

TANAH UNTUK SANITASI LINGKUNGAN
TERHADAP LIMBAH CAIR INDUSTRI

Oleh : Ir. Susilowati *

ABSTRACT

Industrial waste management, especially industrial waste water usually is carried out using a high mechanical system, which is need a relative expensive cost. This is not adjustable for small and medium scale industry. The industrial waste, especially industrial waste water is a potential element for environmental degradation. Actually some of specific matter on industrial waste water is posible to use for agriculture to increase the essential soils matter and can improve the physical and chemical soils fertility as a cheap fertilizer.

The main matter and the form process of the soils give a special character and variety. This character influences the physical and chemical quaiity of soils. With the pressence of this character and quality, soils have three functions : as a filter, as a buffer and as a system changer. Based on the soils characteristic and quality, soils can be useful for environmental sanitation of industrial waste water. Soils can be used another efficient alternative for waste water industrial management, especially for small and medium scale industry.

ABSTRAK

Pengelolaan limbah industri, terutama limbah cair biasanya dilakukan dengan sistem mekanis tinggi yang membutuhkan biaya relatif mahal. Kenyataan ini mengakibatkan industri kecil dan skala menengah tidak mungkin melaksanakannya. Limbah industri, utamanya limbah cair industri merupakan unsur potensial bagi ancaman kelestarian kemampuan lingkungan. Namun sebetulnya unsur-unsur tertentu dalam limbah cair tersebut punya kemungkinan untuk dimanfaatkan oleh sektor pertanian, yaitu dapat menambah kandungan nilai hara dalam tanah. Berarti bermanfaat sebagai bahan untuk perbaikan kesuburan fisika dan kimiawi tanah, dengan demikian berfungsi sebagai cara pemupukan yang murah. Sifat dan jenis tanah sangat ditentukan oleh batuan induk dan proses pembentukan tanah itu sendiri. Keadaan ini akan berpengaruh terhadap sifat-sifat fisika dan kimiawi tanah.

*) Ajun Peneliti Muda Bidang Kulit, Karet dan Plastik pada Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Kulit, Karet dan Plastik Yogyakarta.

ankan kad
olatile soli
elalui siste
00 m³ ya

limbah pad
omethanis
n penurun
,1% volat
ne.

An Industr

Animal an
ington D.
n Anaerob

gh Sulpha

Dengan adanya sifat-sifat ini, maka tanah punya kemampuan berfungsi sebagai penyaring, penyangga dan sistim alih rupa. Dengan adanya fungsi tanah seperti ini, maka pemanfaatan tanah untuk sanitasi lingkungan terhadap limbah cair industri menjadi alternatif yang tepat bagi pengelolaan limbah cair industri, terutama untuk industri skala menengah dan kecil.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan bidang industri di Indonesia makin cepat sejalan dengan pelaksanaan pembangunan yang dilaksanakan oleh pemerintah. Keadaan ini selain memberikan dampak positif terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat, juga berdampak negatif dengan timbulnya berbagai masalah pencemaran lingkungan. Namun pemerintah telah menggariskan kebijakan bahwa pengembangan industri di Indonesia adalah pengembangan industri yang berwawasan lingkungan.

Salah satu usaha yang dilakukan untuk pengendalian pencemaran adalah diadakan penataan ruang, dengan penetapan daerah-daerah tertentu untuk kawasan industri. Namun kenyataannya di lapangan menunjukkan bahwa lokasi industri belum seluruhnya berada dalam satu kawasan industri. Terutama industri kecil yang lokasinya bertebaran di daerah permukiman atau pertanian. Keadaan ini menyebabkan limbah yang dihasilkan sukar diawasi dan dikendalikan.

Limbah industri dapat berupa limbah cair, padat atau gas dan debu. Kandungan limbah dapat berupa bahan organik, anorganik, garam dan bahan beracun yang dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Besar kecilnya pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah industri ditentukan oleh bahan baku, bahan pembantu dan prosesnya, hal ini akan menentukan kandungan bahan pencemarnya. Limbah industri dapat menimbulkan masalah pada tanah, air dan udara. Pada umumnya, pencemaran oleh air lebih besar akibatnya karena air merupakan kebutuhan pokok makhluk hidup dan air bersifat dinamis sehingga lebih luas sebaran dampaknya. Keadaan ini akan lebih diperberat lagi apabila pabrik tidak melaksanakan pengelolaan limbah buangnya,

Pengelolaan limbah untuk menanggulangi pencemaran lingkungan yang biasa dilakukan adalah sistem mekanis tinggi, dengan biaya yang tinggi pula. Hal ini tidak akan terjangkau oleh industri skala menengah atau skala kecil. Oleh karena itu perlu dicari sistem penanggulangan limbah yang murah, dan

mudah serta sesuai untuk negara berkembang seperti Indonesia. Bahkan apabila mungkin dapat diambil manfaat yang sebesar-sebesaranya dari limbah yang dikelola tadi.

2. Limbah Cair industri dan tanah

2.1 Limbah cair industri

Limbah cair dari kegiatan industri merupakan unsur potensial untuk ancaman kelestarian kemampuan lingkungan, khususnya lingkungan air. Dengan demikian pengolahan air buangan, khususnya pengolahan buangan cair industri sangat berarti sebagai bagian dari upaya manusia untuk mengamankan sumber air yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup.

Dengan makin meningkatnya industri baik dalam kuantitas maupun kualitas, serta makin kompleknya proses industri, maka macam dan sifat limbah cair yang dihasilkan juga makin meningkat dan kadang-kadang sangat kompleks. Dengan demikian, maka penanganannya juga tidak mungkin sama. Suatu sistem yang spesifik perlu dikerjakan untuk setiap macam limbah cair industri agar diperoleh hasil yang memuaskan.

Melihat alasan tersebut, maka penanganan limbah cair industri merupakan hal yang sangat serius dan memerlukan penanganan khusus. Penanganan ini tentu saja memerlukan biaya yang tidak kecil. Namun apabila kita lihat dari segi manfaatnya, sebetulnya limbah cair ini punya potensi untuk menghasilkan nilai tambah. Kandungan-kandungan tertentu pada limbah cair industri dapat dimanfaatkan untuk sektor pertanian, untuk menambah kandungan nilai hara dalam tanah yang berarti bermanfaat dalam perbaikan kesuburan fisik dan kimiawi sebagai cara pemupukan yang murah. Dengan demikian akan tercapai tujuan pelestarian kemampuan lingkungan dengan pengendalian pencemaran.

Hal penting yang perlu diingat dalam pemanfaatan cara ini adalah bahwa dibalik keuntungan tersebut, pemanfaatan limbah cair industri juga :

- 1) mengandung resiko adanya logam-logam berat
- 2) akan terjadi konsentrasi yang tinggi dari jasad renik sehingga bersifat meracuni bagi tumbuhan
- 3) terikutnya penyakit bersama jasad perombak
- 4) timbulnya bau tidak sedap
- 5) ancaman terlarutnya nitrat ke dalam air tanah
- 6) bertambahnya populasi lalat.

Limbah cair industri beragam sifat dan komposisinya, masing-masing punya satu atau lebih unsur yang membedakan satu dengan yang lain. Secara

sulfat, nitrat, dan fosfat) dan asam-asam organik (asam-asam formiat, asetat, oksalat dan beberapa lainnya). Akar-akar tumbuhan dapat mengeluarkan larutan-larutan ke dalam medium sebagai eksudat. Juga pernafasan akar menghasilkan gas CO₂ yang bereaksi dengan lengas tanah menjadi H₂CO₃.

Dari faktor-faktor, komponen-komponen dan proses pembentukannya maka mereka tidak bercampur dengan cara tak beraturan dan tidak berbentuk tetapi bercampur bersama membentuk suatu bodi tanah yang teratur, dengan struktur tertentu dan sifat-sifat fisis dan kimia yang sementara sebagai dihasilkan dari sifat-sifat komponen individualnya, bersifat sangat spesifik pada sistem tanah terpadu. Sifat-sifat tanah yang berbeda-beda menentukan bagaimana mereka bereaksi terhadap lingkungan dan terhadap praktek-praktek kultural.

2.2.3. Sifat-sifat fisika tanah

Hal yang erat kaitannya dengan sifat-sifat fisika tanah adalah : **tekstur tanah, struktur tanah, konsistensi tanah, porositas tanah, tafa udara tanah, suhu tanah, dan warna tanah.**

Tekstur tanah : adalah perbandingan antara fraksi-fraksi pasir, debu dan lempung. Tekstur tanah mempengaruhi sifat fisis, kimia dan fisiko-kimia tanah dengan demikian tekstur tanah erat hubungannya dengan produktivitas tanah. Tanah bertekstur ringan (kandungan pasir tinggi) mudah diolah dan mudah meloloskan air, sedangkan tanah bertekstur berat (kandungan lempung tinggi) sukar diolah dan sukar meloloskan air.

Struktur tanah : adalah penyusunan (arrangement) partikel-partikel tanah primer (pasir, debu dan lempung), membentuk agregat-agregat yang sama dengan lainnya dibatasi oleh bidang belah alami yang lemah. Struktur tanah dapat memodifikasikan pengaruh tekstur dalam hubungannya dengan kelerakan bahan, porositas, tersedianya unsur-unsur hara, kegiatan jasad hidup dan pertumbuhan akar (Brady, N.C, 1974).

Konsistensi tanah adalah istilah yang digunakan untuk menunjukkan manifestasi gaya-gaya fisika yakni kohesi dan adhesi yang bekerja di dalam massa tanah dengan kandungan air yang berbeda-beda. Konsistensi penting untuk klasifikasi tanah, pengelolaan tanah dan perencanaan alat-alat oleh tanah (Kohnke, 1968).

Porositas tanah. Jumlah pori di dalam tanah dan ukuran yang ditunjukkan dengan porositas total tanah dipakai sebagai indikator umum keadaan fisika tanah. Berat dan ruang pori tanah bervariasi dari satu horizon ke horizon yan-

lain, dan kedua variabel ini dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah. Porositas tanah berkaitan erat dengan jumlah udara dalam tanah, gerakan air dan penetrasi akar dalam tanah (Landon, 1984).

Tafa udara tanah berhubungan dengan sifat-sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman. Terbatasnya udara dalam tanah akan menghambat pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman, menghambat pernafasan akar, menghambat penyerapan air dan unsur hara dari dalam tanah, serta menekan aktifitas jasad-jasad hidup dalam tanah (Baver, 1951).

Suhu tanah berperanan penting dalam mengendalikan aktifitas jasad hidup, baik tanaman maupun kegiatan biologi tanah. Suhu berperanan pula dalam menentukan reaksi-reaksi kimia, sifat fisika dan fisika-kimia tanah.

Warna tanah, digambarkan sebagai petunjuk tentang sifat-sifat tanah. Kandungan bahan organik, kondisi drainase dan aerasi adalah sifat-sifat tanah yang erat kaitannya dengan warna tanah. Warna tanah dapat digunakan dalam klasifikasi tanah mencirikan perbedaan horizon-horizon, erat kaitannya dengan kandungan bahan organik, ikatan besi dan pencucian tanah.

2.2.4. Sifat-sifat kimia tanah

Sifat-sifat kimia tanah yang penting adalah : **kemasaman tanah, bahan organik, kapasitas penukaran kation dan sifat sanggan tanah.**

Kemasaman tanah. Kemasaman larutan diukur dengan jumlah hidrogen aktif (H⁺), biasanya ditunjukkan sebagai nilai pH, pH adalah log negatif dari H⁺. Pada keadaan netral H⁺ = OH⁻ atau pH = 7, apabila H⁺ > OH⁻ maka pH < 7 dan sebaliknya H⁺ < OH⁻ maka pH > 7.

Menurut Notohadiprawiro (1977), kemasaman tanah mempunyai 3 akibat penting. Yang pertama akibat langsung terhadap tanaman karena peningkatan ion-ion Hidrogen bebas. Akibat kedua adalah mengenai ketersediaan hara, kebanyakan unsur hara berada dalam ketersediaan terbaik pada pH 6,5. Akibat ketiga adalah hidrolisa mineral-mineral lempung yang mengakibatkan pembebasan ion Al dalam jumlah besar dan penghancuran kompleks jerapan anorganik sehingga KPK merosot sekali.

Bahan organik. Bahan organik terdiri atas sisa-sisa tumbuhan, hewan dan manusia. Seluruh zat organik di dalam tanah, hidup atau mati, segar atau terombak, adalah bagian dari bahan organik tanah. (Kohnke, 1984). Peranan bahan organik dalam tanah mencakup : sumber energi jasad renik, sumber hara dan pertukaran kation, bahan pembentuk dan pematap agregat, sebagai bahan yang meningkatkan ketersediaan lengas tanah dan membantu mengendalikan aliran permukaan serta erosi (Cook & Ellis, 1987; Kohnke, 1984).

Kapasitas Penukaran Kation (KPK). KPK adalah kemampuan koloid tanah untuk menyerap dan menukarkan kation. KPK dari berbagai tanah sangat beragam, bahkan dari tanah yang sejenisipun, KPK nya dapat berbeda.

KPK ini dipengaruhi oleh sifat dan ciri tanah, antara lain : reaksi tanah atau pH, tekstur tanah, jumlah dan jenis mineral lempung, jumlah dan jenis bahan organik, serta pengapuran dan pemupukan.

Sifat sanggaan tanah. Komponen tanah yang mempunyai sifat menyangga adalah gugus asam lemah seperti karbonat serta kompleks koloid tanah. Dapat dikatakan bahwa koloid lempung dan humus adalah bahan penyangga reaksi tanah. Adanya bahan penyangga dalam tanah dapat mencegah penurunan pH yang drastis akibat bertambahnya ion oleh suatu proses biologis atau penambahan bahan dari luar. Sifat sanggan ini sangat penting artinya dalam menjaga kestabilan reaksi dalam tanah.

3. Peranan tanah untuk sanitasi lingkungan

Tanah adalah sistem biologis dinamis yang berkapasitas besar untuk menampung dan mengembalikan bahan-bahan biologis dan kimiawi menjadi tidak berbahaya. Tanah selalu dipakai sebagai penerima alami dan penahir sejumlah jenis limbah (Verloo, 1991). Tetapi tanah memiliki pembatas yang harus diperhatikan. Menurut Schroeder (1984) tanah mempunyai peranan tambahan penting sebagai :

- 1) penyaring,
- 2) penyangga,
- 3) sistem alih rupa.

Kemampuan tanah untuk mempertahankan dan menyaring bermacam-macam ion merupakan bagian penting dari peranan tanah dalam biosfer. Peranan dan sifat-sifat tanah inilah yang erat kaitannya dengan kemampuan tanah sebagai media sanitasi terhadap limbah cair industri. Penyimpanan limbah dalam tanah ditentukan oleh fenomena serapan yang terjadi pada saling tumpang tindih antara fase padat dan fase cair aktif (Bolt, 1991). Menurut Forstner (1991) kemampuan menyerap pencemar ditentukan oleh sifat-sifat tanah seperti :

- 1) tekstur,
- 2) kemasaman
- 3) kapasitas penukaran kation dan
- 4) kandungan bahan organik dalam tanah.

3.1. Peranan penyaring

Tanah sebagai penyaring sisa padat dan bahan pencemar berupa de-

pendapan dan bahan padat dari larutan, lumpur dan limbah industri yang mungkin mengandung bahan beracun seperti : F, Hg, Cd, Pb, Zn, Cu dan sebagainya, yang tertahan dalam tanah, sehingga tahanan lapis bawahnya dan air tanah dibawahnya dipelihara kebersihannya. Tanah lempungan dan debu mempunyai pengaruh penyaringan yang besar, namun permeabilitasnya terbatas. Kapasitas penyaringan sama dengan jumlah air yang mengalami penahanan per satuan waktu : sebagai contoh, pada tanah lempungan dan debu punya kapasitas penyaringan yang rendah, sedang tanah pasir secara nisbi merupakan penyaring yang tidak kompak, karena air mudah lolos secara cepat.

3.2. Peranan penyangga

Kapasitas penyangga tanah juga penting dalam konteks lingkungan, mulai dari penyerapan bahan larut air dalam air hujan seperti NO_x dan SO_x, unsur beracun terlarut, biosida terlarut dan pencemaran industri atau pengendapan kimiawi tergantung pada nilai pH dan potensial redok. Kapasitas penyangga tinggi pada tanah dengan kandungan lempung dan debu yang tinggi serta kandungan bahan organik tinggi.

Fenomena serapan dan pertukaran ion ditemukan pertamakali oleh Thomas Way pada tahun 1852. Pengamatannya pada bau yang tidak sedap dari pupuk kandang dapat hilang setelah dicampur dengan tanah. Ia juga mengamati bahwa kehilangan amoniak dari pupuk kandang dapat dikurangi bila dicampur dengan tanah. Timbul pertanyaan, bahan apakah kiranya dari dalam tanah yang dapat menyerap amoniak. (Nurhayati hakim, 1986). Fenomena ini merupakan satu sifat dari sifat dari tanah sebagai penyangga, yang sangat berguna dalam kaitannya sebagai fungsi sanitasi.

Salah satu sifat tanah yang berpengaruh dalam menyangga pencemaran logam berat adalah KPK tanah. Nilai KPK tanah ditentukan oleh tekstur dan koloid tanah. Tekstur tanah menentukan luas permukaan jenis tanah, sehingga akan berpengaruh terhadap jumlah muatan tanah. Semakin halus tekstur tanah, semakin luas permukaan jenis tanah, sehingga KPK tanah semakin besar. Sebaliknya, semakin kasar tekstur tanah, semakin kecil luas permukaan jenisnya, sehingga KPK tanah makin kecil.

Ada dua jenis koloid tanah, yaitu anorganik dan organik. Koloid anorganik meliputi lempung, mineral amorf (alofan dan halosit), serta oksida besi. Koloid organik yaitu bahan organik. Tanah yang kaya bahan organik didominasi oleh alofan dan lempung 2:1, umumnya KPK besar, sedang tanah yang didominasi oleh pasir, oksida besi dan lempung 1:1 biasanya punya KPK rendah.

Sebagian besar muatan lempung 2:1 bersifat tak terubahkan, sedemikian lempung 1:1 bahan organik, alofat dan halosytit umumnya bersifat terubahl (Variable charge) (sanches, 1976). Muatan terubahkan ditentukan oleh nilai Kalaupun pH naik, kemampuan menyerap kation akan naik, dan apabila pH turun maka kemampuan serapan anion turun.

KPK tanah makin besar, semakin besar pula kemampuan menyerap kation, sehingga tidak hilang terbawa air perkolasi. Pada umumnya KPK tanah akan turun dengan bertambahnya jeluk (Mohr, 1972). Hal ini berkaitan dengan kandungan organik tanah yang semakin kecil dengan bertambahnya jeluk.

Logam berat dalam limbah biasanya membentuk senyawa dengan anion anion seperti : CO₃, Cl, SO₄ dan sebagainya, yang terdapat dalam limbah. Melalui pertukaran kation, logam berat tersebut terjerap oleh koloid tanah (cothern et al, 1977). Faktor-faktor penting yang mempengaruhi penyerapan kation oleh koloid tanah adalah valensi, jari-jari kation dan konsentrasi kation (Puls & Bohn, 1988). Kation bivalen akan diserap lebih kuat dibanding dengan kation monovalen dan setiap kation akan menggantikan dua ion H⁺ atau kation monovalen lain yang berada dalam kompleks jerapan (Salim & Cooksey, 1980).

Potensial penukaran kation menurut jenis unsur adalah sebagai berikut:

Fe > Al > Cr > Hg > Cd > Cu > Zn > Ni > Co > Mn > Ca > Mg > k, NH₄ > Na.

Selain KPK, KPA juga berperan dalam menekan pencemaran anion. Koloid tanah seperti alofan dan halosytit mempunyai KPA yang tinggi (Sanches, 1976). Dengan KPA yang tinggi, daya jerap koloid tanah terhadap anion tingginya. Potensial penukaran anion adalah sebagai berikut : AS = P > Mo > F > Se > B > S > S (SO₄) CL = N(N)₃ (Schroeder, 1984).

3.3. Peranan tanah sebagai alih rupa

Bahan pencemar organik, misalnya : urine, faeces, pupuk, sisa makanan ternak, sisa daging, sari limbah (slugde), biosoda organik, mungkin dialihrukan dan dihancurkan menjadi bahan yang tidak berbahaya oleh kegiatan organik tanah melalui pembusukan dan humifikasi (Schoerder, 1984). Proses alih rupa dibedakan menjadi tiga tahap :

- Tahap biokimia awal, termasuk hidrolisa dan oksidasi
- Penghancuran mekanis, dilakukan oleh makro dan mesofauna menjadi fragmen yang lebih kecil
- Penghancuran oleh mikrobia, organisme saprofit dan heterotrof dari tanah dan mikrofauna akan memecahnya menjadi ikatan sederhana secara ensimatik, yang dipakai oleh organisme untuk membangun tubuh mereka.

umumnya dipakai sebagai sumber energi.

Menurut Hayes (1911), baru-baru ini diketahui bahwa selain alih rupa biotik, interaksi antara bahan-bahan organik dengan permukaan koloid tanah meningkatkan alih rupa bahan kimia, alih rupa abiotik ini mempunyai ciri-ciri yang hampir sama dengan alih rupa ensimatik.

4. KESIMPULAN

Dari sifat dan jenis limbah cair yang dihasilkan oleh industri serta sifat-sifat dan kemampuan tanah terhadap limbah cair industri, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- karena sifat fisika dan kimianya, maka tanah sangat mungkin dipakai sebagai salah satu media sanitasi lingkungan untuk limbah cair industri.
- Kemampuan sanitasi tanah untuk limbah cair industri sangat dipengaruhi oleh sifat dan jenis tanah, yang mana hal ini sangat erat kaitannya dengan proses pembentukan dan bahan induk dari tanah tersebut.
- Pemakaian tanah sebagai media sanitasi lingkungan untuk limbah cair industri mempunyai keterbatasan, dan harus memperhatikan akibatnya terhadap kandungan bahan beracun berbahaya pada tanaman yang tumbuh di atas tanah-tanah tersebut.
- Pemakaian tanah sebagai media sanitasi lingkungan sangat mungkin untuk dilaksanakan, untuk itu perlu diadakan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, A.F., 1986. *Dampak Timbunan Sampah terhadap Air Tanah di Daerah Dago dan sekitarnya*, Kotamadya Bandung. 70 h. Makalah mahasiswa Pasca Sarjana, UGM Yogyakarta.
- Bolt, G.H., 1991. *Sorption in Soil; Theoretical Consideration*. dalam Bolt, G.H., M.F. de Boodt, M.H.B. Hayes and M.B. McBride (eds.). Interactions Kluwer Acad. Pub., Dordrecht.
- Cook, R.L. & B.G. Ellis, 1987. *Soil Management, A World View of Conservation and Production*, p.46-60. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Hayes, M.H.B. & U. Mingelrin, 1991. *Interaction between Small Organic Chemicals and Soil Colloidal Constituents* dalam Bolt, G.H., M.F. de Boodt,

M.H.B. Hayes and M.B. McBride (eds.) Interaction at the Soil Colloid-Solution interface, p 323-407. Kluwer Acad. Pub., Dordrecht.

Kohnke, H. 1986. *Soil Physics*, 224 p. McGraw Hill Inc., New York.

Mahida, U.N., 1981 (terjemahan Soemarwoto), 1984. *Pencemaran air pemanfaatan limbah industri*, 453 h. CV Rajawali, Jakarta.

Notohadipawiro, T., 1975. *Beberapa Parameter Penting Air Tanah Sebagai Pengairan untuk Menduga Pengaruhnya atas Produktivitas Tanah*. Sem. Pengembangan Air Tanah untuk Irigasi, Ditjen PUTL, Surabaya.

Notohadipawiro, T. dan Hanum, S., 1978. *Asas-asas Pedologi*. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian, UGM, Yogyakarta.

Nurhayati Hakim dkk. 1986. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Penerbit Universitas Lampung, Lampung.

Schroeder, D., 1984. *Soils, Facts and Concepts*. 140 p. Int. Potash Inst. Bogor.

Swardjo, H., 1990. *Diktat Fisika Tanah. Latihan Teknik analisa tanah Tanaman, Air dan Pupuk*. Pusat Penelitian tanah, Bogor.

Supartini, M., 1990. *Diktat Kimia Tanah. Latihan Teknik analisa Tanah Tanaman, Air dan Pupuk*. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.