



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Atmosfer dan Gas Rumah Kaca

Manahan (1979) menjelaskan bahwa komponen-komponen atmosfer dapat dibagi dalam komponen golongan major, minor dan runutan (*trace*). Secara umum atmosfer kering dan bebas zat pencemar mengandung komponen mayor berupa N₂ (78%), O₂ (21 %), komponen minor berupa Ar (0,9 %); CO₂ (0,034 %), SO₂ (sekitar 2×10^{-8} %), O₃ (1×10^{-5} %); CO ($1,2 \times 10^{-5}$ %), N₂O ($2,5 \times 10^{-5}$ %), NO₂ (1×10^{-5} %) berdasar volume. Di samping itu ada komponen runutan yang jumlahnya sangat kecil, misalnya neon, helium, kripton, xenon, hidrogen, ozon dan sebagainya. Atmosfer juga mengandung air sebesar 1 - 5 % volume, biasanya besaran normalnya antara 1 - 3 %. Kerapatan atmosfer menurun tajam dengan naiknya ketinggian. Lebih dari 99 % dari massa total atmosfer didapatkan sampai 30 km pada ketinggian dari muka bumi. Atmosfer merupakan selimut bumi yang melindungi kehidupan di dalamnya dari keadaan yang tidak bersahabat berasal dari angkasa luar. Atmosfer juga merupakan sumber daya karbon dioksida bagi fotosintesis tumbuhan dan sumber daya oksigen bagi pernapasan semua makhluk hidup. Atmosfer juga menyediakan nitrogen yang digunakan oleh bakteri pengikat (*fixing*) nitrogen untuk memproduksi zat-zat yang penting bagi kehidupan.

Di samping itu atmosfer adalah salah satu komponen dalam siklus hidrologi. Dalam hal ini atmosfer bertindak sebagai kondensor dalam suatu perputaran tenaga sinar matahari. Atmosfer juga telah dimanfaatkan sebagai suatu tempat buangan untuk berbagai macam zat pencemar, mulai dari SO₂ sampai

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritika atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Milik IPB (Institut Pertanian Bogor) Bogor Agricultural University

dengan debu dan aerosol yang secara praktis menyebabkan kerusakan pada vegetasi dan benda-benda, memperpendek umur manusia dan kemungkinan besar mengubah karakteristik dari atmosfer itu sendiri.

Atmosfer dapat mengabsorbsi sinar kosmis, sehingga akan menjaga makhluk hidup dari dampaknya. Atmosfer juga mengabsorbsi sebagian radiasi dari matahari. Hanya radiasi dengan panjang gelombang 300-25000 nm yang ditransmisikan. Gelombang-gelombang itu mencakup ultra ungu dekat (UV, 320-400 nm) sinar tampak (400-700 nm) dan infra merah (IR, 700-20000 nm) serta gelombang radio. Jadi atmosfer merupakan filter radiasi matahari dengan panjang gelombang lebih kecil dari 300 nm yang merusak jaringan.

Atmosfer berfungsi sebagai penyeimbang panas bumi, sebab atmosfer dapat mengabsorbsi radiasi gelombang panjang yang diemisikan oleh permukaan bumi karena menerima radiasi gelombang pendek dari matahari. Dengan fungsi itu dapat mencegah suhu bumi yang sangat ekstrim seperti terjadi di planet-planet lain dan bulan yang langka akan substansi atmosfernya. Kandungan atmosfer yang bertindak seperti tersebut di atas disebut Gas-gas Rumah Kaca (GRK), antara lain CO_2 , CH_4 , CFC, dan N_2O . Dengan makin banyaknya kandungan GRK di atmosfer, terutama dari sumber antropogenik, penyerapan radiasi gelombang panjang oleh GRK semakin banyak sehingga menyebabkan suhu atmosfer makin panas.

Masing-masing GRK mempunyai intensitas penyerapan radiasi gelombang panjang dan waktu tinggal di atmosfer yang berbeda-beda, sehingga dengan demikian masing-masing mempunyai konstanta pemanasan relatif terhadap CO_2 yang berbeda-beda pula (Tabel 2.1).



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

Tabel 2.1. Potensi Pemanasan Relatif dan Kontribusi Pemanasan Global dari Beberapa Gas Rumah Kaca

Gas	Waktu Tinggal (tahun)	Laju Kenaikan (%/tahun)	Pemanasan Relatif	Potensial Pemanasan Global* (Relatif thd CO ₂)	Kontribusi (%) **
CO ₂	50	0,5	1	1	55
CH ₄	10	0,9	21	63	15
FC-11	65	4 (seluruh CFC)	12400	4500	24 (seluruh CFC)
FC-12	130		15800	7100	
N ₂ O	150	0,25	206	210	6

Sumber : UNEP and IPIECA, 1991

Keterangan : * = Efek pemanasan 1 kg gas relatif terhadap CO₂, berdasarkan keadaan atmosfer saat ini.

** = terhadap kekuatan radiatif total, 1980 - 1990.

Dari Tabel 2.1. terlihat bahwa yang mempengaruhi nilai konstanta pemanasan relatif dari GRK adalah waktu tinggal dan kekuatan radiatif tiap molekul GRK dibandingkan dengan CO₂. Menurut tabel tersebut CFC mempunyai konstanta pemanasan yang tinggi terhadap pemanasan global dibanding dengan GRK lainnya. Kenaikan kadarnya di atmosfer seluruh golongan CFC ini cukup besar yaitu mencapai 4 % per tahun, dibanding dengan CO₂ yang 0,5 % dan CH₄ yang 0,9 %. Pada tahun 1980-an golongan CFC ini sangat di khawatirkan akan menjadi penyebab nomor satu pemanasan global pada masa yang akan datang. Tetapi setelah KTT Bumi (1992) negara-negara produsen dan konsumen sepakat untuk secara bertahap mengurangi sampai menghilangkan produksi dan konsumsi CFC. Sumbangan terbesar pada pemanasan global sampai saat ini masih dipegang oleh CO₂. Yang menarik perhatian adalah N₂O. Walaupun laju kenaikannya hanya 0,25%/tahun dan kontribusi terhadap pemanasan global hanya 6 %, tetapi waktu

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPIB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPIB.

Hak cipta milik IPIB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

tinggalnya di atmosfer lama (150 tahun) artinya stabil dan potensial pemanasan global terhadap CO₂ besar (210 kali). N₂O juga mempunyai kemampuan merusak lapisan ozon di stratosfer melalui proses fotolisis.

Pada akhir tahun 1970-an dan awal 1980-an pengertian akan sumber dan rosot dari N₂O telah berubah secara drastis. Misalnya, lautan telah berubah dari tempat rosot menjadi suatu sumber yang kecil, kecenderungan kenaikannya dalam atmosfer adalah tetap, dan konsentrasinya pada era pra-industri telah dapat ditentukan dari analisis inti es di kutub utara dan selatan (Khalil and Rasmussen, 1995).

Dari penelitian Khalil and Rasmussen (1992) diketahui bahwa emisi N₂O dari sumber-sumber alami diperkirakan sebesar 15 Tg tahun⁻¹ dan dari sumber antropogenik diperkirakan sebesar 8 Tg tahun⁻¹. Kecepatan kenaikan konsentrasi rata-ratanya di atmosfer dari tahun 1960 sampai tahun 1976 adalah sekitar $0,4 \pm 0,3$ ppbv tahun⁻¹, sedangkan kenaikannya dari tahun 1976 sampai 1988 adalah sekitar $0,8 \pm 0,02$ ppbv tahun⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa N₂O meningkat dua kali lebih cepat di dalam tahun-tahun 1980-an dibandingkan dengan pada tahun-tahun pertengahan 1970-an. Menurut Khalil and Rasmussen (1995), diketahui bahwa kenaikan konsentrasi N₂O di atmosfer pada tahun-tahun terakhir ini lebih cepat lagi. Hal ini berbeda dengan GRK yang lain, misalnya CH₄ dan CFC's yang menunjukkan penurunan kecepatan akumulasinya.

2.2. Emisi N₂O pada Lahan Pertanian

Hasil penelitian Minami (1994) menunjukkan bahwa nisbah penglepasan N₂O terhadap penggunaan pupuk N yang tidak memakai inhibitor adalah berkisar antara 0,08 – 0,22 %. Sedangkan Bouwman (1990) mengemukakan bahwa pada penggunaan pupuk N yang rendah (kurang dari 200 kg N ha⁻¹), nisbah kehilangan

N sebagai N_2O berkisar $0,1 \pm 0,08$ % dari penggunaan pupuk N. Nilai nisbah tersebut tidak tergantung pada jenis pupuk N. Dikemukakan pula pada lahan yang ditanami dan diberi pupuk N lebih dari 250 kg N ha^{-1} mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$N_2O = 1,878536 + 0,00417 N$$

N_2O = emisi N_2O ($\text{kg N}_2O\text{-N ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$)
 N = pupuk N (kg N ha^{-1})

Pada tahun 1995, FAO melaporkan bahwa secara global konsumsi pupuk N dunia pada tahun 1994/1995 sebesar $73,6 \text{ Tg N}$ ($1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g}$) dan khusus konsumsi pupuk N Indonesia pada tahun yang sama dalam laporan itu tercantum sebesar $1,7 \text{ Tg N}$. Perkembangan realisasi penyaluran (konsumsi) pupuk N, khususnya urea dan ZA, di sub sektor Tanaman Pangan untuk tahun 1983 – 1992 didapat data dari Dit. Bina Usahatani dan Pengelolaan Hasil, Ditjen. Pertanian Tanaman Pangan, Departemen Pertanian R.I. Sebagai contoh, konsumsi pupuk urea pada tahun 1992 di Pulau Jawa sebesar 2,03 juta ton, sedangkan untuk seluruh Indonesia tercantum 2,62 juta ton. Dengan menggunakan data dari FAO atau dari Departemen Pertanian R.I. tersebut, dapat dibuat perkiraan (prediksi) emisi N_2O dari lahan pertanian yang dipupuk N berdasarkan asumsi nisbah kehilangan N berupa N_2O terhadap penggunaan pupuk N sebesar 0,1 % atau berdasarkan persamaan $N_2O = 1,878536 + 0,00417 N$.

Menurut Bauwman (1990) lahan yang ditanami menunjukkan selang fluks N_2O yang lebar, yaitu antara 2 sampai $1880 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$. Pada kebanyakan publikasi menunjukkan tidak ada korelasi yang baik antara tipe dan tingkat pemupukan dengan fluks N_2O pada tanah yang drainasenya jelek atau selalu tergenang. Dengan kondisi tanah seperti tersebut merupakan kondisi yang baik

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

untuk proses denitrifikasi. Sawah yang mendapat pengairan dari irigasi dapat dipersamakan kondisinya dengan tanah yang tergenang.

Kesulitan yang terbesar dalam pengkajian emisi N_2O adalah ekstrapolasi dari pengukuran-pengukuran lapangan. Hal ini disebabkan antara lain oleh interaksi suhu yang kompleks dan tidak tergantung waktu, populasi mikrobial, pasokan C organik, difusi oksigen, kandungan air, konsentrasi nitrat dan sistem perakaran.

Beberapa studi misalnya Lindau *et al.* (1990) dan Mosier *et al.* (1991) tidak melakukan pengambilan contoh berulang-ulang pada tapak studi yang sama. Kebanyakan studi lebih memperhatikan fluks maksimum setelah pemupukan atau setelah irigasi daripada kecepatan emisi rata-rata. Bahkan dalam banyak kejadian sumber dan proses yang ada di dalamnya tidak ditentukan.

Beberapa peneliti memperkirakan bahwa kecepatan emisi adalah lebih tinggi untuk pupuk amonium daripada pupuk nitrat. Fenomena ini mungkin tidak tergantung tipe ion pengganggu. Bouwman (1990) mengasumsikan rata-rata emisi N_2O yang disebabkan oleh penggunaan pupuk N adalah 0,04 % dari pupuk nitrat; 0,15 - 0,19 % dari pupuk amonium atau urea dan 5 % dari pupuk amoniak anhidrat. Angka-angka itu mungkin tidak tergantung iklim dan seharusnya menjadi wakil secara global.

Sifat-sifat Nitrous Oksida (N_2O)

N_2O dikenal sebagai "gas gelak", karena pada konsentrasi tertentu akan menyebabkan orang terangsang untuk terus ketawa. Hal ini pernah digunakan Nazi Jerman pada waktu menyiksa tawannya. Sekarang ini N_2O sangat banyak dipakai di ruang bedah rumah sakit untuk tujuan anaestetik. Dalam bidang industri alat elektronika, N_2O digunakan untuk membersihkan permukaan cip (*IC = Integrated*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
© Hak Cipta milik IPB, Institut Pertanian Bogor

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritika atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

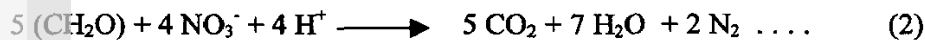
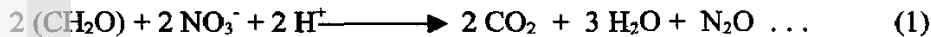
Circuit) dari kotoran. Juga dalam kimia analitik, N₂O bersama asetilen digunakan sebagai gas pembakar dalam alat spektroskopi serapan atom (AAS).

Tata Nama : Nitrous oxide, dinitrogen oksida atau gas gelak

- Sifat :
- Bobot molekul = 44,01
 - Warna = tidak berwarna
 - Densitas = 1,977 g/l (0 °, 760 mm Hg)
 - Titik leleh = -90,8 ° C
 - Titik didih = - 88,5 ° C
 - Kelarutan = 130 cm³ dalam 100 ml air, 0° C
 = 56,7 cm³ dalam 100 ml air 25° C
 = larut dalam alkohol, eter dan H₂SO₄

Konsentrasinya di atmosfer yang bebas zat pencemar sekitar 0,25 – 0,35 ppm.

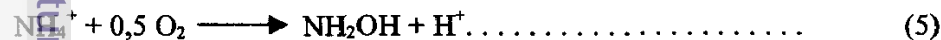
Reaksi pembentukan N₂O dari proses denitrifikasi dalam tanah dengan memanfaatkan nitrat dan nitrit sebagai penerima elektron oleh mikroorganisme anaerobik pada saat mengoksidasi berbagai komponen organik menghasilkan produk berbentuk gas, termasuk diantaranya N₂O dan N₂.



Di dalam tanah dan air dapat terjadi proses nitrifikasi yaitu oksidasi amonium oleh mikroorganisme (contoh *Nitrosomonas*) menjadi nitrit, lalu dioksidasi lagi oleh mikroorganisme yang lain (contoh *Nitrobacter*) menjadi nitrat.



Reaksi (3) sebenarnya mempunyai subreaksi sebagai berikut :

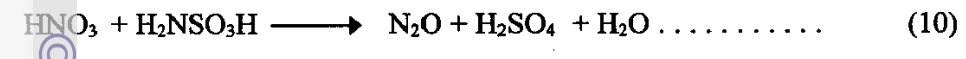
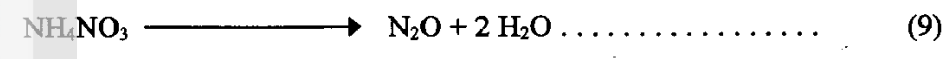


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

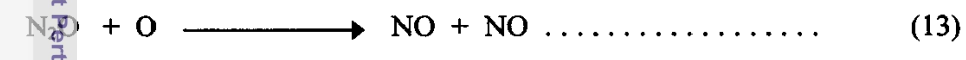
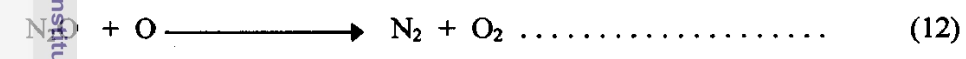
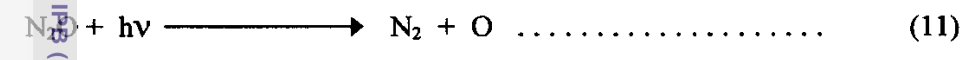
© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor) Bogor Agricultural University



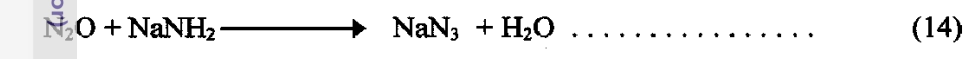
Sedangkan pembuatan secara sintetis biasanya N₂O dibuat dari amonium nitrat atau dapat pula dari reaksi asam nitrat dengan amido asam sulfat.



N₂O relatif stabil di atmosfer bagian bawah, tetapi konsentrasinya cepat menurun di lapisan stratosfer karena reaksi fotokimia dan beberapa reaksi dengan atom oksigen. Reaksinya sebagai berikut :



Dalam berbagai keperluan industri, N₂O dapat direaksikan dengan natrium amida menjadi natrium azida dan air (Kolditz, 1980).



Khalil and Rasmussen (1995) setelah mengikuti perkembangan penelitian-penelitian tentang N₂O ini, mengemukakan neraca N₂O global seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Dari Tabel 2.2. terlihat bahwa emisi N₂O dari sumber antropogenik terdistribusi diantara sumber-sumber yang kecil. Pada saat ini emisi dari sumber-sumber ini tidak atau belum terungkap dengan jelas. Di lain pihak N₂O di atmosfer dapat hilang umumnya dengan cara reaksi-reaksi fotokimia di lapisan troposfer dan dengan reaksi dengan atom oksigen. Hal itu menjadikan waktu tinggalnya lama yaitu sekitar 150 tahun. Bila waktu tinggal N₂O di atmosfer sedemikian lamanya, maka perubahan dalam konsentrasinya akan mempunyai efek jangka panjang pada pemanasan bumi ataupun pada kerusakan lapisan ozon stratosfer.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPIB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPIB.

© Hak cipta milik IPIB (Institut Pertanian Bogor)
 Bogor Agricultural University

Tabel 2.2. Sumber-sumber N₂O Alamiah dan Antropogenik (dalam Tg tahun⁻¹)

Sumber	Faktor		
	Nilai Tengah	Selang	Ketidakpastian
Sumber Antropogenik			
Pembakaran biomassa	1,6	0,2 – 3	15
Instalasi tenaga	0,0	0,0 – 0,2	20
Pabrik nilon	0,7	TD	TD
Pupuk nitrogen	1,0	0,4 – 3	8
Sekokan	1,5	0,3 – 3	10
Pernakan – pertanian	0,5	0,3 – 1	TD
Akuisifer – irigasi	0,8	0,8 – 2	TD
Mobil	0,8	0,1 – 2	20
Pemanasan bumi	0,3	0,0 – 1	TD
Perubahan tata guna lahan	0,7	TD	TD
Pembentukan di atmosfer	TD	TD	
Total	8	5 – 10	
Sumber Alamiah			
Tanah	12	-	-
Lautan	3	-	-
Total	15		

Sumber : Khalil dan Rasmussen (1995)

Keterangan : TD = tidak diketahui ; Ketidakpastian = Nilai maksimum / minimum.

Bouwman (1990) melaporkan bahwa di atmosfer diperkirakan mengandung N₂O sebesar 1500 Tg N₂O-N dan total produksi di troposfer adalah 14 ± 7 Tg N/tahun sedangkan kehilangannya di stratosfer adalah 9 ± 2 Tg N/tahun

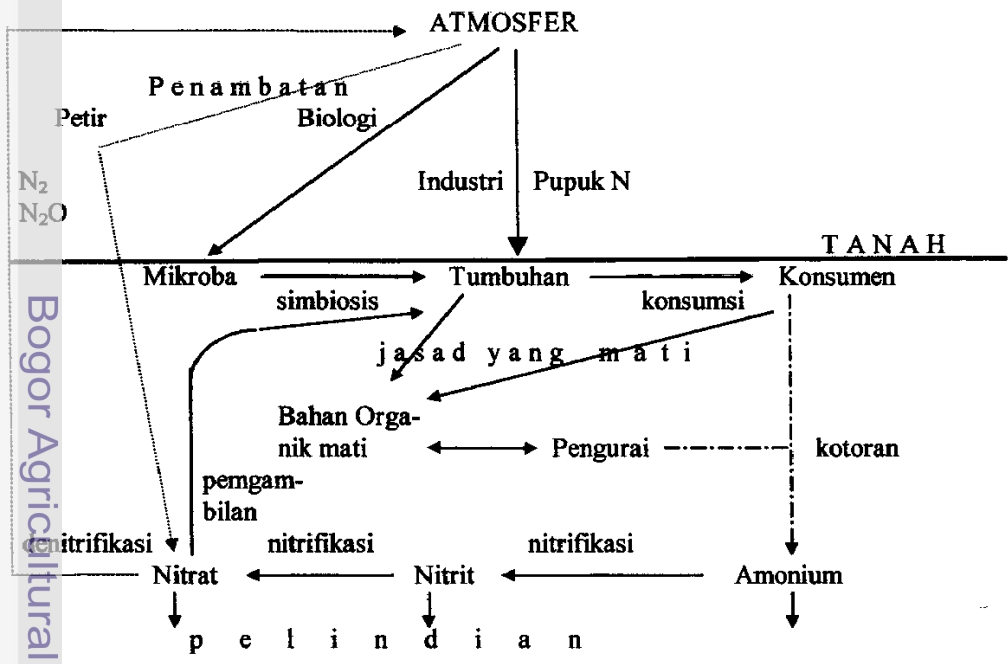
2.4. Siklus Nitrogen

Nitrogen adalah elemen esensial utama bagi makhluk hidup. Nitrogen yang terlalu sedikit juga dapat menimbulkan malnutrisi pada manusia sebab banyak fungsi penting dari tubuh menuntut adanya molekul yang mengandung nitrogen seperti protein, asam nukleat, vitamin dan hormon. Defisiensi nitrogen pada tanaman menimbulkan gangguan pertumbuhan dan produksi tanaman itu. Walaupun nitrogen (N₂) merupakan penyusun terbesar kandungan atmosfer (sekitar 78 %), tetapi tidak berguna langsung bagi tumbuhan dan binatang.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Untungnya, dalam siklus nitrogen terdapat proses penambatan nitrogen oleh mikroorganisme yang mampu mengubah N_2 menjadi molekul-molekul mengandung N yang dapat dimanfaatkan oleh makhluk lain.

Seperti tampak dalam Gambar 2.1. siklus nitrogen tidak seluruhnya bebas dalam satu komponen lingkungan tanah (edafik), melainkan sebagian besar berkaitan dengan atmosfer yang dihubungkan dengan tanah melalui penambatan nitrogen, nitrifikasi dan denitrifikasi. Walaupun demikian, tumbuhan memperoleh hara nitrogennya dari tanah sebagai ion nitrat dan amonium. Penambatan nitrogen dari atmosfer dalam skala global berjumlah sekitar $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dari aliran nitrogen biosfer. Sebagian besar penambatan nitrogen itu dilaksanakan oleh bakteri yang bersimbiosis yang hidup dalam akar tumbuhan, dan sebagian kecil oleh bakteri tanah yang hidup bebas. Dari jenis algae yang mampu menambat nitrogen antara lain ganggang hijau-biru dan Azola. Petani di Cina, Jepang, Taiwan dan Vietnam biasa menggunakan ganggang biru untuk menambah kesuburan padi sawah.



Gambar 2.1. Siklus Nitrogen Dalam Sistem Terestrial (Deshmukh, 1986)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritika atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Bakteri-bakteri tanah penambat nitrogen, ganggang hijau-biru dalam air, dan bakteri simbiotik dalam bintil akar dari alfalfa, clover dan *Leguminosae* lainnya mengubah atau menambat nitrogen menjadi garam nitrat yang berupa padatan. Garam-garam nitrat ini mudah larut dalam air tanah dan diambil oleh akar tumbuhan. Kemudian tumbuh-tumbuhan mengubah nitrat menjadi molekul-molekul protein yang banyak mengandung N dan molekul-molekul nitrogen organik lainnya yang penting untuk kehidupan. Beberapa macam protein itu dipindahkan ke hewan pemakan tumbuhan dan kadang-kadang ke hewan lain yang memangsa hewan pertama. Bilamana tumbuhan dan hewan mati, perombak (dekomposer) menguraikan molekul-molekul organik besar ini menjadi amonia (NH_3) dan garam-garam amonium yang larut dalam air. Amonia dan amonium diubah oleh mikroorganisme tanah dengan proses nitrifikasi menjadi ion nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) yang larut dalam air serta nitrogen dan nitrous oksida (N_2O) yang dikembalikan ke atmosfer. Bakteri-bakteri tanah yang khusus tetapi ada di mana-mana memegang peranan vital dalam nitrifikasi. Bakteri denitrifikasi mengubah nitrat dalam keadaan anaerobik menjadi nitrogen dan N_2O .

Beberapa tumbuhan dapat mengkonsumsi ion amonium (NH_4^+) dari garam-garam yang terlarut dalam air tanah dan mengubahnya menjadi molekul-molekul organik N (antara lain protein). Golongan lain dari bakteri dapat menambahkan satu atom oksigen ke tiga pada ion nitrit dan mengubahnya menjadi ion nitrat (NO_3^-) yang dapat diserap oleh tumbuhan untuk memulai daur lagi. Beberapa nitrogen kadang-kadang hilang dari daur bilamana garam nitrat yang larut itu terlindi (leached) dari tanah masuk perairan permukaan (sungai, danau, bahkan sampai ke laut) dan atau terjadi pelindian masuk ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam atau masuk ke dalam air tanah.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Bogor Agricultural University

2.5. Peranan Mikroorganisme Pada Pembentukan N_2O Dalam Tanah

Mikroorganisme adalah sumber N_2O biotik utama dalam ekosistem terestrial dan akuatik. Ada tiga jalur utama pembentukan N_2O dalam tanah, yaitu : denitrifikasi, nitrifikasi autotropik dan heterotropik. Di samping itu ada proses fiksasi nitrogen oleh mikroorganisme tanah yang sedikit banyaknya mempengaruhi pembentukan N_2O karena meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam tanah.

2.5.1. Denitrifikasi

Di dalam tanah terdapat dua cara denitrifikasi yaitu: denitrifikasi cara kimia dan denitrifikasi cara biologi.

Denitrifikasi cara kimia adalah reaksi reduksi nitrat atau nitrit oleh suatu reaktor kimiawi menghasilkan N_2 dan oksida-oksida nitrogen. Bouwman (1990) mengemukakan bahwa beberapa peneliti telah mencatat bahwa pelepasan gas-gas nitrogen (NO , N_2O atau N_2) mungkin menyebabkan akumulasi NO_2^- . Konsentrasi nitrit yang tinggi kadang-kadang ditemui pada tanah anaerobik yang mendapat pupuk NH_4^+ dengan dosis tinggi. Akumulasi nitrit itu diperkuat dengan penggunaan fosfat. Ion-ion nitrit dapat bereaksi dengan molekul organik membentuk gugus nitroso ($-N=O$) yang tidak stabil. Dari gugus nitroso ini dapat terbentuk N_2 dan N_2O . Jalan reaksi lainnya melalui penguraian HNO_2 dan terbentuk NO atau NO dan NO_2 . Reaksi yang terakhir itu diperlukan kondisi yang asam. Jadi kesimpulannya reaksi denitrifikasi secara kimiawi menghasilkan gas-gas yang mengandung nitrogen, tetapi tidak menyumbang secara nyata pada produksi N_2O .

Denitrifikasi secara biologis adalah reduksi nitrat menjadi N_2O dan N_2 dengan bantuan bakteri anaerobik, bilamana oksigen terbatas jumlahnya. Denitrifikasi secara definisi dinyatakan sebagai oksidasi bahan organik oleh

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

mikroorganisme dengan memanfaatkan nitrat atau nitrit sebagai penerima elektron dan menghasilkan produk berbentuk gas, termasuk diantaranya N_2O . Secara umum persamaan reaksinya seperti pada persamaan reaksi (1) dan (2). Persamaan reaksi itu menunjukkan bahwa aktivitas denitrifikasi berjalan dalam media yang banyak mengandung bahan organik. Tetapi yang perlu diperhatikan adalah proses ini memerlukan energi, dan energinya itu dipasok oleh dekomposisi karbohidrat. Jadi disamping kondisi fisik yang cocok untuk mikroba denitrifikasi, juga diperlukan suatu media yang cukup bahan organik dan hara lainnya.

Pada awalnya diperkirakan bahwa pemanfaatan nitrogen sebagai tempat penerima elektron adalah sebagai pengganti oksigen yang langka. Tetapi kemudian diketahui bahwa terdapat denitrifikasi aerobik yang telah dibuktikan oleh beberapa peneliti (antara lain Umarov, 1990; Patrick Jr., 1982). Tingkat denitrifikasi yang tinggi menghasilkan N_2O yang tinggi pula telah diamati dalam tanah yang teraerasi basah, tetapi setelah kondisi anaerobik yang pendek misalnya setelah turun hujan (Mosier, *et al.* 1991).

Bakteri denitrifikasi mempunyai banyak spesies. Sifat yang umum dari bakteri denitrifikasi adalah organotropik dan anaerobik. Bakteri denitrifikasi dapat mengoksidasi bahan organik tanpa menggunakan oksigen. Dalam keadaan tanpa oksigen itu, bakteri tersebut menggunakan ikatan oksigen dari nitrat. Diperkirakan lebih dari 65 % mikroorganisme prokariot mampu melakukan denitrifikasi. Kemudian diketahui pula beberapa bakteri yang aktif melakukan fiksasi-N juga mampu melakukan denitrifikasi antara lain: *Azotobacter croococcum*, *Azospirillum brasiliense*, dan *A. lipoferum*, *Rhodopseudomonas spaeroides*, serta berbagai spesies dari *Rhizobium* (Odum, 1971; Patrick Jr., 1982; Ricklefs, 1973; Sutedjo *et al.* 1991 dan Umarov, 1990)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Spesies yang mampu melakukan denitrifikasi secara garis besarnya dibatasi pada genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Coryne bacterium*, *Hyphomicrobium* dan *Serratia*.

Sekitar 10 - 30 % dari penggunaan nitrogen hilang melalui mekanisme pelepasan gas, sehingga denitrifikasi dipercayai sebagai proses yang penting. Penelitian terbaru pada tanah tergenang diperkirakan bahwa denitrifikasi dan nitrifikasi berjalan berlawanan dengan pelepasan NH_3 (Tejasarwana, 1988).

Banyak mikroorganisme mampu mereduksi NO_3^- menjadi NO_2^- , tetapi tidak semua mampu melakukan denitrifikasi. Kebanyakan bakteri denitrifikasi dapat mereduksi N_2O menjadi N_2 . Diketahui pula bahwa amonia dapat menghambat reduksi lebih lanjut dari NO_2^- oleh baktri denitrifikasi. NO sebagai produk perantara denitrifikasi, masih ada ketidakpastian sebab NO secara alami sangat reaktif, sehingga sulit dideteksi. Perbandingan N_2 dan gas-gas lain yang keluar dari tanah tergantung beberapa faktor, seperti pH, kelembaban tanah, potensial redoks, suhu, konsentrasi nitrat dan kandungan C organik tersedia.

2.5.2. Nitrifikasi

Nitrifikasi adalah aktivitas mikrobiologik yang pada fase pertama amonium (NH_4^+) dioksidasi menjadi nitrit (NO_2^-), lalu pada fase ke dua nitrit dioksidasi lagi menjadi nitrat (NO_3^-). Pada reaksi fase pertama ada subreaksi yang menghasilkan NO (Persamaan reaksi 7). Proses nitrifikasi terdiri dari nitrifikasi autotropik dan nitrifikasi heterotropik, yang sangat luas tersebar di biosfer. Selama nitrifikasi autotropik yang dituntun oleh suatu golongan bakteri khusus, amonium bertindak sebagai donor elektron (substrat energetik). Bakteri nitrifikasi autotropik yang mampu membentuk N_2O ada 4 genera yaitu *Nitrosomonas*, *Nitrosolobus*, *Nitrosococcus* dan *Nitrospora*. Bakteri-bakteri itu mengantarkan fase pertama dari



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

nitrifikasi yang menghasilkan NO_2^- dan N_2O (Persamaan reaksi (3) dan (7)). Kemudian pada fase kedua, bakteri (antara lain *Nitrobacter*) mengoksidasi NO_2^- menjadi NO_3^- tetapi tidak menghasilkan N_2O (Persamaan reaksi (4)).

Nitrifikasi autotropik berjalan dalam kondisi ekologi spesifik, yaitu: pH mendekati netral, aerasi yang baik, kekurangan bahan organik, dan konsentrasi amonia yang rendah. Oleh karena itu peranan nitrifikasi autotropik dalam pembentukan N_2O diasumsikan tidak signifikan.

Nitrifikasi heterotropik adalah lebih luas tersebar di alam. Nitrifikasi ini dapat dikatakan sebagai ko-oksidasi dari amonia selama mineralisasi bahan organik. Jadi nitrifikasi heterotropik tidak mempunyai fungsi energetik. Nitrifikasi heterotropik dapat mengoksidasi tidak hanya NH_4^+ , tetapi juga aminonitrogen, hidroksilamin dan hidroksimat. Berbeda dengan nitrifikasi autotropik, nitrifikasi heterotropik dapat dilakukan oleh banyak spesies mikroorganisme prokariot dan enkariot. Yang banyak aktif adalah fungi *Aspergillus* dan *Penicillium*, bakteri-bakteri *Achromobacter*, *Arthobacter*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Xantomonas*, dan sebagainya. Penelitian dengan menggunakan isotop ^{15}N dan inhibitor menunjukkan bahwa N_2O terbentuk oleh berbagai organisme.

Faktor utama yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme itu adalah perbandingan C/N. Untuk nitrifikasi heterotropik perbandingan C/N harus kurang dari 10. Supaya nitrifikasi ini aktif, diperlukan jumlah N yang lebih dari keperluan pertumbuhan normal bakteri tersebut karena bakteri itu sendiri butuh hara (antara lain nitrogen) untuk pertumbuhannya.

Nitrifikasi heterotropik berjalan cepat dalam tanah yang netral atau sedikit asam. Beberapa ion (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+}) merangsang proses ini. Semula nitrifikasi



heterotropik dinyatakan tidak penting sebab aktivitasnya 10^3 - 10^4 kali lebih kecil dari nitrifikasi autotropik. Kepentingan nitrifikasi heterotropik di biosfer sekarang dikonfirmasi oleh ketidaktetapan yang besar dari ekologi dan sejumlah besar sumber nitrogen yang dapat dioksidasi dalam proses ini. Diperkirakan kontribusi nitrifikasi heterotropik pada nitrifikasi total adalah sekitar 64 -90 % di tanah hutan yang asam.

Menurut pendapat Umarov (1990) nitrifikasi heterotropik tidak berubah banyak oleh pengasaman tanah setelah hujan asam, sedangkan nitrifikasi autotropik terhambat pada kondisi asam. Pemberian pestisida atau herbisida dapat meningkatkan peranan nitrifikasi heterotropik, sedangkan pada nitrifikasi autotropik terjadi hambatan. Nitrifikasi heterotropik mampu mengoksidasi hidroksilamin dan oksim-oksime. Zat-zat tersebut tersedia secara konstan di dalam tanah dan air karena merupakan zat tengah (intermediate) utama dari reaksi-reaksi oksidasi dan reduksi dalam siklus nitrogen dari sejumlah besar metabolisme mikroorganisme. Jadi dapat diambil kesimpulan kedua bahwa nitrifikasi heterotropik memainkan peranan penting dalam biosfer yang sampai sekarang belum dipertimbangkan.

3. Fiksasi Nitrogen

Adanya fiksasi nitrogen oleh mikroorganisme tanah merupakan salah satu penjelasan tentang kesuburan tanah sawah untuk jangka panjang. Produksi padi kadang-kadang tidak menurun dengan waktu dari percobaan perlakuan yang tidak diberi pupuk nitrogen dan juga kadar nitrogen tanah tidak menunjukkan penurunan berarti (Ismunadji dan Roechan, 1988)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Mikroorganisme utama yang menambat nitrogen dari udara pada tanah sawah antara lain: ganggang biru hijau, paku air, azolla, bakteri penambat nitrogen non-simbiotik sekitar akar dan bakteri non simbiotik pada tanah aerobik.

Hubungan populasi mikroorganisme penambat nitrogen dengan berbagai sifat tanah dikemukakan oleh Ismunadji dan Roechan (1988) bahwa *Azotobacter*, *Clostridium*, bakteri ungu non belerang dan ganggang biru hijau lazim ditemukan dalam tanah, sedangkan *Beijerinckia* ditemukan pada tanah berkadar nitrogen kurang dari 50 ppm dengan kisaran pH 5,5 – 6,5.

2.6 Faktor Pengontrol Fluks N₂O

2.6.1. Pengaruh Kandungan Oksigen Dalam Tanah.

Pembagian tanah tergenang ke dalam dua mintakat yang berbeda berdasarkan pada penetrasi O₂ telah ditulis oleh Bouwman (1990) dan Patrick Jr. (1982). Di satu pihak status oksigen tanah sangat berkaitan dengan status air tanah, di pihak lain oksigen dikonsumsi oleh akar tanaman dan mikroorganisme. Bila tanah tergenang air maka kandungan oksigen dalam tanah sedikit. Sebaliknya bila tanah kering, maka pori-pori tanah banyak terisi oksigen. Kandungan oksigen dalam tanah tersebut mempengaruhi proses-proses biologik dalam tanah seperti halnya denitrifikasi dan nitrifikasi.

Proses denitrifikasi dapat terjadi di dalam tanah yang dipatus dengan baik, karena di dalam tanah terdapat lokasi-lokasi mikro yang anaerobik pada medium yang aerobik seperti halnya pori-pori yang terisi dengan air atau lokasi-lokasi yang di dalamnya berstruktur agregat. Lokasi mikro yang anaerobik itu dapat muncul dalam lokasi-lokasi aktivitas mikrobial yang tinggi, oksigen dikonsumsi dan CO₂ diproduksi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Patrick Jr. (1982) menerangkan bahwa karakteristik utama dari tanah yang digenangi adalah pengurangan O_2 kebanyakan melalui mintakat akar, yang mana hasilnya dapat digunakan untuk membedakan transformasi N. Lapisan air di atas tanah selalu mengandung O_2 yang biasanya bergerak masuk ke dalam tanah pada suatu ketebalan yang tipis sebelum terjadinya pengurangan O_2 itu. Lapisan tipis tanah teroksidasi itu ditentukan oleh efek netto dari kecepatan konsumsi O_2 di dalam tanah dan pasokan O_2 dari genangan air.

2.6. Pengaruh Penggenangan

Menurut Ismunadji dan Roechan (1988), setelah tanah aerobik digenangi terjadi penurunan potensial redoks (Eh) mencapai antara $-0,3$ V sampai $+0,2$ V yang relatif stabil, tetapi potensial redoks lapisan air genangan dan beberapa milimeter lapisan tanah atas bertahan pada antara $+0,3$ V sampai $+0,5$ V. Dengan demikian umumnya lapisan tanah bawah dalam keadaan reduksi, tetapi daerah dekat perakaran dapat dalam keadaan teroksidasi.

Adanya suatu lapisan tipis antara lapisan aerobik dan lapisan anaerobik yang mempunyai efek penting pada transformasi N dan pada reaksi-reaksi tanah lainnya. Proses transformasi N yang terjadi di dalam tanah yang tergenang adalah: mineralisasi, immobilisasi, nitrifikasi, denitrifikasi dan penambatan-N (Gambar.2.2.). Sebagian besar proses transformasi N melibatkan mikroorganisme.

Pelapukan bahan organik yang dapat melepas ion amonium dalam larutan air tanah berjalan lebih lambat pada tanah dalam keadaan tergenang daripada tidak tergenang. Nitrat tidak segera didenitrifikasi dalam lapisan tanah aerobik, tetapi di dalam lapisan anaerobik. Sementara NH_4^+ -N akan dirubah menjadi NO_3^- -N di dalam lapisan aerobik. Bila NO_3^- -N terdifusi ke bawah ke lapisan anaerobik, maka akan terjadi reduksi biasanya menjadi N_2 dan N_2O . Dalam tanah yang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

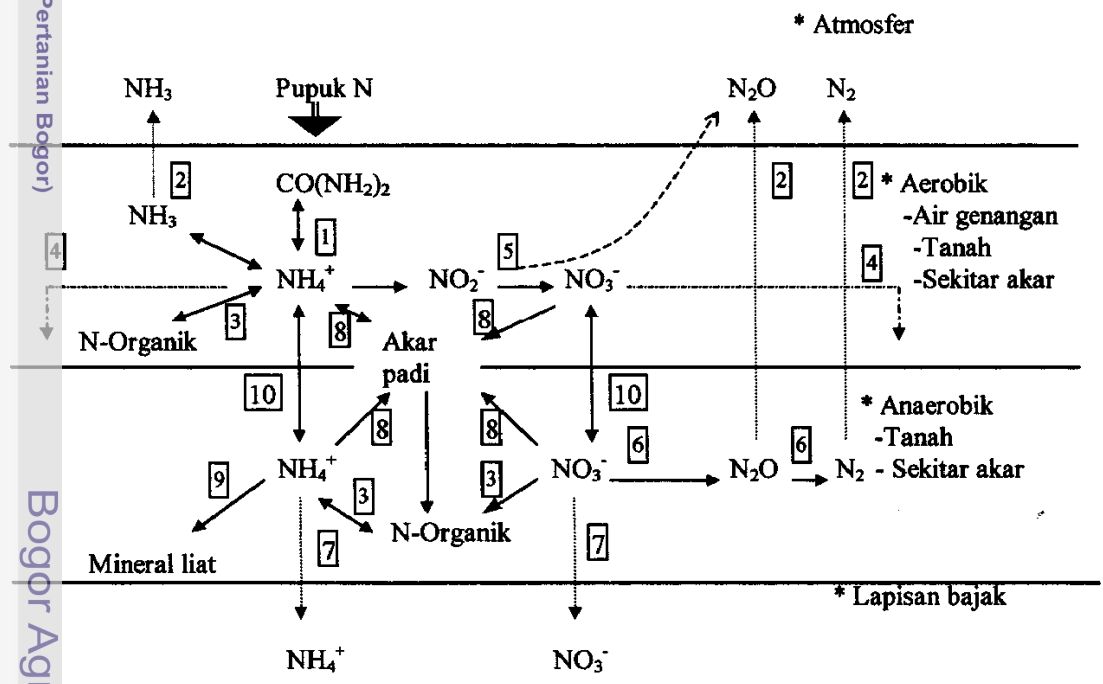
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

terpatas (drained), kebanyakan transformasi N diselesaikan oleh bakteri aerobik atau kadang-kadang oleh bakteri anaerobik fakultatif. Sebaliknya di dalam tanah yang tergenang, bakteri anaerobik fakultatif dan bakteri anaerobik lebih dominan. Denitrifikasi sangat nyata pada tanah yang tergenang, tetapi dapat diabaikan pada kandungan airnya hanya 2/3 dari kapasitas air tertahannya.

Suatu karakteristik yang unik dari tanah tergenang adalah bahwa semua proses itu dapat terjadi pada waktu yang bersamaan sebab adanya dua mintakat yaitu aerobik dan anaerobik bersama-sama. Jadi tanah yang tergenang adalah sistem yang sangat kompleks dilihat dari transformasi N dan hal ini sangat sulit dievaluasi dari suatu proses tunggal saja.



Gambar 2.2. Penguraian Pupuk Nitrogen pada Tanah Tergenang. 1 = hidrolisis urea ; 2 = volatilisasi ; 3 = Imobilisasi nitrogen ; 4 = pencucian oleh air permukaan ; 5 = nitrifikasi ; 6 = denitrifikasi ; 7 = pelindian ; 8 = serapan oleh tanaman ; 9 = fiksasi amonium ; 10 = kesetimbangan unsur antar mintakat aerobik dan anaerobik (Modifikasi dari Ismunadji dan Roechan, 1988).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritika atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Bouwman (1990) setelah merangkum beberapa literatur menyatakan bahwa rata-rata fluks N_2O lebih tinggi selama periode irigasi musim panas (silih berganti kering dan basah) daripada dalam periode banyak turun hujan di musim dingin (basah terus). N_2O dan NO_3^- meningkat secara simultan dengan kenaikan kandungan air pada konsentrasi air tanah yang rendah, hal ini mengindikasikan bahwa proses nitrifikasi yang dominan. Tetapi pada kadar air tanah yang tinggi, kenaikan kandungan air itu menunjukkan produksi N_2O secara simultan yang dapat diindikasikan bahwa proses denitrifikasi yang dominan. Mosier *et al.* (1991) menunjukkan puncak-puncak fluks N_2O terjadi setiap setelah turun hujan.

Kemungkinan mikroorganisme nitrifikasi dan denitrifikasi kedua-duanya menyumbang pada produksi N_2O dalam tanah yang aerobik di lapisan tanah bagian atas. Sementara dalam lapisan tanah bagian bawah (*subsoil*) selama periode-periode kandungan air tanah tinggi proses denitrifikasi yang dominan.

Bouwman (1990) juga mengemukakan bahwa produk gas utama sebelum penggenangan adalah N_2O , tetapi segera setelah penggenangan produk utamanya adalah N_2 . Hasil-hasil ini didukung oleh Demmead (1994) dan Tsuruta *et al.* (1994) yang menyatakan bahwa tanah tergenang menghasilkan N_2O lebih sedikit dibandingkan dengan tanah yang dipatus. Bronson and Neue (1994) mengemukakan bahwa pada sawah yang tergenang dan curah hujan lebih dari 2 cm per hari, nitrat yang terbentuk dalam tanah secara cepat terdenitrifikasi menjadi N_2O , yang diemisikan dengan kecepatan 26 – 100 mg-N/m².

Penelitian pengaruh teknik irigasi sawah Indonesia terhadap emisi gas rumah kaca yang lain yaitu metan (CH_4) pernah diteliti oleh Husin (1994). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa irigasi kontinu menghasilkan emisi metan lebih banyak daripada irigasi berselang ataupun macak-macak.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor) Bogor Agricultural University

2.6.3. Pengaruh Variasi Suhu Harian dan Musiman

Banyak peneliti yang telah mengamati bahwa ada suatu variasi harian dari kecepatan emisi N_2O . Secara umum amplitudo dari variasi adalah lebih besar pada suhu tinggi dan dengan dosis pupuk yang besar. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu pengukuran dapat berpengaruh besar terhadap hasil pengukuran. Kiso and Satoh (1994) melaporkan bahwa fluks N_2O dari tanah pertanian tidak konstan dan berubah sesuai musim, tipe tanah dan perlakuan nitrogen. McKeney *et al.* (1992) telah meneliti bahwa hasil denitrifikasi berupa NO dan N_2O pada kondisi anaerobik terjadi puncak produksi pada 12 sampai 24 jam setelah inkubasi. Weir (1992) mendapatkan puncak kecepatan denitrifikasi terjadi pada hari ke 2 – 3 setelah pemberian pupuk N. Kecepatan denitrifikasi ini tergantung pada kadar pupuk N yang diberikan serta kadar air dalam pori-pori tanah dan suhu tanah.

Bouwman (1990) menjelaskan bahwa suhu optimum untuk proses denitrifikasi adalah sekitar $25^{\circ}C$ dan masih cukup cepat pada suhu yang lebih tinggi sampai $60 - 65^{\circ}C$, tetapi tidak terjadi denitrifikasi pada $70^{\circ}C$, sementara pada keadaan musim dingin (suhu sekitar $2^{\circ}C$) proses itu lambat. Suhu optimum pada proses nitrifikasi terletak antara $30 - 35^{\circ}C$, sementara pada kurang dari $5^{\circ}C$ dan lebih dari $40^{\circ}C$ aktivitasnya sangat rendah.

Kecepatan emisi dan bentuk produk baik denitrifikasi maupun nitrifikasi tergantung suhu dalam tanah atau secara global dipengaruhi oleh musim.

2.6.4. Pengaruh pH Tanah.

Bouwman (1990) mengemukakan bahwa banyak bakteri denitrifikasi sensitif pada pH rendah. Dalam lingkungan yang asam, denitrifikasi berjalan pelan walaupun bahan organik cukup. Hal ini disebabkan mikroorganisme yang mampu bekerja di lingkungan asam adalah jarang. Umumnya kecepatan proses denitrifikasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPI.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPI.

Hak cipta milik IPIB (Institut Pertanian Bogor) Bogor Agricultural University

menurun pada pH kurang dari 6,0 dan menjadi tak terdeteksi pada pH = 5,0. Kecuali beberapa tanah yang mengandung mikroorganisme dengan strain yang tahan asam, maka terjadi juga denitrifikasi pada pH 4,5.

Komposisi gas-gas yang terbentuk dalam proses denitrifikasi diatur oleh pH. Hal ini merupakan hasil dari kepekaan asam pada sistem enzim yang diperlukan dalam reduksi N_2O . Seringkali produk N_2O lebih dari setengah gas-gas nitrogen yang keluar dari tanah habitat asam. (Bouwman, 1990 dan Umarov, 1999). Keberadaan NO_3^- pada tanah pH rendah dapat menghambat reduksi N_2O menjadi N_2 . Pada pH tanah yang tinggi inhibisi tersebut kadang-kadang terjadi juga walaupun untuk periode yang lama N_2O sisa diemisikan secara nyata pada tingkat nitrat yang tinggi. Beberapa peneliti yang lain menyimpulkan bahwa pH tanah yang tinggi dengan memberi fosfat dan kalsium karbonat meningkatkan produksi N_2O .

2.6. Pengaruh Variabilitas Ruang (Spatial).

Variabilitas ruang pada emisi N_2O telah diteliti oleh beberapa peneliti. Contohnya Mosier (1990) melaporkan bahwa variabilitas ruang berkurang bila fluks yang dihitung pada periode emisi yang tepat. Ketelitian dari pengukuran lapangan untuk emisi N_2O lebih dibatasi oleh metode pengambilan contoh daripada problem analitiknya. Xing *et al.* (1994) melaporkan bahwa emisi N_2O rata-rata yang berbeda pada 2 lahan tanaman padi yang berbeda (di The Agricultural Extension Station dan di Changqio), walaupun di dalam suatu daerah yang sama (The Region). Bouwman (1990) melaporkan bahwa variabilitas ruang pada fluks N_2O dari tanah-tanah prairi secara umum lebih rendah daripada tanah pertanian.

Kecepatan spesifik yang tinggi dari proses denitrifikasi berkaitan dengan lokasi mikro yang anaerobik sebagai hasil kecepatan konsumsi O_2 yang tinggi di

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

lokasi mikro itu. Hal ini disebabkan karena distribusi yang tidak sama dari bahan organik atau dari lapisan humus sehingga mempengaruhi variabilitas ruang yang tinggi pada fluks N_2O dari tanah.

2.6.6. Rosot N_2O di Ekosistem Sawah

Pada banyak pengukuran yang telah dilakukan oleh Byrnes *et al.* (1990), didapat konsentrasi N_2O di atmosfer tanah Houston telah berkurang menjadi lebih kecil dari konsentrasi N_2O ambien. Hal ini menunjukkan bahwa tanah telah bertindak sebagai rosot bagi produksi N_2O . Dalam penelitian tersebut diambil kesimpulan bahwa emisi N_2O selama nitrifikasi mungkin lebih dipengaruhi oleh tanah daripada oleh tipe dan jumlah pupuk yang digunakan. Kemudian hasil-hasil penelitian Tsuruta *et al.* (1994) dan Khdyer dan Cho (1983) menunjukkan bahwa konsentrasi N_2O dalam tanah yang tertinggi ada di kedalaman antara 10 – 15 cm, lalu konsentrasinya menurun ke arah permukaan atau ke arah yang lebih dalam. Hal ini berarti ada difusi N_2O ke atas dan ke bawah.

Kelarutan N_2O dalam air adalah relatif tinggi. Dalam Hand Book of Physics and Chemistry kelarutan pada $0^\circ C$ sebesar $130 \text{ cm}^3/100 \text{ cm}^3$ dan pada $25^\circ C$ sebesar $56,7 \text{ cm}^3/100 \text{ cm}^3$. Fluks N_2O dapat terjadi dari air permukaan hasil pematasan dari lahan pertanian yang dipupuk. Minami and Oshawa (1990) mendemonstrasikan bahwa pada konsentrasi N_2O yang rendah, air genangan di lahan padi dapat bertindak sebagai rosot. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa N_2O mudah larut dalam air patusan (drained) dari lahan pertanian yang dipupuk N . Konsentrasi N_2O dalam air patusan makin jauh dari lahan pertanian makin kecil, ini berarti selama perjalanan air patusan tersebut melepaskan N_2O ke atmosfer. Penelitian menunjukkan pula bahwa fluks N_2O dari air patusan terjadi paling tinggi pada musim panas, kurvanya mengikuti suhu musiman. Juga diungkapkan dalam

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah;

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

penelitian itu bahwa kelarutan N_2O dalam air patusan itu makin tinggi dengan semakin kecilnya pH (semakin asam).

Dari penelitian-penelitian tersebut, diperkirakan ada komponen ekosistem sawah yang bertindak sebagai rosot bagi emisi N_2O yaitu tanah dan air genangan. Rosot ini dipengaruhi antara lain oleh suhu dan pH baik untuk tanah maupun untuk air genangannya.

2. Pola Pertumbuhan Tanaman Padi

Sebagaimana dikemukakan oleh beberapa ahli agronomi padi antara lain Munurung dan Ismunadji (1988) bahwa sejak berkecambah sampai panen, tanaman padi terdiri dari stadia pertumbuhan vegetatif dan reproduktif. Stadia reproduktif selanjutnya terdiri dari dua fase, yakni fase berbunga dan fase pasca berbunga. Fase pasca berbunga ini biasa disebut fase pemasakan atau fase panen. Oleh karena itu dalam penelitian ini pertumbuhan padi dibagi menjadi 3 bagian yaitu: fase vegetatif, fase reproduktif dan fase pemasakan.

Fase vegetatif meliputi pertumbuhan tanaman dari mulai berkecambah sampai dengan inisiasi primordia malai (hari ke 0 – 60 setelah berkecambah). Fase reproduktif dimulai dari inisiasi primordia malai sampai gabah berisi (hari ke 60 – 90 setelah berkecambah). Fase pemasakan dimulai gabah berisi penuh sampai dengan panen (hari ke 90 – 120 setelah berkecambah).

Fase pertumbuhan vegetatif merupakan fase yang menyebabkan terjadinya perbedaan umur panen sebab lama fase-fase reproduktif dan pemasakan tidak dipengaruhi oleh varietas maupun lingkungan. Selama fase pertumbuhan vegetatif, tanaman bertambah dengan cepat, tanaman bertambah tinggi, dan daun tumbuh secara reguler. Maka dari itu pada fase ini banyak dibutuhkan hara guna menunjang pertumbuhannya. Salah satu hara penting yang berkaitan dengan penelitian ini

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

adalah unsur nitrogen. Umumnya padi sawah di Indonesia dilakukan pemupukan-N intensif pada fase ini.

Fase reproduktif ditandai dengan memanjangnya beberapa ruas teratas pada batang, yang sebelumnya tertumpuk rapat dekat permukaan tanah, bersamaan dengan inisiasi primordia malai yang hanya bisa dilihat secara mikroskopik. Fase ini ditandai pula dengan berkurangnya penambahan jumlah anakan, munculnya daun beringkai, bunting dan pembungaan (*heading*). Memasuki fase reproduktif ini tanaman masih membutuhkan masukan nitrogen dari dalam tanah.

Kemudian fase pemasakan terdiri dari masak susu (masak bertepung), masak kuning dan masak panen. Fase ini memerlukan waktu kira-kira 30 hari dan ditandai dengan penuaan daun. Suhu sangat mempengaruhi fase ini. Kadar nitrogen dalam tanaman semakin menurun dibanding fase-fase sebelumnya, berarti pengambilan nitrogen dari dalam tanah semakin menurun.

2. Lahan Padi Sawah di Indonesia

Dari data statistik sawah Indonesia 1991 –1995 (Tabel 2.4.) ternyata bahwa baik seluruh Indonesia ataupun dalam wilayah pulau Jawa ada peningkatan luas lahan dan luas panen dari tahun 1991 sampai tahun 1993, kemudian menurun pada tahun 1994, dan meningkat lagi pada tahun 1995. Hal ini kemungkinannya terjadi perubahan tata guna lahan dari sawah menjadi bentuk lainnya dan terjadi penurunan luas panen dapat juga terjadi karena serangan hama. Sedangkan peningkatannya disebabkan pencetakan lahan sawah baru terutama di luar Pulau Jawa.

Dilihat dari intensitas tanam padi yaitu luas panen dibagi luas lahan pada tahun 1995 untuk Pulau Jawa mencapai 1,51 sedangkan untuk seluruh Indonesia hanya 1,19. Hal ini berarti penggunaan lahan sawah di Pulau Jawa lebih intensif dibandingkan dengan di luar Pulau Jawa.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 2.3. Statistik Sawah Indonesia 1991 – 1995

Tahun	Indonesia			Jawa		
	Luas Lahan (10 ³ ha)	Luas Panen (10 ³ ha)	Produksi Rata-rata (10 ² kg/ha)	Luas Lahan (10 ³ ha)	Luas Panen (10 ³ ha)	Produksi Rata-rata (10 ² kg/ha)
1991	8940,4	9168,5	43,46	2868,7	4848,1	52,71
1992	9655,0	9799,1	43,45	3052,7	5159,0	52,88
1993	8499,1	9806,9	43,73	3057,1	5166,5	53,05
1994	7680,9	9494,0	45,00	2463,6	4830,6	53,12
1995	8439,3	10081,2	46,43	3396,3	5128,2	53,13

Sumber : Biro Pusat Statistik (BPS), 1995

Bila dilihat dari rata-rata produksinya ternyata di Pulau Jawa tiap hektar mampu menghasilkan lima ton lebih di banding dengan seluruh Indonesia yang hanya empat ton lebih Hal ini berarti tanah di Pulau Jawa lebih subur dan cara budidaya padi yang lebih baik dibandingkan dengan di luar Pulau Jawa.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.