

Ikatan Antara Asam Organik Tanah dengan Logamⁱ

Dwi Priyo Ariyanto
Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian
Universitas Sebelas Maret Surakarta

A. Asam Organik Tanah

Tanah yang merupakan bagian bumi dapat dipisahkan menjadi beberapa bagian penyusun, yaitu air, udara, mineral dan bahan organik tanah (yang selanjutnya disebut bahan organik). Bahan organik sangat berperan penting terhadap kesuburan tanah baik secara fisik ataupun kimia. Secara fisik, bahan organik dapat membantu dalam menjaga kelembaban tanah dan pembentukan struktur tanah. Sedangkan secara kimia, bahan organik berperan aktif dalam pengikatan ion khususnya menjadikannya tersedia bagi tanaman.

Sedangkan menurut Kononova (1966) dan Schnitzer (1978) membagi bahan organik tanah menjadi 2 kelompok, yakni: bahan yang telah terhumifikasi, yang disebut sebagai bahan humik (*humic substances*) dan bahan yang tidak terhumifikasi, yang disebut sebagai bahan bukan humik (*non-humic substances*).

Kelompok pertama lebih dikenal sebagai “humus” yang merupakan hasil akhir proses dekomposisi bahan organik bersifat stabil dan tahan terhadap proses bio-degradasi (Tan, 1982). Terdiri atas fraksi asam humat, asam fulvat dan humin. Humus menyusun 90% bagian bahan organik tanah (Thompson & Troeh, 1978).

Pengertian humus adalah campuran senyawa yang kompleks (tersusun oleh asam humat, asam fulvat, ligno protein dll), mempunyai sifat agak/cukup resisten (tahan) terhadap perombakan jasad renik (mikroorganisme), bersifat amorf (tak mempunyai bentuk tertentu), berwarna coklat-hitam, bersifat koloid ($< 1 \mu\text{m}$, bermuatan) dan berasal dari proses humifikasi bahan organik oleh mikroba tanah.

Humus terdiri dari 2 senyawa utama yaitu substansi non humus (misal lipid, asam amino, karbohidrat) dan substansi humus (merupakan senyawa amorf dengan berat molekul tinggi, warna coklat sampai hitam, hasil pembentukan kedua dari dekomposisi).

Substansi humus mempunyai kontribusi dalam pertukaran anion dan kation, kompleks atau khelat beberapa ion logam, berperan sebagai pH buffer; pembentukan horison tanah, pembentukan struktur tanah melalui sementasi, sebagai mantel (coat) partikel sehingga tidak dapat terlapukkan. Substansi humus dibagi menjadi:

1. *Humic acid* atau asam humik

Warna gelap, amorf; dapat diekstraksi (larut) dengan basa kuat, garam netral, tidak larut dalam asam; mengandung gugus fungsional asam seperti phenolic dan carboxylic; aktif dalam reaksi kimia; Berat Molekul (BM) 20.000-1.360.000.

2. *Fulvic acid* atau asam fulvat

Dapat diekstraksi dengan basa kuat → gugus fungsional asam; larut juga dalam asam → mengandung gugus fungsional basa; aktif dalam reaksi kimia; BM 275-2110

3. *Humin*

Tidak larut dalam asam dan basa; BM terbesar; tidak aktif; warna paling gelap.

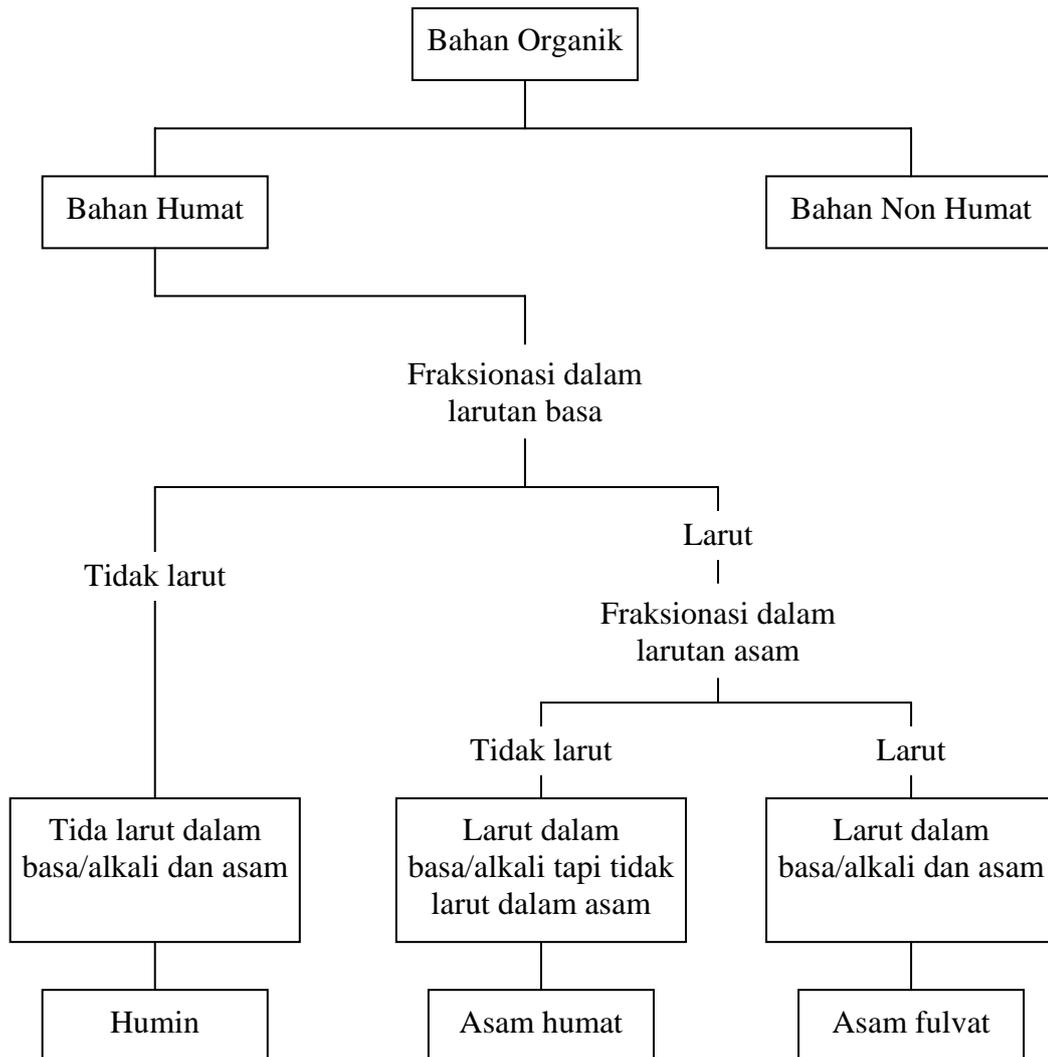
Tabel komposisi *humic* dan *fulvic acids* (persentase)

Elemen	<i>Asam humat</i>	<i>Asam fulvat</i>
C	50-60	40-50
O	30-35	44-50
H	4-6	4-6
N	2-6	< 2-6
S	0-2	0-2

Sumber : F. J. Stevenson, *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction, 1982*

Asam humat dan asam fulvat merupakan koloid hidrofilik sehingga mempunyai affinitas tinggi terhadap air; mempunyai muatan negatif karena adanya disosiasi gugus fungsional karboksil dan phenolic. Muatan negatif akan dinetralkan oleh kation misalnya Ca^{2+} dan Mg^{2+} .

Menurut Aiken dkk (1985) dalam Alimin *et al.* (2005), bahan organik merupakan penyusun terkecil dibandingkan dengan penyusun lainnya. Secara kimia, bahan-bahan organik dalam tanah diklasifikasikan menjadi 3 fraksi yaitu : (1) Humin, tidak larut dalam larutan asam maupun basa; (2) Asam humat, larut dalam larutan basa tetapi tidak larut dalam larutan asam ($\text{pH} < 2$); dan (3) Asam fulvat, larut dalam larutan asam maupun larutan basa.



Gambar 1. Fraksionasi bahan organik

Asam humat dan asam fulvat merupakan bagian yang mempunyai peran yang besar dalam reaksi kimia sebagai bagian dari bahan organik. Besarnya kandungan total asam humat dan asam fulvat pada bahan organik mempunyai

keterkaitan dengan besarnya kandungan lignin dan polifenol. Pernyataan ini dikemukakan oleh Stevenson dan Goh (1971) dalam Minardi (2006). Semakin sedikit kandungan lignin dan polifenol dalam suatu bahan organik maka kandungan asam humat dan asam fulvat semakin banyak yang elaran dengan proses dekomposisi dari bahan organik tersebut.

Dijelaskan pula oleh Handayanto *et al.* (1994) dan Hairiah *et al.* (1998) dalam Minardi (2006) bahwa untuk dapat terdekomposisi dan terminaralisasi dengan cepat dari suatu bahan organik maka kandungan lignin dan polifenalnya seharusnya tidak melebihi dari 15 % lignin dan 4 % polifenol. Sedangkan untuk asam humat dan asam fulvat merupakan unsur kedua dan ketiga yang mempunyai kandungan terbesar dari suatu massa bahan organik setelah unsur karbon (C) organik.

Asam humat merupakan bahan makromolekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ fenolat maupun $-\text{OH}$ alkoholat sehingga asam humat memiliki peluang untuk membentuk kompleks dengan ion logam karena gugus ini dapat mengalami deprotonasi pada pH yang relatif tinggi. Swift (1989) dalam Alimin *et al.* (2005) menyatakan bahwa deprotonasi gugus-gugus fungsional asam humat akan menurunkan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar molekul maupun sesama molekul dan meningkatkan jumlah muatan negatif gugus fungsional asam humat, sehingga akan meningkatkan gaya tolak menolak antar gugus dalam molekul asam humat. Kedua pengaruh tersebut akan menyebabkan permukaan partikel-partikel koloid asam humat bermuatan negatif dan menjadi lebih terbuka serta berbentuk linear dengan meningkatnya pH. Salah satu faktor yang mempengaruhi kelarutan asam humat adalah pH, yang lebih lanjut akan mempengaruhi disosiasi gugus yang bersifat asam pada asam humat. Disosiasi proton yang terjadi pada gugus fungsional yang bersifat asam pada asam humat dipengaruhi oleh: (1) atraksi elektrostatik atau tolakan muatan yang ada dalam molekul, (2) ikatan hidrogen sesama dan antar molekul.

Dalam larutan (pH 3,5 – 9), asam humat membentuk sistem koloid polielektrolit linear yang bersifat fleksibel; sedangkan pada pH rendah asam humat berbentuk kaku (*rigid*) dan cenderung teragregasi membentuk suatu padatan makromolekul melalui ikatan hidrogen. Dengan meningkatnya pH akan

menyebabkan ikatan hidrogen semakin lemah sehingga agregat akan terpisah satu sama lain. Keadaan tersebut dipengaruhi oleh disosiasi gugus fungsional yang bersifat asam pada asam humat seperti -COOH. Umumnya gugus -COOH terdisosiasi pada pH sekitar 4 – 5, sedangkan gugus -OH fenolat atau .OH alkoholat terdisosiasi pada pH sekitar 8 – 10. Suatu penelitian mengatakan bahwa telah mengamati kelarutan asam humat batubara yang menunjukkan bahwa kelarutan maksimum asam humat terjadi pada pH 3 – 6 yaitu sekitar 80% dan sisa padatan mulai larut pada pH 8,5. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa pada pH yang relatif tinggi (konsentrasi H⁺ rendah) akan meningkatkan konsentrasi dari -COO⁻ yang dapat berfungsi sebagai ligan pada asam humat.

Walaupun pada pH yang relatif rendah, asam humat cenderung tidak berinteraksi dengan ion logam, akan tetapi sebagai padatan polielektrolit, asam humat memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi logam. Asam humat dengan ion logam dapat mengalami presipitasi. Tingkat flokulasi yang terjadi bergantung pada pH, sifat-sifat gugus fungsional pada asam humat yang dapat bertindak sebagai ligan dan sifat ion logam.

Sedangkan berdasarkan penelitian Minardi (2006) dinyatakan bahwa asam fulvat mempunyai peran yang lebih besar daripada asam humat dalam pelepasan unsur fosfat (P) dalam tanah. Kemampuan asam fulvat dalam melepas P dalam tanah disebabkan karena mobilitas asam humat yang lebih rendah dibandingkan asam fulvat. Kemampuan mobilitas ini terbentuk karena berat molekulnya yang lebih rendah dengan tingkat kemasaman total yang lebih besar dua kali lipat dibandingkan asam humat yaitu 10-12 meq/g untuk asam fulvat dan 5-6 meq/g untuk asam humat. Dengan sifat inilah maka kemampuan untuk membentuk kompleks dengan kation-kation dan mineral-mineral yang berperilaku sebagai kation dalam tanah menjadi sangat besar, termasuk dalam pembentukan kompleks dengan logam.

B. Logam dalam Tanah

Logam merupakan suatu unsur logam yang tergolong sebagai unsur dengan berat molekul yang tinggi. Beberapa unsur logam merupakan unsur logam berat yang sering dihasilkan oleh proses industri antara lain Timbal (Pb),

Tembaga (Cu), Chromium (Cr), Cadmium (Cd), Air Raksa (Hg), Nikel (Ni), Seng (Zn) dan Arsenik (As). Unsur-unsur tersebut sudah dapat menjadi racun bagi makhluk hidup dalam kadar yang rendah (Anonim, 1976).

Organisme hidup membutuhkan sejumlah unsur logam terutama logam berat, seperti Cobalt (Co), Tembaga (Cu), Mangan (Mn) Molybdenum (Mo), Vanadium (Va), Strontium (So) dan Seng (Zn). Namun pada tingkatan atau kadar tertentu bisa mengurangi organisme itu sendiri. Logam berat lainnya seperti Merkuri (Hg), Lead dan Cadmium (Cd) belum diketahui keuntungannya bagi mikroorganisme, bahkan jika terakumulasi dalam tubuh dengan jangka waktu tertentu bisa berakibat pada dampak negatif.

Menurut Palar (1994), tanah mempunyai peranan terhadap pengangkutan dan pencucian bahan-bahan pencemar yang sangat besar. Tanah juga merupakan pengangkut bahan pencemar (*pollutant*). Proses pengangkutan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pengaliran (*flow on*), peresapan (*absorption*) dan pelumeran (*leaching*).

Apabila terjadi akumulasi dari logam-logam, akan menyebabkan efek samping terhadap lingkungan. Dan yang paling akhir serta yang paling besar terjadi di dalam tanah, karena kuatnya serapan koloid lempung dalam tanah (Alloway & Ayres, 1997).

Notohadiprawiro (1995) berpendapat bahwa persoalan-persoalan yang merugikan kehidupan makhluk hidup akibat dari logam berat, dapat dikembalikan kepada satu persoalan yang mendasar, yaitu perilaku dari logam berat tersebut. Baik dalam penambahan unsur logam berat, pemanfaatan unsur logam berat maupun perlakuan terhadap logam berat setelah logam berat tersebut dimanfaatkan (pengolahan limbahnya).

Menurut Verloo (1993) dan Duchaufour (1982), ketersediaan unsur-unsur logam bagi hayati dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Reaksi keseimbangan

Reaksi keseimbangan ini dipengaruhi oleh beberapa sifat tanah serta kadar ion dalam fase padat tanah dan dalam larutan tanah.

2. Kapasitas Pertukaran Kation

Kapasitas pertukaran kation dan anion tanah yang menentukan daya menjerap kation dan anion, serta laju pertukaran kation dan anion.

3. Reaksi ikatan secara kompleks

Senyawa organik dan ion logam berat seringkali terkoordinasi, khususnya asam-asam humat dan fulvat, yang nantinya akan membentuk kelat.

4. pH tanah

pH larutan tanah akan berpengaruh langsung terhadap kelarutan unsur logam berat. Walaupun peningkatan pH tanah akan menyebabkan logam berat mengendap, tetapi yang lebih penting yaitu pengaruh secara tidak langsung melalui pengaruhnya dalam kapasitas pertukaran kation.

5. Potensial redoks tanah

Potensial redoks tanah dan reaksi tanah dapat menentukan spesifikasi kimiawi logam berat.

Keberadaan logam di dalam tanah, menurut Brumer dalam Verloo (1993), dapat dipilahkan menjadi berbagai bentuk, seperti:

1. Larut air, yaitu yang berada di dalam larutan tanah.
2. Tertukarkan, yaitu yang terikat pada tapak-tapak jerapan (*adsorption sites*) pada koloid tanah dan dapat dibebaskan oleh reaksi pertukaran ion.
3. Terikat secara organik, yaitu berasosiasi dengan senyawa humus tidak terlarutkan.
4. Tersekap (*occluded*) di dalam oksida besi dan mangan.
5. Sebagai senyawa-senyawa tertentu, seperti karbonat, fosfat dan sulfida.
6. Terikat secara struktural di dalam mineral silika atau mineral primer.

Sebagai contoh dari hasil penelitian Hardiyati *et al.* (1996) disimpulkan bahwa tanaman jagung yang dialiri dengan air limbah mengandung logam berat chromium yang cukup tinggi dan pertumbuhannya terhambat karena adanya kandungan chromium pada media tumbuh.

C. Ikatan Asam Organik dengan Logam dalam Tanah

Seperti dijelaskan di atas bahwa logam dalam tanah dapat membentuk suatu reaksi ikatan secara kompleks. Reaksi ikatan ini merupakan ikatan antara

senyawa organik dengan ion logam yang terkoordinasi. Ikatan antara senyawa organik, khususnya berupa asam-asam humat dan fulvat dengan logam yang disebut sebagai kelasi atau kelat.

Menurut Stevenson (1982) kelasi oleh bahan organik dapat mengatur ketersediaan logam di dalam tanah. Kompleks logam-organik dalam tanah dapat bergerak ke zona perakaran serta masuk ke rambut akar melalui membran sel (Khan & Khan, 1983). Hal ini tentu saja berdampak pada produksi tanaman yang menyerap logam-organik tersebut, khususnya terakumulasinya pada hasil produksi tanaman.

Beberapa penelitian telah menyatakan dampak dari ikatan logam dengan senyawa organik dalam tanah. Soepardi (1983) dalam Utami dan Suci H (2003) menyatakan bahwa adanya senyawa organik yang cukup memungkinkan terjadinya khelat yaitu senyawa organik yang berikatan dengan kation logam seperti besi (Fe), Mangan (Mn), dan Alumuniam (Al). Dampak dari terbentuknya khelat logam seperti antara senyawa organik dengan logam Fe dan Al dalam tanah akan mengurangi pengikatan fosfat oleh oksida maupun lempung silikat sehingga P menjadi lebih tersedia.

Minardi (2006) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa asam humat dan asam fulvat mempunyai peran dalam pelepasan P yang terjerap dalam tanah serta akan meningkatkan ketersediaan P dalam tanah. asam humat dan asam fulvat ini bisa diberikan dalam bentuk ekstrak ataupun dalam bentuk bahan organik. Pelepasan P yang terjerap dan berdampak pada meningkatkan ketersediaan P dalam tanah disebabkan oleh adanya perubahan sifat-sifat tanah. perubahan sifat-sifat tanah ini ditunjukkan dengan peningkatan pH H₂O serta terjadinya penurunan aktifitas Al dan Fe sebagai unsur logam dalam tanah.

Proses yang terjadi dalam lepasnya P dari jerapan yaitu unsur logam (Al dan Fe) yang menjerap P melepaskan ikatannya dengan P dan berganti ikatan dengan asam humat dan fulvat dalam tanah. ikatan inilah yang menandakan terjadinya interaksi antara logam dengan asam organik atau yang lebih dikenal dengan pengkelatan (Minardi, 2006).

Sedangkan menurut Oades (1987) dalam Handayani dan Bambang HS (2002) menyatakan bahwa oksida-oksida Al dan Fe (unsur logam) dan senyawa-

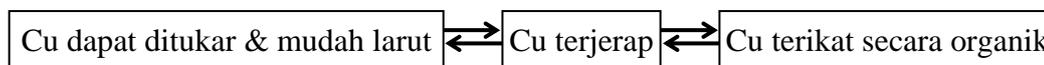
senyawa organik serta kompleks logam-organik berperan besar sebagai bahan sementasi agregat berukuran $< 250\mu$. Hal ini menegaskan bahwa dengan hilangnya bahan-bahan sementasi dalam proses agregasi menyebabkan agregat akan hancur menjadi partikel-partikel penyusunnya.

Bukti lain dari adanya pengkelatan yaitu hasil dari penelitian dari Ariyanto *et al.* (2005) yang menyatakan bahwa dari analisis kadar logam, yang dalam hal ini logam Chromium (Cr) terjadinya penurunan kadar Cr dalam tanah diikuti dengan hasil mengenai kadar bahan organik yang lebih tinggi. Dari analisis ini disimpulkan bahwa penurunan kadar logam Cr disebabkan karena adanya pengkelatan oleh bahan organik terhadap logam Cr.

Sebagai salah satu unsur logam, tembaga juga dapat berkoordinasi dengan bahan organik yang membentuk suatu ikatan yaitu kelasi. Ikatan dengan bahan organik secara efek lingkungan akan sangat membantu, karena dari pengkelatan logam bisa mengurangi ketersediaan logam yang dalam hal ini adalah tembaga di dalam tanah, khususnya ketersediaan bagi tanaman (Bear, 1965). Pendapat tersebut juga diperkuat oleh Tan (1998) yang menyatakan bahwa dengan memberikan humus pada tanah masam akan menyebabkan fraksi-fraksi logam berat, mengalami pengkelatan logam oleh bahan organik sehingga ketersediaan logam akan menurun. Dengan penurunan ini akan mengurangi ketidaksediaan unsur makro yang lebih dibutuhkan oleh tanaman seperti unsur fosfat.

Dalam sebuah pengujian tanah yang lain menyatakan bahwa $\frac{1}{5}$ - $\frac{1}{2}$ dari jumlah logam, sebagai misal tembaga berupa bentuk yang terikat secara organik. Menurut MacLaren & Crowford dalam Stevenson (1982), bagian terbesar dari cadangan logam dalam tanah yang tersedia terletak pada fraksi ikatan organik dan jumlah yang tersedia bagi tanaman dikontrol oleh keseimbangan yang melibatkan bentuk terjerap. Misalnya salah satu unsur logam yaitu tembaga (Cu). Keberadaan tembaga di dalam tanah dibagi menjadi beberapa bentuk, antara lain dalam bentuk terlarut dan dapat ditukar (0,1 – 0,2 % total Cu), terjerap lempung (0,2 – 2,7 %), terikat secara organik (16,2 – 46,9 %) serta bentuk-bentuk

lainnya. Ketiga bentuk tersebut diduga mempunyai hubungan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2. Hubungan antara bentuk-bentuk Cu di dalam tanah (Stevenson, 1982)

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa logam yang dalam hal ini berupa unsur tembaga (Cu) mempunyai ikatan dengan bahan organik yang menyebabkan logam tersebut menjadi terjerap dalam ikatan dengan bahan organik. Beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah pengikatan logam oleh bahan humus atau organik meliputi pH, kekuatan ion (*ionic strength*), berat molekul dan kadar gugus fungsional. Pada beberapa keadaan pH dan kekuatan ion, kation trivalen diharapkan dapat mengikat lebih besar dibandingkan kation divalen (Stevenson, 1982). Mengel dan Kirkby (1987) juga menyatakan bahwa kandungan Cu dalam tanah umumnya hanya dalam bentuk divalent. M. Hodgson et al. (1966) dalam Mengel dan Kirkby (1987), meneliti bahwa lebih dari 98 % dari larutan Cu tanah dikelat secara kompleks oleh bahan organik.

Proses dari terjadinya pengkelatan atau ikatan kompleks antara logam dengan asam organik biasanya terjadi ketika asam-asam organik diberikan atau bertambahnya asam organik dalam tanah akibat dari proses dekomposisi bahan organik akan menyebabkan terjadinya reaksi pertukaran ligan antara anion-anion organik yang berupa asam-asam organik seperti asam humat dan asam fulvat terhadap -OH bebas. Kadar bahan organik yang meningkat akan diikuti dengan peningkatan kapasitas pertukaran kation (KPK) dan fraksi lempung. Hal ini disebabkan karena pada tanah yang mengandung bahan organik umumnya mengandung koloid lempung. Koloid lempung ini yang mampu mengikat kation-kation dalam tanah. Disamping itu bahan organik mempunyai gugus karboksil yang mampu mengikat kation-kation, sehingga tanah yang mengandung bahan organik tinggi mempunyai kemampuan mengikat kation cukup tinggi yang ditunjukkan dengan nilai KPK yang tinggi (Ariyanto, 2001).

Pertukaran ini mengakibatkan peningkatan ion -OH dalam larutan tanah sehingga nilai pH H_2O meningkat. Minardi (2006) menyatakan bahwa dengan peningkatan nilai pH H_2O berakibat pada menurunnya aktivitas logam-logam dalam tanah seperti logam Fe dan Al. Selanjutnya asam-asam organik yaitu asam humat dan asam fulvat melalui gugus-gugus fungsionalnya akan berikatan dengan Al dan Fe bebas untuk membentuk suatu ikatan kompleks atau dengan apa yang disebutkan sebagai pengkelatan.

REFERENSI

- Alimin, Narsito, Sri Juari Santosa, dan Sri Noegrohati. Fraksinasi Asam Humat Dan Pengaruhnya Pada Kelarutan Ion Logam Seng (II) Dan Kadmium (II). *Jurnal Ilmu Dasar Vol. 6 (1) : 1-6*
- Alloway, B.J. & D.C. Ayres. 1997. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Blackie Academic & Professional. London. 395 hal.
- Anonim. 1976. *Dictionary of Geological Terms*. American Geological Institute. Revised Edition. Anchor Books. New York. 472 hal.
- Ariyanto, DP. 2001. Pengaruh Jarak Buangan Air Limbah Industri di Daerah Jaten – Karanganyar Terhadap Kadar Cu dan Cr dalam Air dan Tanah Permukaan Saluran Air Pungkuk. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta. 39 hal.
- Ariyanto, DP., Indro W., Hery W. 2005. Pengaruh Jarak Buangan Air Limbah Industri di Daerah Jaten – Karanganyar Terhadap Kadar Chromium dalam Air dan Tanah Permukaan Saluran Air Pungkuk. *Caraka Tani 5 (2) : 20-29*.
- Bear, Firman E. 1965. *Chemistry of Soil*. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 515 hal.
- Duchaufour, P. 1982. *Pedology*. English Edition. George Allen & Unwin. London. 448 hal.
- Handayani, Suci dan Bambang Hendro Sunarminto. 2002. Kajian Struktur Tanah Lapis Olah : I. Agihan Ukuran dan Dispersitas Agregat. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan 3 (1) : 10-17*.
- Hardiyati, T., Sulastri Anggorowati, Sukarsa dan Elly Proklamasingih. 1996. Hubungan antara Pemupukan Nitrogen dengan Kandungan Logam Berat pada Tanaman Kangkung. *Majalah Ilmiah Universitas Jenderal Soedirman. 1(12): 79 – 88*.
- Khan, S & N.N. Khan. 1983. Influence of Lead & Cadmium on Growth and Nutrient Concentration of Tomato & Eggs Plant. *Plant & Soil 74 : 58-60*.
- Mengel, K & E.A. Kirkby. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. 4th Edition. International Potash Institute. Bern. 567 hal.
- Minardi, 2006. Peran Asam Humat dan Fulvat dari Bahan Organik dalam Pelepasan P Terjerap pada Andisol. *Ringkasan Disertasi* (tidak dipublikasikan). Program Pascasarjana Universitas Brawijaya. Malang. 21 hal.
- Notohadiprawiro, Tejoyuwono. 1995. Logam Berat dalam Pertanian. *Jurnal Manusia dan Lingkungan 7 (2) : 18-21*.
- Palar, Heryando. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT Rineka Cipta. Jakarta. 152 hal.
- Stevenson, F.J. 1982. *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions*. John Willey & Sons Inc. New York. 443 hal.

- Tan, Kim H. 1998. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 295 hal.
- Utami, Sri Nuryani H dan Suci Handayani. 2003. Sifat Kimia Entisol pada Sistem Pertanian Organik. *Ilmu Pertanian 10 (2) : 63-69*.
- Verloo, M. 1993. "Chemical Aspects of Soil Pollution". in ITC-Gen Publications Series 4 : 17 – 46.

ⁱ Disusun tanggal 19 Desember 2006 sebagai tugas MK Kimia Tanah Lanjutan SPS Ilmu Tanah UGM