kontribusi yang kecil terhadap oksidasi NH_4^+ . Kondisi pH yang optimum untuk proses nitrifikasi adalah pada rentangan pH 7 hingga 8. Pada pH lebih dari 8 perubahan dari NO_2^- menjadi NO_3^- dihambat sampai dengan jumlah tertentu, dan terjadi perubahan yang lebih besar dari NH_4^+ ke NO_2^- .

Gambar 9 menunjukkan bahwa data pH tanah mempunyai rentang nilai yang relatif kecil, sedangkan emisi gas nitro-oksida mempunyai rentangan nilai yang relatif besar. Hal ini diperkuat dengan hasil uji korelasi (*Pearson correlation*) antara pH tanah dan emisi gas nitro-oksida selama satu periode tanam yang tidak memiliki keeratan kuat satu sama lain ($p > 0,05$). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Suprihati (2007) bahwa tidak terdapat korelasi yang kuat antara emisi gas nitro-oksida dengan sifat tanah yang telah diamati baik dari pH, Eh maupun kandungan amonium dan nitrat tanah.

Perubahan-perubahan kimia tanah sawah saling berkaitan erat dengan proses oksidasi reduksi (redoks) dan aktivitas mikroba tanah, dan hal ini sangat menentukan tingkat ketersediaan hara dan produktivitas tanah sawah. Yoshida (1981) dalam Prasetyo *et al.* (2004) menyatakan bahwa tanah yang tergenang tidak tereduksi secara keseluruhan. Pada lapisan atas setebal 2 sampai 20 mm tetap teroksidasi karena berada dalam keseimbangan dengan oksigen yang terlarut dalam lapisan air. Lapisan di bawahnya merupakan lapisan tereduksi kecuali daerah perakaran yang aktif, karena daerah ini teroksidasi akibat dikeluarkannya senyawa teroksidasi oleh akar yang memperoleh oksigen dari bagian atas melalui aerenkim.

Penggenangan menyebabkan perubahan-perubahan kimia tanah, yang ditentukan oleh potensial reduksi-oksidasi (redoks). Pada pH 7 dengan nilai

potensial redoks 450 hingga 500 mV mulai terjadi reduksi nitrat (denitrifikasi), antara 350 hingga 450 mV mulai terbentuk Mn^{2+} , pada 150 mV mulai terbentuk Fe^{2+} , dan pada -50 mV mulai terjadi reduksi sulfat membentuk H_2S (Marschner, 1986 dalam Arsana *et al.*, 2003). Gambar 10 menunjukkan dinamika Eh tanah dari saat sebelum tanam, selama masa pertumbuhan tanaman padi hingga fase setelah dilakukan panen. Berdasarkan data yang disajikan pada gambar tersebut diketahui bahwa nilai potensial redoks (Eh) pada tanah sawah percobaan berkisar antara rentang nilai 47 hingga 82 mV. Pada hasil pengukuran Eh untuk masing-masing perlakuan selama satu periode tanam padi tidak diperoleh nilai Eh negatif. Hal ini berbeda dengan beberapa hasil penelitian yang menunjukkan bahwa tanah sawah memiliki nilai Eh tanah yang sangat rendah bahkan mencapai nilai negatif karena penggenangan.



Gambar 10. Dinamika Eh tanah saat 7 hari sebelum tanam, 22 HST^{*)}, 43 HST^{*)}, 65 HST^{*)} dan 7 hari setelah panen pada setiap perlakuan.

Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

I2: Sistem pengairan metode konvensional

^{*)}HST : Hari Setelah Tanam

P1: Pemupukan dosis petani

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

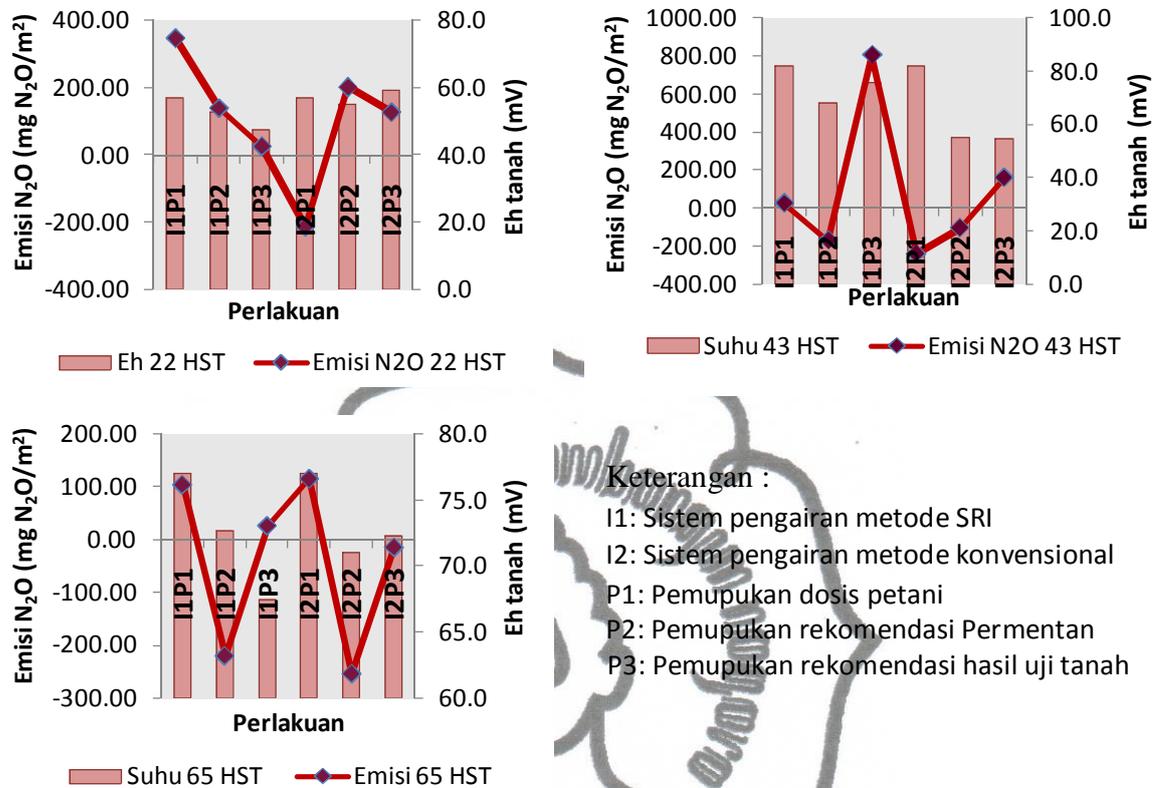
P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

Nilai Eh tanah pada percobaan kali ini tidak menunjukkan adanya nilai Eh yang bernilai negatif. Hal ini dikarenakan pengukuran Eh tanah pada percobaan terkait tidak dilakukan langsung di lapangan, tetapi dengan menggunakan metode

pengukuran di laboratorium. Walaupun sampel tanah yang dianalisis adalah tanah segar, tetapi diduga telah terjadi persenyawaan dengan O_2 sebelum dilakukan pengukuran Eh di laboratorium. Meskipun demikian, hasil pengukuran Eh tanah yang diperoleh dapat mewakili kisaran nilai Eh untuk tanah sawah. Hal ini diperkuat oleh pembagian kisaran potensial redoks tanah menurut Patrick dan Reddy (1978) yang menyatakan bahwa tanah tereduksi (termasuk tanah sawah) memiliki nilai kisaran potensial redoks (Eh) +150 sampai dengan -100 mV. Yu *et al.* (2001) juga melaporkan bahwa hasil penelitiannya pada lahan pertanian dengan perbedaan penggunaan lahan yang diantaranya tanah sawah menunjukkan nilai potensial redoks dalam kisaran +400 hingga -300 mV.

Pada gambar 10 diketahui bahwa pada masing-masing perlakuan yang diujikan menunjukkan pola fluktuasi Eh tanah yang berbeda-beda selama satu periode tanam padi. Perlakuan dengan sistem pengairan metode SRI cenderung mengalami peningkatan Eh tanah dari fase pembentukan anakan aktif (22 HST) hingga mencapai fase reproduktif (43 HST). Lain halnya perlakuan dengan sistem pengairan konvensional yang cenderung mengalami penurunan Eh tanah dari saat awal sebelum tanam hingga fase 43 HST. Dalam hal ini penggenangan tanah mengakibatkan penurunan potensial redoks (Eh), karena pada perlakuan sistem pengairan konvensional kondisi lahan percobaan tergenang kontinyu. Sedangkan perlakuan sistem pengairan SRI secara berselang, pada saat lahan dalam kondisi macak-macam akan meningkatkan difusi udara dari atmosfer ke lapisan tanah sawah, sehingga O_2 masuk dalam sistem tanah dan meningkatkan Eh tanah.

Perbedaan perlakuan pengairan berpengaruh nyata terhadap nilai Eh tanah yang sesuai dengan hasil analisis ragam yang dilakukan pada perlakuan yang diujikan dan Eh tanah pada fase 43 HST (Lampiran 6E). Hal ini ditunjukkan oleh nilai Eh tanah tertinggi sebesar 81,7 mV pada perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani yang diukur pada saat fase 43 HST. Pada fase pengukuran yang sama terlihat bahwa perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan rekomendasi Permentan dan hasil uji tanah memiliki nilai Eh tanah yang rendah diantara semua perlakuan yaitu berturut-turut sebesar 55,0 mV dan 54,4 mV. Walaupun dalam hal ini interaksi antara kedua perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap Eh tanah pada saat fase 22, 43 dan 65 HST.



Gambar 11. Potensial redoks (Eh) tanah dan dinamika emisi gas N₂O pada 22 HST, 43 HST dan 65 HST.

Eh merupakan potensial reduksi oksidasi dari tanah yang bergantung terhadap keberadaan oksigen di dalam tanah. Potensial oksidasi reduksi tanah dapat digunakan untuk mengendalikan emisi gas rumah kaca yang berasal dari dalam tanah. Potensial oksidasi maupun reduksi ini dapat terjadi secara bersamaan di dalam tanah, saat lapisan atas berada dalam kondisi teroksidasi lapisan bawah dapat berada dalam kondisi tereduksi. Kondisi tersebut yang dapat menyebabkan emisi gas nitro oksida mengalami peningkatan atau penurunan.

Potensial redoks (Eh) tanah saat fase 22 HST terlihat bervariasi pada masing-masing perlakuan, begitu juga dengan emisi gas nitro-oksida pada masing-masing perlakuan. Fluktuasi emisi gas nitro-oksida dan Eh tanah juga ditunjukkan pada fase pertumbuhan selanjutnya. Nilai Eh tanah tertinggi saat fase 22 HST sebesar 59,0 mV ditunjukkan pada perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (I2P3) diikuti dengan emisi gas nitro-oksida sebesar 127 mg N₂O/m²/22 hari. Dikaji dari dinamika Eh tanah selama

satu periode tanam padi, diketahui bahwa terjadi penurunan nilai Eh tanah dari awal sebelum penanaman hingga memasuki fase 22 HST. Penurunan tersebut terjadi pada semua perlakuan yang diujikan. Penurunan Eh yang terjadi diawali dengan nilai Eh tanah sebesar 68,5 mV pada fase awal sebelum tanam menjadi sekitar 47 hingga 59 mV untuk masing-masing perlakuan.

Hasil uji korelasi (*Pearson correlation*) Eh tanah dan emisi gas nitro-oksida pada fase 43 HST (Lampiran 8B) saat tanaman padi dalam fase reproduktif menunjukkan bahwa Eh tanah dan emisi gas nitro-oksida pada 43 HST memiliki korelasi yang positif ($r = 0,275$) dengan tingkat keeratan diantara keduanya yang rendah ($p > 0,05$). Hal ini terlihat pada perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (IIP3) yang mengalami peningkatan Eh tanah menjadi 75,4 mV dan peningkatan emisi gas nitro-oksida menjadi 801,59 mg $N_2O/m^2/43$ hari. Meningkatnya Eh tanah yang diikuti oleh peningkatan emisi gas nitro-oksida dikarenakan sistem pengairan SRI secara berselang memberikan kesempatan O_2 masuk dalam sistem tanah yang menyebabkan meningkatnya Eh tanah dan memacu terjadinya denitrifikasi yang mereduksi $N-NO_3^-$ dengan hasil samping gas nitro-oksida (N_2O). Korelasi antara kedua faktor tersebut memiliki tingkat keeratan yang rendah ($p > 0,05$) karena tidak selalu peningkatan Eh tanah menyebabkan terjadinya peningkatan emisi gas nitro-oksida. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Yu *et al.* (2001) yang menyatakan bahwa akumulasi N_2O yang signifikan terjadi pada tanah dengan nilai Eh antara +120 dan +250 mV.

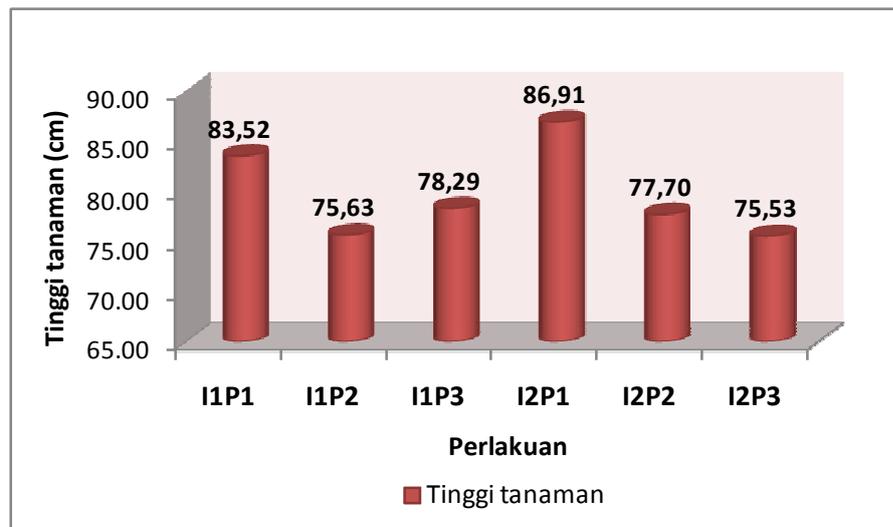
Adanya peluang terjadi proses denitrifikasi diperkuat dengan data kandungan $N-NO_3^-$ (Gambar 5), diketahui bahwa pada perlakuan dan fase yang sama kandungan $N-NO_3^-$ mengalami penurunan dari fase sebelumnya. Hal ini juga didukung dengan hasil uji korelasi antara ketiga faktor terkait, dimana emisi gas nitro-oksida berkorelasi positif dengan Eh tanah, tetapi berkorelasi negatif dengan kandungan $N-NO_3^-$ tanah ($r = -0,002$). Sama halnya dengan Eh tanah yang juga berkorelasi negatif dengan kandungan $N-NO_3^-$ ($r = -0,182$) disertai keeratan yang rendah antar keduanya ($p > 0,05$).

G. Pengaruh Perlakuan terhadap Hubungan Produksi Padi dan Dinamika Emisi Gas N₂O (nitro-oksida)

1. Tinggi Tanaman Akhir

Penggenangan pada lahan sawah akan mempengaruhi kondisi dan keberadaan unsur hara esensial dan pertumbuhan serta hasil padi. Perubahan kimia yang disebabkan oleh penggenangan tersebut sangat mempengaruhi dinamika dan ketersediaan hara padi. Dalam hal ini ketersediaan hara dalam tanah juga akan ditentukan oleh adanya masukan pupuk yang berperan untuk menambah asupan hara tersedia bagi tanaman padi. Tinggi tanaman akhir sebelum panen merupakan salah satu indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui sejauh mana pertumbuhan padi dalam merespon kondisi lingkungan dalam masa pertumbuhannya.

Perbedaan perlakuan sistem pengairan dan dosis pemupukan dalam percobaan kali ini memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap pertumbuhan padi khususnya untuk tinggi akhir tanaman padi. Seperti yang dikemukakan Makarim dan Suhartatik (2010) bahwa tanaman yang tinggi dengan batang yang lemah akan mengalami kerebahan pada masa permulaan tumbuh dan menjadi rebah sama sekali pada pemupukan N dosis tinggi. Berdasarkan gambar 12 diketahui bahwa tinggi tanaman akhir tertinggi yaitu 86,91 cm ditunjukkan oleh perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan dosis petani (I2P1). Rata-rata tinggi tanaman pada perlakuan dengan sistem pengairan konvensional (P2) diketahui juga lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi tanaman pada perlakuan pengairan SRI (I1). Hal ini didukung oleh hasil dari beberapa penelitian-penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa perlakuan pengairan konvensional dengan penggenangan secara kontinyu akan menekan pertumbuhan gulma yang menjadi pesaing dalam memperebutkan faktor lingkungan, termasuk hara dalam tanah, salah satunya hara N yang berperan dalam menambah tinggi tanaman dan merangsang jumlah anakan dalam masa awal pertumbuhan.



Gambar 12. Rata-rata tinggi tanaman akhir menjelang panen pada masing-masing perlakuan.

Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

P1: Pemupukan dosis petani

I2: Sistem pengairan metode konvensional

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

Data yang disajikan gambar 12 menunjukkan bahwa perlakuan sistem pengairan baik SRI maupun konvensional dengan pemupukan dosis petani (I1P1, I2P1) yang memiliki tinggi tanaman akhir yang dominan lebih tinggi dibandingkan perlakuan lain, dengan tinggi tanaman berturut-turut 83,52 cm dan 86,91 cm. Hal ini berkaitan dengan dosis pupuk yang diberikan selama masa pertumbuhan padi, terutama pupuk N. Hara N merupakan hara yang dibutuhkan tanaman yang selain merangsang pembentukan klorofil, juga berperan dalam mempercepat pertumbuhan tanaman dalam hal ini adalah menambah tinggi tanaman. Pupuk N pada perlakuan pemupukan dosis petani (P1) diberikan dalam jenis pupuk amonium sulfat (ZA) dengan dosis yang sangat tinggi, yaitu mencapai 768 kg ZA/ha yang diberikan secara bertahap. Jadi dalam ini dapat dipahami jika tinggi tanaman tertinggi didominasi oleh perlakuan pemupukan dosis petani. Selain itu hal ini juga diperkuat dengan hasil analisis ragam yang dilakukan pada perlakuan sistem pengairan dengan dosis pemupukan dan tinggi tanaman akhir (Lampiran 6F).

Tabel 8. Hubungan perlakuan pemupukan terhadap rata-rata tinggi tanaman akhir sebelum panen

Perlakuan	Rata-rata tinggi tanaman akhir (cm)
Pemupukan dosis petani setempat (P1)	85,22b
Pemupukan rekomendasi Permentan (P2)	76,66a
Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (P3)	76,91a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata dengan uji Jarak Berganda Duncan pada taraf kepercayaan 95%.

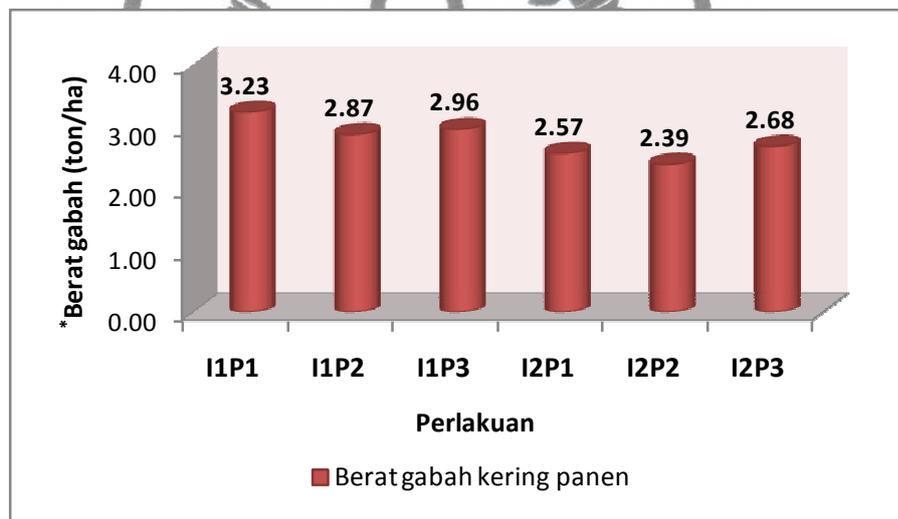
Hasil analisis ragam pada perlakuan sistem pengairan dengan dosis pemupukan dan tinggi tanaman akhir menunjukkan bahwa interaksi antara kedua perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman akhir (Lampiran 6F). Namun perlakuan pemupukan secara mandiri memberikan pengaruh yang sangat nyata ($\text{sig} < 0,01$) terhadap tinggi tanaman (Tabel 8).

2. Berat Gabah Kering Panen

Gabah kering panen dapat digunakan untuk mengetahui tingkat produktivitas padi yang ditanam pada penelitian kali ini. Gabah kering panen adalah kondisi gabah setelah dipisahkan dari malai tanaman padi dengan cara dirontokkan. Berat gabah kering panen merupakan hasil penimbangan berat gabah yang telah dipisahkan dari malai tanaman padi tersebut. Gambar 13 menyajikan rata-rata berat gabah kering panen (GKP) pada masing-masing perlakuan yang menunjukkan sedikit perbedaan berat GKP antar perlakuan. Berat GKP tertinggi terlihat pada perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani (IIP1) sebesar 3,23 ton per ha. Berat GKP terendah ditunjukkan oleh perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan rekomendasi Permentan (I2P2) sebesar 2,39 ton per ha. Dalam hal ini perlakuan dengan sistem pengairan SRI menghasilkan rata-rata berat GKP sebesar 3,02 ton per ha yang lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata berat GKP perlakuan sistem pengairan konvensional yang hanya mencapai 2,55 ton per ha.

Menurut Makarim *et al.* (2000) bahwa belum optimalnya produktivitas padi di lahan sawah, antara lain disebabkan oleh rendahnya efisiensi pemupukan, kahat unsur mikro, sifat fisik tanah tidak optimal, penggunaan benih kurang bermutu,

varietas yang dipilih kurang adaptif, belum efektifnya pengendalian hama penyakit, dan pengendalian gulma kurang optimal. Rendahnya produksi padi yang ditunjukkan dengan rendahnya berat GKP pada penelitian ini dikarenakan adanya serangan hama wereng selama masa pertumbuhan padi. Hal ini mengakibatkan waktu panen menjadi lebih awal dari waktu seharusnya untuk menghindari tanaman padi menjadi semakin kering dan mengalami kerebahan sebelum panen. Panen dilakukan pada 84 hari setelah pindah lapang. Waktu tersebut belum memenuhi persyaratan waktu panen untuk padi varietas Sunggal menurut Balai Besar Penelitian Padi (2009) yang menyatakan bahwa umur padi varietas Sunggal adalah 115-125 hari.



Gambar 13. Rata-rata berat gabah kering panen pada masing-masing perlakuan.
Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

P1: Pemupukan dosis petani

I2: Sistem pengairan metode konvensional

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

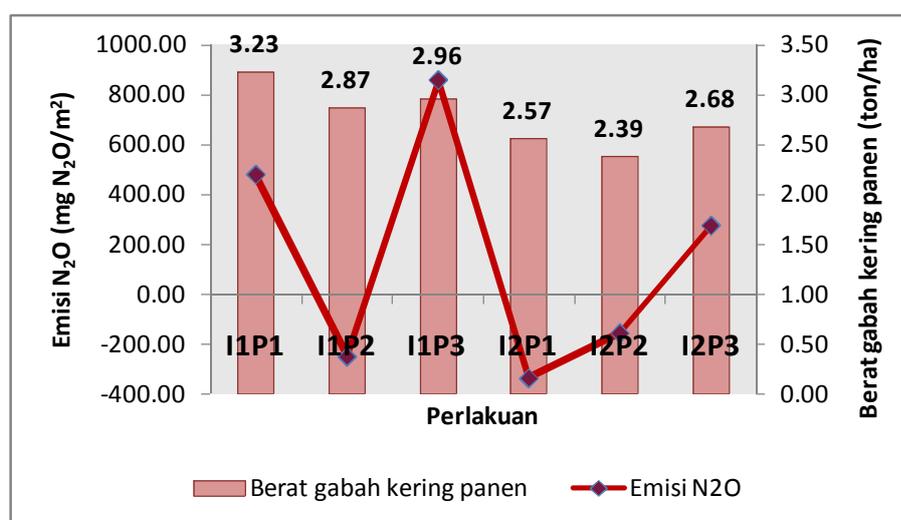
P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

*Berat produksi rendah karena adanya serangan hama wereng

Berat gabah kering panen (GKP) ditentukan oleh jumlah malai tanaman padi. Banyaknya jumlah malai ditentukan oleh jumlah anakan aktif pada setiap rumpun padi. Perlakuan I1P1 memiliki hasil berat GKP tertinggi selama satu periode tanam padi didukung oleh data rata-rata jumlah anakan aktif pada perlakuan yang sama sebanyak 10,4 anakan aktif (Lampiran 9). Jumlah ini merupakan rata-

rata jumlah anakan aktif terbanyak diantara yang dihasilkan oleh semua perlakuan. Hasil analisis ragam pada perlakuan yang diujikan dan berat gabah kering panen menunjukkan bahwa baik interaksi antara perlakuan yang diujikan maupun perlakuan secara mandiri tidak berpengaruh nyata terhadap berat gabah kering panen dalam satu periode tanam padi (Lampiran 6F). Hal ini mengartikan bahwa berat gabah kering panen dalam satu periode tanam padi tidak hanya ditentukan oleh perlakuan sistem pengairan dan dosis pemupukan, tetapi juga ditentukan oleh faktor lingkungan lain yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman padi, seperti contoh adanya hama dan gulma selama masa pertumbuhan padi.

Kombinasi perlakuan yang diujikan, berat gabah kering panen, dan emisi gas nitro-oksida disajikan pada gambar 14. Hasil panen berkisar antara 2,3 hingga 3,2 ton per hektar. Hasil gabah kering panen (GKP) tertinggi diperoleh pada kombinasi perlakuan I1P1 (pengairan SRI dengan dosis pemupukan dosis petani). Perlakuan tersebut memberikan hasil GKP yang tinggi tetapi juga menghasilkan total emisi gas nitro-oksida yang cukup tinggi dibandingkan kombinasi perlakuan yang lain yaitu sebesar 478,88 mg N₂O/m². Kombinasi perlakuan I2P2 (pengairan konvensional dengan pemupukan rekomendasi Permentan) yang menghasilkan GKP terendah diketahui juga menghasilkan total emisi gas nitro-oksida rendah, sebesar -154,55 mg N₂O/m².



Gambar 14. Berat gabah kering panen dan dinamika total emisi gas N₂O selama satu periode tanam padi.

Penilaian efektivitas kombinasi perlakuan dalam mempengaruhi total emisi gas nitro-oksida selama satu periode tanam dalam penelitian kali ini tidak dapat ditentukan secara pasti. Hal ini terjadi karena adanya penurunan produksi gabah akibat serangan hama wereng. Jadi produksi gabah setiap perlakuan tidak bisa diketahui secara nyata. Namun, jika dikaji dari sistem pengairan yang diterapkan diketahui bahwa sistem pengairan metode SRI (pengairan berselang) menunjukkan rata-rata produksi padi 18,7% (3,02 ton per ha) lebih tinggi dibandingkan rata-rata produksi padi dengan sistem pengairan konvensional, yaitu sebesar 2,55 ton per ha dalam satu periode tanam. Lebih tingginya rata-rata produksi padi tersebut juga diikuti oleh lebih tingginya rata-rata total emisi gas nitro-oksida dalam satu periode tanam. Rata-rata total emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan oleh perlakuan dengan sistem pengairan metode SRI (pengairan berselang) 408,2% (362,27 mg N₂O/m²) lebih tinggi dibandingkan perlakuan dengan sistem pengairan konvensional sebesar 71,28 mg N₂O/m².

Rata-rata emisi gas nitro-oksida yang dihasilkan oleh perlakuan dengan sistem pengairan metode SRI ini terjadi karena pengaturan air pada metode tersebut dilakukan secara berselang. Kondisi pengairan secara berselang dapat memacu terbentuknya gas nitro-oksida di dalam tanah. Tanah sawah dengan pengairan berselang akan mengalami proses oksidasi reduksi berselang-seling yang dapat memacu pembentukan gas nitro-oksida, siklus tersebut biasanya terjadi pada penggenangan dan pengeringan bergantian. Pada saat pengeringan terjadi nitrifikasi, dan pada saat penggenangan kembali segera nitrat terdenitrifikasi mengemisikan gas nitro-oksida.

Walaupun demikian, tidak dapat dipungkiri bahwa pengelolaan air merupakan salah satu faktor penting di dalam budidaya padi di lahan sawah. Pada kondisi tidak tergenang efisiensi pengelolaan air mencapai 19,58% dan 10,91% untuk yang digenangi secara terus menerus (Sumardi, *et al.* 2007). Dalam hal ini efisiensi pengelolaan air perlu diperhatikan untuk mendukung penerapan sistem budidaya padi di tanah sawah yang efisien. Oleh karena itu diperlukan sistem pertanian padi di lahan sawah yang hemat air dengan produktivitas tanaman tetap tinggi.

Air tidak hanya dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman tetapi juga sebagai media pembawa hara, sehingga hara dapat ditransport dan diserap akar. Pengelolaan hara dan air yang tepat dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaannya sehingga pengelolaan air tidak terpisahkan dari pengelolaan hara yang tepat. Pengelolaan air pada lahan sawah sangat penting dalam kaitannya dengan ketersediaan dan dinamika hara. Dalam hubungannya dengan emisi gas nitro-oksida, erat kaitannya antara efisiensi pengelolaan air dan pemupukan pada budidaya padi di lahan sawah. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa perlakuan sistem pengairan metode SRI (pengairan berselang) mengemisikan rata-rata total gas nitro-oksida dalam jumlah yang lebih tinggi dibandingkan pada perlakuan sistem pengairan konvensional dalam satu periode tanam padi. Namun, disamping itu sistem pengairan SRI (pengairan berselang) ternyata menghasilkan rata-rata produksi padi 18,7% lebih tinggi dibandingkan sistem pengairan konvensional.

Dalam hal ini dapat dilakukan upaya untuk menentukan kombinasi perlakuan pengelolaan air dan dosis pemupukan yang tepat dan efisien untuk dapat meminimalkan resiko lingkungan, dan menghasilkan produksi padi yang tetap tinggi. Sistem pengairan dengan metode SRI yang menerapkan prinsip pengelolaan air secara efisien, tetap dapat diterapkan dengan mengubah pola pengaturan air guna meminimalkan besar emisi gas nitro-oksida. Pola pengaturan air dapat dilakukan dengan menerapkan pengairan lahan sawah secara macak-macak. Pola pengaturan air secara macak-macak ini masih berpegang pada prinsip efisiensi pengelolaan air menurut metode SRI. Kondisi macak-macak menjadikan tanah sawah tetap lembab selama fase pertumbuhan padi. Kondisi tersebut akan menekan kesempatan terjadinya proses oksidasi di dalam tanah yang menghasilkan nitrat sebagai substrat denitrifikasi yang mengemisikan gas nitro-oksida.

Sistem pengairan metode SRI dengan pengelolaan air secara macak-macak dapat dikombinasikan dengan pemberian dosis pupuk yang tepat, sehingga dapat dicapai efisiensi pemupukan dan produksi padi yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan dosis petani (P1), rekomendasi Permentan (P2) dan rekomendasi hasil uji tanah (P3) menghasilkan rata-rata berat GKP berturut-turut sebesar 2,90 ; 2,63 ; dan 2,83 ton per ha dalam satu periode tanam padi.

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa perlakuan dosis petani (P1) menghasilkan rata-rata berat GKP tertinggi. Namun, jika dikaji lebih lanjut penggunaan dosis pemupukan petani (P1) dapat dikatakan kurang efisien karena dosis pupuk yang diberikan sangat tinggi meliputi 768 kg ZA per ha, 538 kg SP 36 per ha, dan 384 kg KCl per ha. Dosis pupuk N yang diberikan termasuk sangat tinggi, mencapai 400% lebih tinggi dibandingkan dengan dosis rekomendasi pemerintah. Disamping itu juga diketahui perlakuan pemupukan dosis petani (P1) menghasilkan rata-rata emisi gas nitro-oksida tertinggi pada fase awal pertumbuhan padi.

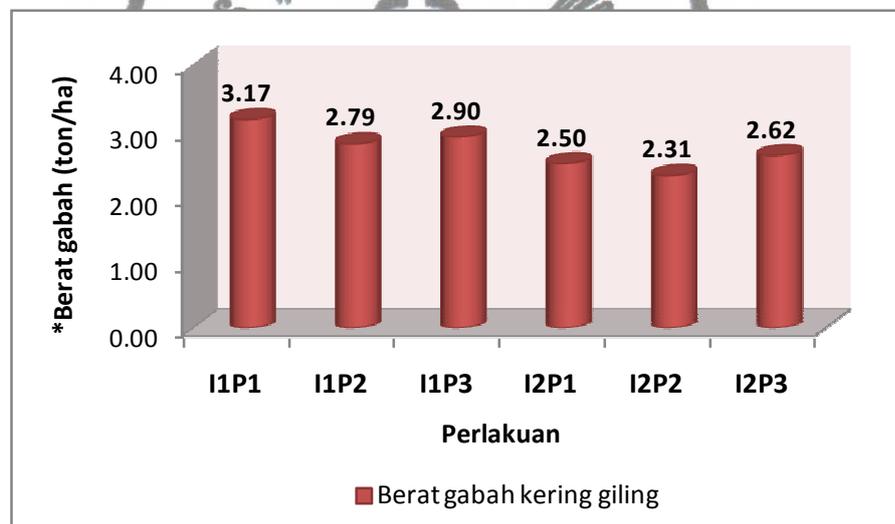
Dosis pemupukan spesifik lokasi (berdasarkan rekomendasi hasil uji tanah) dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, yang ditunjukkan oleh rata-rata berat GKP cukup tinggi yaitu sebesar 2,83 ton per ha (7,6% lebih tinggi dibandingkan rata-rata berat GKP dengan dosis pemupukan Permentan). Oleh karena itu, jika dikaji dari perbandingan emisi gas nitro-oksida terhadap berat GKP padi dalam hubungannya dengan efisiensi pengelolaan air dan pemupukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pengairan air metode SRI secara macak-macak dengan dosis pemupukan spesifik lokasi (berdasarkan rekomendasi hasil uji tanah) merupakan kombinasi sistem budidaya padi di lahan sawah yang efektif diterapkan untuk menekan resiko lingkungan dengan produksi padi yang tetap tinggi.

3. Berat Gabah Kering Giling

Gabah kering giling merupakan hasil panen padi yang telah mengalami proses pengeringan. Dari hasil gabah kering giling tersebut kemudian dihitung produksi bersih atau randemen gabah yang diperoleh. Perhitungan gabah kering giling membantu untuk mengetahui tingkat produksi dari suatu varietas yang telah dihasilkan setelah mengalami penyusutan akibat proses pengeringan. Gambar 15 menunjukkan rata-rata berat gabah kering giling (GKG) pada masing-masing perlakuan. Jika dikaji lebih lanjut, diketahui bahwa kombinasi perlakuan sistem pengairan konvensional dengan pemupukan Permentan (I2P2) mengalami penyusutan berat gabah tertinggi, yaitu sebesar 3,3% dari berat gabah kering panen (GKP). Perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani (I1P1) mengalami penyusutan berat terendah, yaitu sebesar 1,9% dari berat GKP. Sama

halnya dengan berat GKP, perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani (I1P1) menghasilkan berat GKG tertinggi sebesar 3,17 ton per hektar.

Berat gabah kering giling (GKG) pada setiap perlakuan yang diujikan ditentukan oleh berat gabah kering panen (GKP) yang dihasilkan. Berat GKG diperoleh dari berat GKP yang mengalami penyusutan akibat pengeringan. Hasil analisis ragam pada perlakuan yang diujikan dan berat gabah kering giling menunjukkan bahwa baik interaksi antara perlakuan yang diujikan maupun perlakuan secara mandiri tidak berpengaruh nyata terhadap berat gabah kering giling dalam satu periode tanam padi (Lampiran 6F). Pengkajian lebih lanjut menunjukkan bahwa penyusutan berat gabah pada penelitian ini mencapai 1,9 hingga 3,3% dari GKP yang dihasilkan oleh masing-masing perlakuan.



Gambar 15. Rata-rata berat gabah kering giling pada masing-masing perlakuan.
Keterangan :

I1: Sistem pengairan metode SRI

P1: Pemupukan dosis petani

I2: Sistem pengairan metode konvensional

P2: Pemupukan rekomendasi Permentan

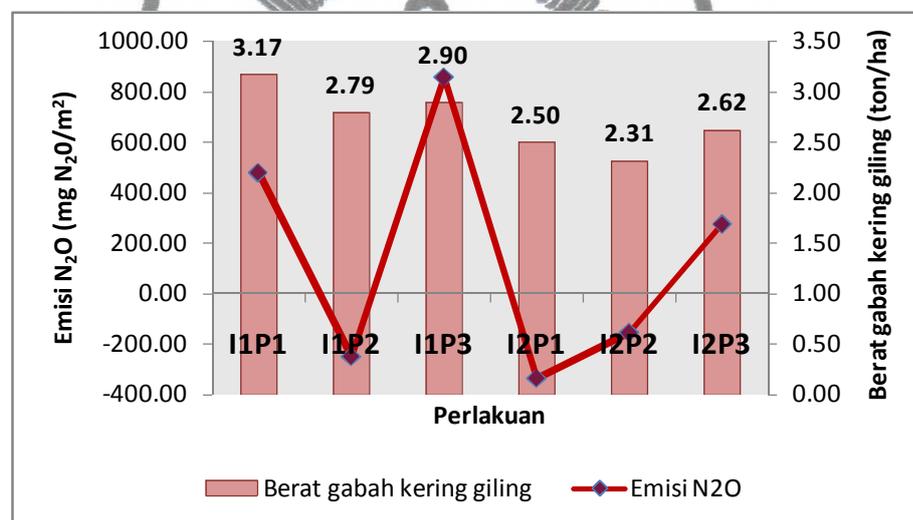
P3: Pemupukan rekomendasi hasil uji tanah

*Berat produksi rendah karena adanya serangan hama wereng

Berdasarkan data rata-rata berat gabah kering giling (GKG) yang disajikan pada gambar 15, diketahui bahwa perlakuan sistem pengairan SRI cenderung menghasilkan rata-rata berat GKG 19,3% lebih tinggi (2,95 ton per ha) dibandingkan dengan rata-rata berat GKG pada perlakuan sistem pengairan konvensional (2,48 ton per ha). Hal ini juga dilaporkan oleh Suprihati (2007) dalam

hasil penelitiannya yang menyatakan bahwa perlakuan macak-macam mampu meningkatkan bobot gabah 87%, mengurangi emisi CH_4 sebesar 24,17% tetapi meningkatkan emisi N_2O 98,7% dibanding perlakuan penggenangan.

Sama halnya dengan pembahasan sebelumnya, bahwa kombinasi perlakuan yang menghasilkan berat GKG tertinggi adalah perlakuan yang juga menghasilkan berat GKP tertinggi yaitu kombinasi perlakuan sistem pengairan SRI dengan pemupukan dosis petani (I1P1), dengan berat GKG 3,17 ton per hektar. Tingginya berat GKG tersebut juga diikuti oleh tingginya emisi gas nitro-oksida selama satu periode tanam padi (Gambar 16).



Gambar 16. Berat gabah kering giling dan dinamika total emisi gas N_2O selama satu periode tanam padi.

Penilaian efektifitas kombinasi perlakuan dalam mempengaruhi total emisi gas nitro-oksida hubungan dengan produksi padi selama satu periode tanam tidak dapat ditentukan dengan pasti karena adanya serangan hama wereng yang berdampak terhadap produksi padi terkait. Gambar 16 menunjukkan bahwa perlakuan sistem pengairan SRI cenderung memberikan rata-rata hasil produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan sistem pengairan konvensional (penggenangan kontinyu). Sistem pengairan dengan metode SRI tetap dapat diterapkan untuk mempertahankan efisiensi pengelolaan air dengan mengubah pola pengaturan air guna meminimalkan besar emisi gas nitro-oksida. Pola pengaturan

air dapat dilakukan dengan menerapkan pengairan lahan sawah secara macak-macak. Kondisi macak-macak menjadikan tanah sawah tetap lembab selama fase pertumbuhan padi. Kondisi tersebut akan menekan kesempatan terjadinya proses oksidasi di dalam tanah yang menghasilkan nitrat sebagai substrat denitrifikasi yang mengemisikan gas nitro-oksida.

Sistem pengairan metode SRI dengan pengelolaan air secara macak-macak dapat dikombinasikan dengan pemberian dosis pupuk yang tepat, sehingga dapat dicapai efisiensi pemupukan dan produksi padi yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan pemupukan rekomendasi hasil uji tanah (P3) menghasilkan rata-rata berat GKG 7,9% (2,76 ton per ha) lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata berat GKG dengan pemupukan rekomendasi Permentan (P2) yaitu sebesar 2,55 ton per ha. Jika dikaji dari perbandingan emisi gas nitro-oksida terhadap berat GKG padi dalam hubungannya dengan efisiensi pengelolaan air dan pemupukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pengairan air metode SRI secara macak-macak dengan dosis pemupukan spesifik lokasi (berdasarkan rekomendasi hasil uji tanah) merupakan kombinasi sistem budidaya padi di lahan sawah yang efektif diterapkan untuk menekan resiko lingkungan dengan produksi padi yang tetap tinggi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. a. Perlakuan pemupukan berpengaruh nyata terhadap dinamika emisi gas nitro-oksida selama fase pertumbuhan padi dalam satu periode tanam. Pemupukan dosis petani (768 kg/ha ZA, 538 kg/ha SP 36, dan 384 kg/ha KCl) menghasilkan rata-rata total emisi gas nitro-oksida 43,9% lebih tinggi ($351,94 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2$) dibandingkan perlakuan pemupukan hasil uji tanah (2000 kg/ha pupuk kandang sapi, 176 kg/ha Urea, 212 kg/ha SP 36, 142 kg/ha KCl) yang menghasilkan rata-rata total emisi gas nitro-oksida sebesar $244,57 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2$ dalam satu periode tanam padi.
 - b. Perlakuan pemupukan hasil uji tanah menghasilkan rata-rata produksi padi 7,9% lebih tinggi (2,76 ton per ha) dibandingkan dengan rata-rata produksi padi dengan pemupukan rekomendasi Permentan (2000 kg/ha pupuk kandang sapi, 150 kg/ha Urea, 25 kg/ha SP 36, 80 kg/ha KCl) sebesar 2,55 ton per ha dalam satu periode tanam.
 - c. Berdasarkan rata-rata produksi padi yang cukup tinggi dalam satu periode tanam dan rata-rata emisi gas nitro-oksida yang rendah pada awal pertumbuhan padi dan saat padi memasuki awal fase pematangan, mengindikasikan bahwa pemberian dosis pupuk spesifik lokasi (berdasarkan hasil uji tanah) memberikan efisiensi pemupukan N yang lebih tinggi dibandingkan pemberian dosis pupuk petani dan rekomendasi Permentan.
 - d. Pemupukan berdasarkan hasil uji tanah (spesifik lokasi) dapat diterapkan dalam budidaya padi sawah dalam hubungannya untuk peningkatan efisiensi pemupukan, produksi padi yang tinggi dan upaya menekan resiko lingkungan.
2. a. Sistem pengelolaan air pada lahan padi sawah secara mandiri berpengaruh nyata terhadap dinamika emisi gas nitro-oksida selama fase pertumbuhan padi dalam satu periode tanam.

Sistem pengelolaan air dengan metode konvensional (penggenangan kontinyu) menghasilkan rata-rata total emisi gas nitro-oksida 83,56% lebih rendah ($-71,28 \text{ mg N}_2\text{O/m}^2$) dibandingkan dengan sistem pengelolaan air

- metode SRI (pengairan berselang) dengan rata-rata total emisi 362,27 mg N_2O/m^2 dalam satu periode tanam padi.
- b. Perlakuan sistem pengairan SRI menghasilkan rata-rata produksi padi 19,3% lebih tinggi (2,95 ton per ha) dibandingkan dengan rata-rata produksi padi pada perlakuan sistem pengairan konvensional (2,48 ton per ha) dalam satu periode tanam.
 - c. Perlakuan sistem pengairan metode SRI (pengairan berselang) dapat mendukung peningkatan rata-rata produksi padi sebesar 19,3% dalam satu periode tanam dengan efisiensi penggunaan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pengairan konvensional.
 - d. Sistem pengairan metode SRI tetap dapat diterapkan sebagai sistem pengelolaan air yang efisien dengan resiko lingkungan yang rendah (emisi gas nitro-oksida rendah), dengan mengubah pola pengaturan air dari pengairan secara berselang menjadi pengairan secara macak-macak.
3. Interaksi sistem pengelolaan air dan pemupukan tidak berpengaruh nyata terhadap emisi gas nitro-oksida selama masa pertumbuhan padi dan produksi padi dalam satu periode tanam.

B. Saran

Saran yang dapat direkomendasikan berdasarkan hasil penelitian ini, antara lain :

1. Petani (khususnya petani di sekitar Desa Demakan) dapat mengaplikasikan sistem pengelolaan air dan pemupukan yang lebih efisien pada budidaya padi, yaitu pengairan secara macak-macak dengan dosis pemupukan spesifik lokasi (berdasarkan hasil uji tanah) (2000 kg/ha pupuk kandang sapi, 176 kg/ha Urea, 212 kg/ha SP 36, 142 kg/ha KCl). Jenis pupuk organik yang diberikan dianjurkan pupuk organik berkualitas rendah (kandungan lignin-polifenolnya tinggi) bertujuan untuk penghambat nitrifikasi guna menekan emisi gas nitro-oksida, dalam rangka meminimalkan resiko lingkungan dan memperoleh manfaat ekonomi pertanian.

2. Saran terkait dengan metode penelitian yang dilakukan :
 - a. Interval waktu pengambilan sampel gas sebaiknya dalam jangka waktu yang lebih lama untuk memperoleh sampel gas nitro-oksida yang lebih valid.
 - b. Pengukuran potensial redoks (Eh) tanah sebaiknya dilakukan langsung di lapangan bersamaan saat pengambilan sampel gas.
 - c. Sebaiknya juga diperhatikan mengenai cara aplikasi pupuk agar tepat sasaran.
3. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan penambahan data pendukung, antara lain :
 - a. Hubungan suhu tanah dengan dinamika emisi gas nitro-oksida pada budidaya padi sawah, sebagai parameter proses reaksi reduksi oksidasi dalam tanah.
 - b. Hubungan suhu air irigasi dengan dinamika emisi gas nitro-oksida pada budidaya padi sawah, untuk mengetahui potensi kelarutan gas nitro-oksida dalam air irigasi.
 - c. Hubungan kandungan bahan organik tanah dengan dinamika emisi gas nitro-oksida pada budidaya padi sawah untuk dapat mengetahui potensi mineralisasi N organik di dalam tanah.
 - d. Hubungan kelarutan NO_3^- dalam air irigasi dengan dinamika emisi gas nitro-oksida pada budidaya padi sawah.
 - e. Hubungan populasi bakteri *denitrifier* dengan dinamika emisi gas nitro-oksida pada budidaya padi sawah.
4. Dapat dilakukan uji multilokasi untuk penelitian mengenai emisi gas nitro-oksida di lahan sawah. Penelitian serupa dengan metode penelitian yang sama dapat dilakukan pada lahan padi sawah di beberapa daerah dengan karakteristik tanah dan lingkungan yang berbeda.
5. Dapat dilakukan uji jenis varietas-varietas padi unggul dalam kaitannya dengan efisiensi pemupukan nitrogen yang berpengaruh terhadap dinamika emisi gas nitro-oksida dalam budidaya padi sawah.