

PENGARUH PARAQUAT DAN KELENGASAN TERHADAP DINAMIKA NITROGEN PADA VERTISOL

Influence of Paraquat and Moisture Contents on The Dynamic of Nitrogen in Vertisol

R. Agus Widodo¹⁾, Erni Martani²⁾, Rachman Sutanto²⁾

*Program Studi Ilmu Tanah
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada*

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the influences of paraquat and moisture contents on the dynamics of nitrogen in Vertisol from Lombok Island. Research was done in Laboratory of the General Soil Science and Central Laboratory of Chemistry and Physics, Gadjah Mada University.

Pot experiment were arranged in Complete Randomized Design (CRD) factorial with three replications. The first factor was level of moisture contents namely field capacity and flooded at 5 cm. The second factor was paraquat concentration with three levels of 0, 100 and 1000 ppm. The treatments were incubated within 90 days at room temperature. Periodically, every 10 days, the soil chemical properties were analyzed especially its nitrogen compounds' content.

The results showed that interaction between of paraquat and moisture contents significantly influenced NH_4^+ concentrations. The highest treatment of paraquat and flooded condition soil enhanced NH_4^+ contents in vertisol. Nitrate (NO_3^-) contents was influenced significantly by moisture contents. The low oxygen concentration in flooded water inhibited biooxidation of NH_4^+ (nitrification). However, paraquat concentration was not influenced NO_3^- concentration. It was suggested that paraquat tightly bound to montmorillonite clay of vertisol. Therefore, the bioavailability of residual paraquat in vertisol was very low.

Keywords: *paraquat – moisture contents – amonium – nitrate vertisol*

PENGANTAR

Vertisol merupakan tanah berat dengan kandungan lempung tinggi dan umumnya didominasi oleh mineral lempung montmorilonit. Tekstur tanah yang didominasi lempung menyebabkan daya ikat air dan kation tinggi. Vertisol bersifat sangat lekat bila basah dan keras bila kering. Hal ini menyebabkan vertisol menjadi sulit untuk diolah.

Penerapan sistem tanpa olah tanah (TOT) pada vertisol merupakan pilihan yang paling tepat. Sistem pertanian tanpa olah selain menurunkan biaya pengolahan tanah, juga dapat mempertahankan kondisi alami bagi mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada sistem TOT penggunaan herbisida untuk pemberantasan gulma sering dilakukan (Virmani *et al.*, 1989). Salah satu jenis herbisida yang sering digunakan adalah kelompok herbisida kontak non selektif berbahan aktif paraquat (Dekker dan Duke, 1995). Herbisida paraquat digunakan dengan cara menyemprotkan langsung pada gulma, sebelum lahan ditanami.

Penggunaan herbisida untuk pemberantasan gulma berpotensi menimbulkan pencemaran tanah dan air. Namun adanya mekanisme adsorpsi paraquat oleh tanah menyebabkan senyawa ini sulit didegradasi oleh mikroorganisme sehingga memungkinkan terjadinya akumulasi bila diaplikasikan secara terus menerus. Residu paraquat di dalam tanah dilaporkan menimbulkan gejala keracunan pada beberapa sistem sel organisme prokariotik (Carr *et al.*, 1986). Hasil penelitian Debona dan Audus (1970) *cit.* Riley *et al.* (1976) menunjukkan bahwa pemberian paraquat menghambat proses nitrifikasi di dalam medium cair pada konsentrasi paraquat 500 ppm.

Hasil penelitian Setyaningsih *et al.* (2001) menunjukkan bahwa pemberian paraquat dengan dosis paraquat 20 ppm berpengaruh nyata menurunkan populasi mikroorganisme yang melakukan oksidasi NO_2^- menjadi NO_3^- pada tanah gambut, tetapi tidak berpengaruh pada Alfisol dan Andosol.

Proses alihrupe hara nitrogen di dalam tanah tidak terlepas dari peran mikroorganisme tanah. Dekomposisi bahan N organik oleh mikroorganisme akan menghasilkan bentuk N anorganik yang dapat diserap oleh tanaman. Hal ini sangat menguntungkan untuk usaha pertanian karena sebagian besar N di tanah adalah dalam bentuk N-anorganik. Menurut Soedarsono *et al.* (1997) bentuk N anorganik yang paling penting adalah NH_4^+ dan NO_3^- .

Salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme adalah kandungan lengas tanah yang terkait dengan aerasi tanah. Pada keadaan lengas kapasitas lapangan bentuk N yang paling dominan adalah NO_3^- . Sebaliknya dalam kondisi jenuh atau aerasinya buruk maka bentuk N yang paling dominan adalah NH_4^+ . Selain itu, kondisi lengas jenuh memungkinkan terjadinya alihrupe NO_3^-

Penelitian mengenai pengaruh kelengasan terhadap alihrupe bentuk N dan pengaruh paraquat telah banyak dilakukan. Namun pengaruh kombinasi perlakuan kelengasan dan paraquat terhadap dinamika bentuk N pada Vertisol belum pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paraquat dan tingkat kelengasan terhadap dinamika bentuk nitrogen pada vertisol.

CARA PENELITIAN

Tanah yang digunakan adalah vertisol dari desa Ketara, Kecamatan Pujud Kabupaten Lombok Tengah, Propinsi Nusa Tenggara Barat. Bahan organik yang ditambahkan berupa daun sisa tanaman legum kacang tanah. Untuk perlakuan digunakan herbisida Gramoxone yang mengandung bahan aktif ion paraquat 200 g/L produksi Zeneca Agrochemical. Analisis tanah awal dan setelah percobaan meliputi: kadar lengas kapasitas lapangan dan jenuh air dengan metode gravimetri, pH dengan metode potensiometrik, kadar C-organik dengan metode Walkley dan Black serta Kapasitas Tukar Kation dengan metode ekstraksi NH_4OAc pada pH 7 (Jackson, 1973). N-total dengan metode Kjeldahl, NH_4^+ dan NO_3^- ekstrak KCl 1N (Anderson dan Ingram, 1993) dan residu paraquat tersedia dengan ekstrak NH_4Cl jenuh (Anderson dan Drew, 1972). Sedangkan analisis sisa tanaman legum meliputi: kadar C dengan metode Walkley (Jackson, 1973) dan N total dengan metode Kjeldahl (Anderson dan Ingram, 1993).

Penelitian ini disusun dalam rancangan acak lengkap faktorial. Faktor I merupakan tingkat kelengasan yang terdiri dari perlakuan kapasitas lapangan (L_1), penggenangan 5 cm, (L_2). Faktor kedua dosis paraquat terdiri dari 0 (P_0), 100 (P_1) dan 1000 ppm (P_2). Percobaan dilakukan dengan cara mencampurkan contoh tanah vertisol seberat 2 kg dan bubuk sisa tanaman legum seberat 80 g (4%) dalam pot. Pemberian perlakuan P_1 , P_2 , dan P_3 dilakukan dengan menambahkan paraquat bersamaan dengan penyiraman air pertama pada perlakuan L_1 dan L_2 untuk mendapatkan konsentrasi paraquat 0, 100, dan 1000 ppm dalam tanah. Pot percobaan diinkubasikan selama 90 hari pada temperatur kamar.

Selama masa inkubasi 90 hari, setiap 10 hari sekali contoh tanah diambil dari pot untuk kimia tanah yang meliputi kadar NH_4^+ dan NO_3^- dengan ekstrak KCl 1N (Anderson dan Ingram, 1993) dan residu paraquat dengan ekstrak NH_4Cl jenuh (Anderson dan Drew, 1972). Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Awal Vertisol dan Sisa Tanaman Legum

Hasil analisis beberapa sifat kimia dan fisik terpilih vertisol yang digunakan dalam percobaan tercantum dalam Tabel 1. Vertisol yang digunakan mempunyai pH 7,26 dan termasuk dalam harkat agak sedikit basa (Notohadikusumo, 2000). Pada pH yang mendekati netral pada umumnya optimal bagi aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam amonifikasi dan nitrifikasi.

Tabel 1. Hasil analisis sifat kimia dan fisik

Macam Analisis	Nilai
Parameter Kimia:	
Reaksi tanah (pH)	7,26
Kadar C organik (%)	0,98
Kadar N total (%)	0,12
Nisbah C / N	8,17
Kadar NH_4^+ (ppm)	tt
Kadar NO_3^- (ppm)	28,00
Kapasitas Tukar kation (cmol.kg^{-1})	45,41
Parameter Fisik	
Kadar Lengas pF 0 (%)	73,87
Kadar Lengas pF 2,54 (%)	59,11

Hasil analisis Vertisol yang digunakan mempunyai kadar C-organik sebesar 0.98 % atau berkadar bahan organik 1,7%. Kandungan bahan organik ini termasuk dalam harkat sangat rendah (Watson, 1961 cit Landon 1984). Rendahnya kandungan bahan organik pada Vertisol yang digunakan diduga disebabkan kecilnya jumlah bahan sisa tanaman yang masuk ke dalam tanah. Kadar N-total Vertisol yang digunakan dalam percobaan adalah 0,12 %. Kadar N-total ini termasuk dalam harkat rendah (Watson, 1961 cit Landon 1984). Dari hasil analisis C-organik dan N-total tanah didapatkan nilai nisbah C: N yang rendah yaitu 8,17. Rendahnya nisbah C:N menunjukkan bahwa bahan organik yang ada telah terhumifikasi (Brady, 1990; Stevenson, 1982).

Hasil analisis kadar NH_4^+ tanah tidak terdeteksi, sedangkan kadar NO_3^- tanah yang digunakan adalah 28 ppm. Hal ini diduga disebabkan NH_4^+ yang ada di dalam tanah telah dioksidasi seluruhnya menjadi

sehingga mempercepat proses oksidasi NH_4^+ menjadi NO_3^- .

KTK (kapasitas tukar kation) merupakan kemampuan tanah dalam mengikat kation-kation yang terdapat dalam tanah. Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa KTK vertisol yang digunakan adalah $45,41 \text{ cmol.kg}^{-1}$. Paraquat (*ion bipyridilium*) mempunyai muatan positif sehingga dapat diikat oleh komponen tanah terutama mineral lempung montmorilonit (Rytwo et al., 1996).

Hasil analisis kadar lengas pada keadaan kapasitas lapangan dan kadar lengas pada keadaan jenuh yaitu : 73,87 dan 59,11%. Hal ini menunjukkan bahwa vertisol bertekstur lempung sehingga mempunyai daya ikat air tinggi dan didominasi oleh pori mikro.

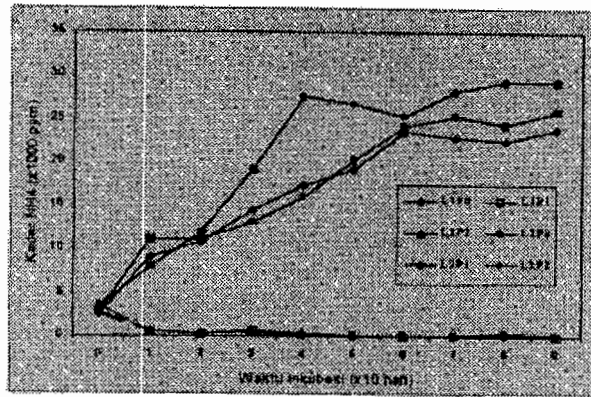
Dalam percobaan dilakukan penambahan bahan N organik yang berupa bubuk dari sisa tanaman legum kacang tanah dengan tujuan untuk melihat kecepatan proses amonifikasi pada perlakuan yang dicobakan. Hasil analisis kadar C-organik dan kadar N total bubuk tanaman legum terlihat pada Tabel 2. Penambahan bahan organik legum yang mempunyai nisbah C:N 18,92 diharapkan dapat terjadi mineralisasi menghasilkan N-anorganik.

Tabel 2. Hasil analisis sifat kimia daun tanaman legum

Macam Analisis	Nilai
Kadar C- organik (%)	49,96
Kadar N total (%)	2,64
Nisbah C / N	18,92

Perubahan Bentuk N selama Inkubasi

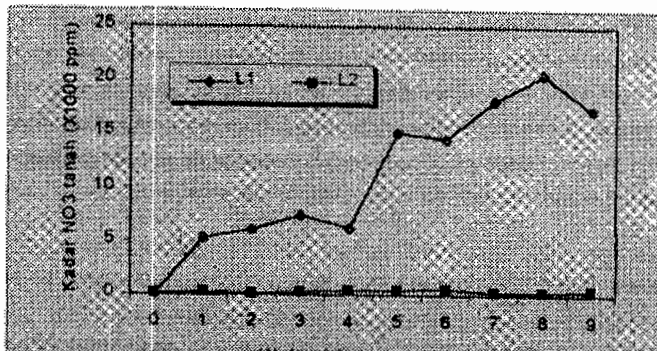
Kadar NH_4^+ Tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar NH_4^+ meningkat selama masa inkubasi 90 hari (Gambar 1). Sidik ragam menunjukkan interaksi tingkat kelengasan dan paraquat berpengaruh ($P < 0,05$) terhadap kadar NH_4^+ . Pengaruh interaksi perlakuan kelengasan dan paraquat pada kadar NH_4^+ yang tertinggi dicapai pada kombinasi perlakuan L_2P_2 setelah diinkubasikan selama 80 hari yaitu 29355 ppm. Tingginya kadar NH_4^+ pada kombinasi perlakuan L_2P_2 diduga karena terjadi penghambatan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam nitrifikasi seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* (Rao, 1994), akibat kondisi lingkungan yang anaerob sehingga proses oksidasi NH_4^+ menjadi NO_3^-



Gambar 1. Pengaruh interaksi kelengasan dan dosis paraquat terhadap kadar NH₄⁺ selama inkubasi

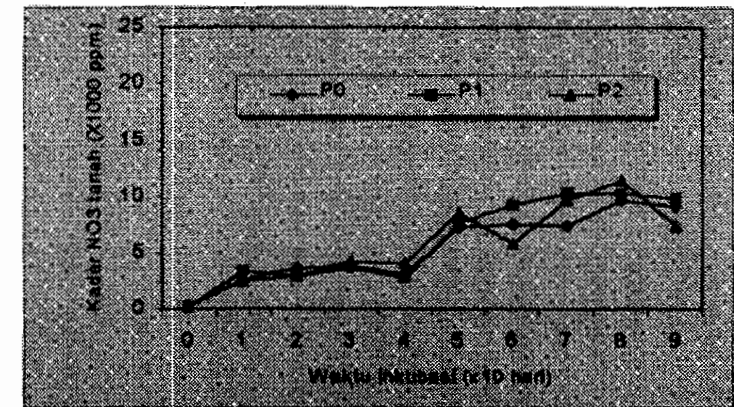
Pemberian paraquat dengan dosis yang semakin meningkat ternyata menunjukkan kadar NH₄⁺ yang meningkat pula. Hal ini diduga disebabkan terjadinya penghambatan aktivitas dan penurunan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam nitrifikasi. Menurut Coyne (1999), mikroorganisme nitrifikasi sangat sensitif terhadap kehadiran pestisida.

Kadar NO₃⁻ tanah. Pengaruh kelengasan terhadap kadar NO₃⁻ selama masa inkubasi (Gambar 2) yang menunjukkan bahwa kadar NO₃⁻ cenderung meningkat sejalan dengan waktu inkubasi yang diberikan. Kadar NO₃⁻ pada perlakuan lengas kapasitas lapangan (L₁) 16-61 kali lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan penggenangan (L₂). Sidik ragam menunjukkan bahwa tingkat kelengasan berpengaruh (*P*<0,05) terhadap kadar NO₃⁻ tanah Hal ini disebabkan perlakuan kelengasan berhubungan erat dengan tingkat aerasi. Aerasi yang baik merupakan syarat terjadinya reaksi oksidasi NH₄⁺ menjadi NO₃⁻.



Perlakuan penggenangan yang dipertahankan 5 cm menyebabkan kandungan oksigen di dalam tanah menjadi sangat rendah. Hal ini disebabkan kecepatan difusi oksigen di dalam air sangat lambat. Menurut Killham dan Foster (1994) koefisien difusi oksigen di udara adalah 2,1 cm²/detik sedang dalam air 1,8 cm²/detik. Lambatnya difusi oksigen ke dalam tanah yang tergenang tidak seimbang dengan jumlah yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengoksidasi NH₄⁺ menjadi NO₂⁻ atau NO₃⁻ sehingga proses nitrifikasi terhambat yang mengakibatkan kadar NH₄⁺ pada tanah tergenang lebih tinggi.

Pengaruh pemberian paraquat terhadap kadar NO₃⁻ tanah ditunjukkan pada Gambar 3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar NO₃⁻ tanah cenderung meningkat sejalan dengan waktu inkubasi. Peningkatan kadar NO₃⁻ selama masa inkubasi merupakan hasil reaksi oksidasi NO₂⁻ yang melibatkan bakteri *Nitrobacter*, *Nitrococcus* dan *Nitrospira* yang bersifat ototrof obligat (Alexander, 1977; Paul dan Clark, 1988). Sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian paraquat dengan dosis 0 ppm (P₀), 100 ppm (P₁), dan 1000 ppm (P₂) tidak berpengaruh (*P*>0,05).



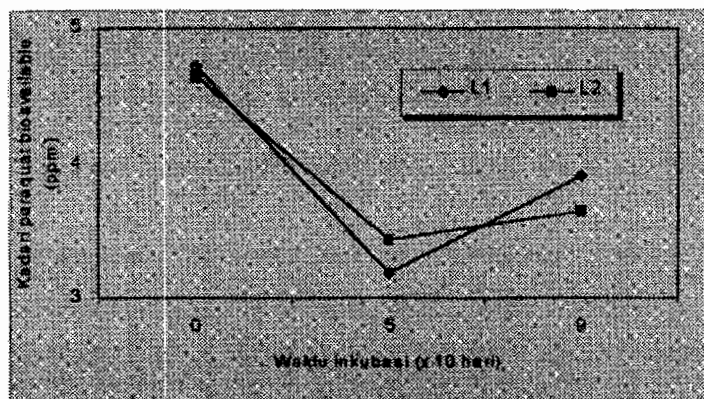
Gambar 3. Pengaruh dosis paraquat terhadap kadar NH₃⁻ selama inkubasi

Hal ini diduga disebabkan karena konsentrasi paraquat yang bebas dan tersedia (*bioavailable*) terlalu rendah untuk dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam nitrifikasi. Paraquat yang diberikan ke dalam tanah akan segera dijerap oleh mineral lempung montmorilonit yang mendominasi vertisol. Menurut Rytwo et

dan paraquat umumnya sama. Adsorpsi dikuat dilaporkan mencapai $146400 \text{ mmol kg}^{-1}$ pada tanah lempung (Kookana *et al.*, 1993). Hasil penelitian Setyaningsih *et al.* (2001) menunjukkan bahwa pemberian paraquat dengan dosis 20 ppm pada alfisol dan andosol tidak berpengaruh pada mikroorganisme yang berperan dalam mengoksidasi NO_2^- menjadi NO_3^- .

Residu paraquat tersedia (bioavailable). Paraquat di dalam tanah dapat mengalami dibagi menjadi tiga kemungkinan, yaitu (1) bebas dan tidak dijerap (2) terjerap oleh partikel tanah dan bahan organik dengan ikatan yang lemah (*loosely bound*) dan (3) yang terikat kuat (*tightly bound*) oleh partikel lempung tanah. Pada penelitian ini hanya dilakukan analisis residu paraquat dalam bentuk (1) dan (2) karena bentuk ini dapat didegradasi dan mempengaruhi kehidupan organisme, termasuk mikroorganisme (*bioavailability*).

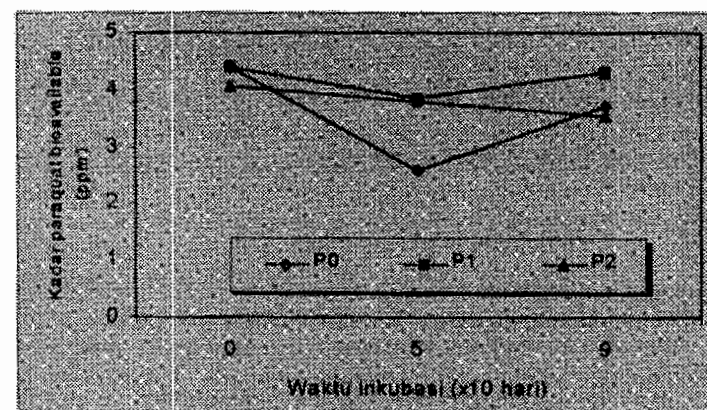
Hasil analisis residu paraquat tersedia dengan perlakuan tingkat kelengasan selama diinkubasi cenderung menurun seperti terlihat pada Gambar 4. Pada perlakuan tergenang menunjukkan perubahan yang kecil. Hal ini diduga disebabkan proses degradasi paraquat membutuhkan oksigen. Anderson dan Drew (1972) dan Carr *et al.* (1985) menyatakan bahwa mikroorganisme pendegradasi paraquat *Lypomyces starkeyi* tidak dapat tumbuh pada keadaan anaerob. Penelitian lain menyebutkan bahwa degradasi paraquat berjalan lebih cepat pada kondisi aerob dibandingkan pada kondisi anaerob (Lee *et al.*, 1995).



Gambar 4. Pengaruh tingkat kelengasan terhadap residu paraquat yang

Rendahnya residu paraquat tersedia, diduga disebabkan adanya adsorpsi oleh mineral lempung montmorilonit. Menurut Killham dan Foster (1999), paraquat terikat kuat pada tanah dengan kandungan lempung tinggi dengan ikatan kovalen. Ada kemungkinan kation organik divalen membentuk kompleks larutan dengan anion sehingga mengurangi jerapan oleh lempung seluruhnya atau 100 % kapasitas jerapan maksimum tanah (Rytwo *et al.*, (1996).

Pemberian paraquat dengan dosis 0 (P_0), 100 (P_1), dan 1000 ppm (P_2) cenderung meningkatkan residu paraquat tersedia dalam tanah (Gambar 5). Perlakuan paraquat dengan konsentrasi 0 ppm (P_0) menunjukkan adanya residu paraquat tersedia. Hal ini diduga disebabkan contoh tanah yang digunakan diambil dari lokasi yang telah menggunakan paraquat untuk pemberantasan gulma. Residu paraquat tersedia pada perlakuan cenderung menunjukkan konsentrasi paraquat yang paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya.



Gambar 5. Pengaruh dosis paraquat terhadap residu paraquat yang tersedia bagi mikroorganisme selama inkubasi

Perlakuan paraquat dengan konsentrasi 100 (P_1) dan 1000 ppm (P_2) cenderung sama. Hal ini diduga disebabkan tingginya kapasitas jerap mineral lempung montmorilonit terhadap paraquat.

Analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa penjerapan kation divalen paraquat menyebabkan penyempitan jarak dasar dari 1,45 nm menjadi 1,30 nm pada mineral lempung monmorilonit sedangkan

organisme sehingga memunculkan fenomena "penyekapan" molekul paraquat (Topp *et al.*, 1997).

KESIMPULAN

Perlakuan penganan dan pemberian paraquat dengan konsentrasi 1000 ppm menyebabkan peningkatan kadar NH_4^+ pada vertisol. Perlakuan penggenangan menyebabkan menurunnya kadar NO_3^- , namun pemberian paraquat dengan konsentrasi 1000 ppm cenderung berpengaruh pada kadar NO_3^- selama masa inkubasi pada tanah vertisol.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1977. *Introduction to Soil Microbiology*. Second edition. John Wiley & Sons, Inc. Toronto
- Anderson, J. M., dan J. S. I. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. C. A. B. International. Wallingford
- Anderson, J. R., dan E. A. Drew. 1972. Growth Characteristics of a Species of *Lypomyces* and its Degradation of Paraquat. *J. Gen. Microbiol.* 70 : 43 - 58.
- Brady, N. C. 1990. *The Nature and Properties of Soils*. Tenth Edition. MacMillan Publishing Company. New York.
- Carr, R. J.G., R. F. Bilton dan T. Atkinson. 1985. Mechanism of Biodegradation of Paraquat by *Lipomyces strakeyi*. *Appl. Environ. Microbiol* 49: 1290-1294.
- Coyne, M. S. 1999. *Soil Microbiology: An Exploratory Approach*. Delmar Publishers. New York
- Dekker, J., dan S. O. Duke. 1995. Herbicide-Resistant Field Crops. *Adv. Agron.* 54: 69-116
- Gomez, K. A. dan A. A. Gomez. 1995. *Prosedur Statistik untuk Pertanian*. Edisi kedua. Terjemahan E. Sjamsuddin dan J.S. Baharsjah. Penerbit Universitas Indonesia.
- Jackson. 1973. *Chemical Analysis*. Prentice-Hall of India Private Limited. New Delhi.
- Killham, K. dan R. Foster. 1999. *Soil Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Kookana, R.S. dan L. A. G. Aylmore. 1993. Retention and Release Diquat and Paraquat Herbicides in Soils. *Aust. J. Soil Res.* 31: 97-109.
- Landon, J. R. 1984. *Booker Tropical Soil Manual. A Handbook for Soil Survey and Agricultural Land Evaluation in The Tropic and Subtropic*. London (Ed.). Booker Agriculture International Limited London

- Larson, K.D., D. A. Graetz dan B. Scaffer. 1991 Flood Induced Chemical Transformation in Calcareous Agricultural Soils of South Florida. *Soil Sci.* 152: 33 - 40
- Lee, S. J., A. Katayama, dan M. Kimura. 1995. Microbial Degradation of Paraquat Sorbed to Plant Residues. *J. Agric. Food Chem.* 43 : 1343-1347.
- Miller, R. W. dan R. I. Donahue. 1990. *Soil ; An Introduction to Soil and Plant Growth*. Sixth edition. Prentice-Hall International, Inc. Englewood Cliff.
- Notohadikusumo, T. 2000. *Tanah dan Lingkungan*. Pusat Studi Sumber Daya Lahan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Paul E. A, dan F. E. Clark. 1988. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press Inc. California.
- Rao, N.S.S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Edisi kedua. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Riley, D., W. Wilkinson, B. V. Tucker. 1976. *Biological Unavailability of Bound Paraquat Residue in Soil*. Dalam D.D. Kaufman, G.G. Still, G D. Paulson, dan S. K. Bandal (Eds.), *Bound and Conjugated Pesticide Residues*. American Chemical Society. Symposium Series 29. Berkshire. p. 301-353.
- Rytwo, G., S. Nir dan L. Margulies. 1996. Adsorption and Interaction of Diquat dan Paraquat with Monmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 601-610.
- Setyaningsih, R., E. Martani, B. H. Sunarminto. 2001. Dinamika Populasi Mikroorganisme yang Berperan Dalam Nitrifikasi di Beberapa Jenis Tanah Akibat Perlakuan Paraquat. *BioSMART Vol 3 No. 1*: 7-13.
- Singh, R., R. G. Gerritse dan L. A. G. Aylmore. 1990. Adsorption-Desorption Behavior of Selected Pesticides in Some Western Australia Soils. *Aust. J. Soil Res.* 28 : 227 - 243.
- Stevenson, F. J. 1982. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Soedarsono, J., T. Wibowo, dan E. D. Prijambada. 1997. Nasib N-NH_4^+ dan N-NO_3^- di dalam Tanah Gambut yang Mengalami Perubahan Aerasi secara Periodik. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Vol.I No. 1 hal 19-24.
- Topp, E., T. Vallaey dan G. Soulas. 1997. Pesticide Microbial Degradation and Effects on Microorganisms. Dalam J. Dirk van Elsas, J.T. Trevor, E. M. H. Wellington (Eds.), *Modern Soil Microbiology*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Virmani, S.M., M. R. Rao dan K. L. Srivastava. 1989. Approach to Management of Vertisol in the Semi-Arid Tropics: The ICRISAT Experience dalam Management of Vertisol for Improved Agriculture Production. An IBSRAM Inaugural Workshop. Dalam J.R. Burford dan Syahrawat (Eds.), *International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropic*. p:17-33.