

**HUMIFIKASI PADA TANAH DI BEBERAPA TIPE TEGAKAN HUTAN PAPUA
BARAT DENGAN PENDEKATAN SPEKTROFOTOMETRIK
(*Humification of Soil Under West Papua Forest Stands Types with Spectrophotometric
Approach*)*)**

Oleh/By:
David Seran

Balai Penelitian Kehutanan Manokwari
Jl. Inamberi-Susweni PO BOX 159 Telp.(0986) 213437-213442 Fax, (0986) 213441 Manokwari, Papua
E-mail: bpk_mkw@manokwari, wasantara. net.id

*) Diterima : 20 Juni 2011; Disetujui : 27 Juli 2011

ABSTRACT

Aim of the research was to observe and know spectrometric characteristic of soil humic substances under four sites of forest stands in district of East Manokwari, West Papua Province. Four sites were Pometia pinnata, Tectona grandis, Araucaria cunninghamii, and natural forest stands. Soil samples were taken from the depth of 0-30 cm (D₁) and 30-50 cm (D₂). Extract and fractionation result by NaOH 0.5 N and HCl concentrate shows a highest light absorption of spectrophotometer of humic substances on the wave length of 400 and 800 nm and the lowest is on wave length of 600 nm. Absorbance of humic acid was average higher on the araucaria forest and matoa forest compare with jati and natural forest. Adversely, absorbance of fulvic acid was lowest compare to the other site of forest. Ratio of humic acid/fulvic acid was highest value on P. pinnata in the upper layer (4.44) and in lower layer (2.18). The lowest value on natural forest was in the upper layer (1.51) and in lower layer (1.40). On the other hand, colour ratio (Q4/6) of humic acid was highest on natural forest with value are 8.97 and 8.91 in upper and lower layer respectively. The lowest was on A. cunninghamii stands with value are 2.18 and 5.33 in upper and lower layer respectively. Result of humus characteristic on four forest stands showed that natural forest has a lowest degree of humification and maybe has a big possibility contain toxic substance. Inversely, P. pinnata stands had a higher stage of humification compare to the others site and low possibility contain hazardous substances.

Keywords : Soil humus, forest stands, humification

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan di daerah Anggori, Distrik Manokwari Timur dari bulan Mei sampai Desember 2009. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi tentang karakteristik kimia humus tanah di bawah empat tipe tegakan hutan di daerah Anggori, Distrik Manokwari Timur, Provinsi Papua Barat. Keempat tegakan hutan tersebut adalah matoa (*Pometia pinnata* Forst.), jati (*Tectona grandis* Linn.f.), araukaria (*Araucaria cunninghamii* Sweet.), dan tegakan hutan alam. Metodenya dengan cara contoh tanah diambil pada kedalaman 0-30 cm (D₁) dan 30-50 cm (D₂). Hasil ekstraksi dan fraksionasi dengan NaOH 0,5 N dan konsentrasi HCL menunjukkan tingkat serapan spektrofotometer asam humik dan asam fulfik yang tertinggi dari substansi humus terlihat pada panjang gelombang 400 nm dan 800 nm. Serapan asam humik rata-rata tinggi pada tegakan araukaria (*Araucaria cunninghamii* Sweet.) dan tegakan matoa (*Pometia pinnata* Forst.) dibandingkan dengan tegakan jati (*Tectona grandis* Linn.f.) dan hutan alam. Rasio asam humik dan asam fulfik tanah lebih tinggi pada tegakan matoa (*Pometia pinnata* Forst.) sebesar 4,44 pada tanah tingkat atas dan 2,18 pada tingkat bawah. Nilai terendah terdapat pada hutan alam sebesar 1,51 pada tanah tingkat atas dan 1,40 pada tanah bagian bawah. Berdasarkan rasio warna tanah (Q4/6), asam humik hutan alam lebih tinggi dengan nilai 8,97 pada tingkat tanah atas dan 8,91 pada tanah bagian bawah, sedangkan nilai terendah berada di bawah tegakan araukaria dengan nilai 2,18 pada tanah tingkat atas dan 5,33 pada tingkat bawah. Karakteristik kimia humus tanah pada empat tegakan hutan menunjukkan bahwa hutan alam memiliki tingkat humifikasi yang paling rendah sehingga kemungkinan memiliki substansi toksik yang tinggi. Di samping itu tegakan matoa (*Pometia pinnata* Forst.) memiliki tingkat humifikasi yang paling tinggi dibandingkan dengan tegakan lainnya dan kecil kemungkinan memiliki substansi toksik.

Kata kunci : Humus tanah, tegakan hutan, hutan alam, humifikasi

I. PENDAHULUAN

Masalah konservasi tanah dan air tidak terlepas dari ketersediaan humus dan bahan organik dari hutan serta pengatur sistem tata air (Asdak, 1995). Kepentingan konservasi tanah dan tata air semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kepentingan manfaat lahan budidaya dan hutan sebagai sistem tata air untuk mendukung usaha di bidang pertanian dan perkebunan akibat semakin menurunnya rasio perkapita lahan yang diolah. Di sisi lain proses industrialisasi dan urbanisasi mengakibatkan perusakan lingkungan oleh limbah industri yang membawa konsekuensi logis terhadap semakin terbatasnya lahan subur yang dapat diusahakan oleh masyarakat, oleh karena itu potensi yang tersedia di bawah vegetasi hutan seperti humus tanah, dan bahan organik tanah perlu dipelajari dengan baik untuk dimanfaatkan dalam rangka peningkatan produktivitas lahan. Tanah yang mengandung banyak bahan organik biasanya berwarna gelap, sehingga kontribusinya akan terlihat pada *value* dan *chroma*.

Menurut Tate III (1987), humus relatif resisten terhadap perombakan biologis, kebanyakan berwarna kuning cerah, coklat kekuningan, coklat gelap atau abu-abu kehitaman sampai hitam. Kelompok substansi humus tanah berdasarkan kelarutannya dalam asam atau basa adalah bahan berwarna coklat hasil ekstrak bahan tanah dengan Na OH 0,5 N. Bahan ini merupakan bahan kompleks dan dinamis sifatnya, sehingga dapat mengalami perubahan dalam kondisi lingkungan tertentu. Pemisahan fraksi organik dapat mempermudah pemahaman bahan ini dalam pertumbuhan tanaman, misalnya asam humik yang memiliki berat molekul lebih besar dari asam fulvik dan sulit berdifusi ke dalam sel tanaman dibandingkan dengan asam fulvik. (Davidson, 2000; Kumada, 1987). Pengertian humus tanah hampir sama dengan bahan organik tanah yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman, karena bahan organik tanah tidak

lain adalah senyawa organik dalam tanah termasuk bahan tanaman atau hewan yang belum terombak dan biomassa tanaman, dengan demikian humus tanah atau bahan organik tanah dapat dimanfaatkan secara optimal untuk peningkatan produktivitas lahan (Stevenson, 1982). Pemilihan objek penelitian pada empat tipe penutupan lahan, yaitu tegakan *Araucaria cunninghamii* Sweet., tegakan *Pometia pinnata* Forst., tegakan *Tectona grandis* Linn.f. dan hutan alam didasarkan pada asumsi bahwa kondisi tegakan hutan ini berada pada kondisi biofisik yang relatif seragam. Penggunaan bahan-bahan kimia pada tanah, seperti pupuk yang semakin tidak terkontrol menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan dan berkurangnya biota tanah dan air.

Tujuan penelitian untuk memperoleh informasi tentang sifat-sifat fraksi bahan organik tanah secara spektroskopik dan memformulasi hubungan kandungan elemen karbon terutama asam humik dan asam fulvik dengan konsentrasi masing-masing fraksi.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di daerah Anggori, Distrik Manokwari Timur Provinsi Papua Barat mulai bulan Mei sampai Desember 2009, pada empat tipe tegakan hutan yaitu tegakan matoa (*P. pinnata*), tegakan jati (*T. grandis*), tegakan araukaria (*A. cunninghamii*) dan hutan alam sekunder (*secondary natural forest*) sebagai pembanding.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah substansi humus (organik) yang diekstrak dari contoh tanah yang diambil dari empat tipe tegakan hutan. Masing-masing tegakan diambil tiga contoh tanah pada kedalaman tanah 0-30 cm (D₁) dan kedalaman 30-50 cm (D₂). Masing-

masing contoh kemudian diberi label, dikering-anginkan dan diayak dengan ayakan berdiameter dua mm untuk keperluan analisis.

C. Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode analisis untuk mengekstrak substansi organik dari tanah mengikuti bagan ekstraksi Stevenson (1982) dengan sedikit modifikasi. Prosedur ekstraksi sebagai berikut: contoh tanah ditimbang sebanyak 40 g dan dimasukkan ke dalam botol *centrifuge* lalu ditambahkan 200 ml 0,5 N NaOH kemudian ditutup dengan penutup karet. Selanjutnya dikocok selama tiga jam kemudian dидiamkan selama 16 jam sambil sesekali dikocok, selanjutnya *disentrifuge* dengan kecepatan 1.500 rpm selama 20 menit. Substansi yang berwarna dipisahkan dari sedimen dengan cara menyaring supernatan (substansi berwarna kuning kecoklatan). Selanjutnya substansi berwarna ditambahkan HCl pekat hingga pH mencapai dua atau endapan sudah mulai tampak. Endapan dipisahkan dengan cara menuangkan cairan di atasnya (asam fulfik) dan endapan (asam humik) dicuci hingga bebas klorida. Fraksi yang telah dipisahkan dilarutkan kembali dalam NaOH untuk siap diamati pada panjang gelombang 400, 500, 600, 700 dan 800 nm (*visible light*).

D. Cara Pengukuran

Contoh yang sudah dipisahkan (asam humik dan asam fulfik) masing-masing diencerkan 10 kali agar diperoleh cairan berwarna yang tidak terlalu pekat untuk pengukuran spektrofotometer. Kemudian dimasukkan kuvet dan diukur pada panjang gelombang 400, 500, 600, 700 dan 800 nm.

Analisis kandungan C organik total menggunakan metode Walkley dan Black. Nitrogen total menggunakan metode destruksi basah dan destilasi Kjeldahl (Vogel, 1968). Reaksi tanah diukur dengan pH meter.

E. Analisis dan Penyajian Data

Data disajikan dalam bentuk gambar dan tabel. Hubungan antara serapan cahaya yang direkam oleh spektrofotometer dengan konsentrasi substansi dan fraksi humus tanah menggunakan analisis regresi-korelasi, demikian pula hubungan antara serapan cahaya dengan kandungan C organik tanah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil pengamatan serapan optik spektrofotometer asam humik dan asam fulfik tanah yang diambil dari tegakan hutan alam, tegakan jati (*T. grandis*), tegakan araukaria (*A. cunninghamii*), dan tegakan matoa (*P. pinnata*) menampilkan angka yang bervariasi berdasarkan pada panjang gelombang (Gambar 3).

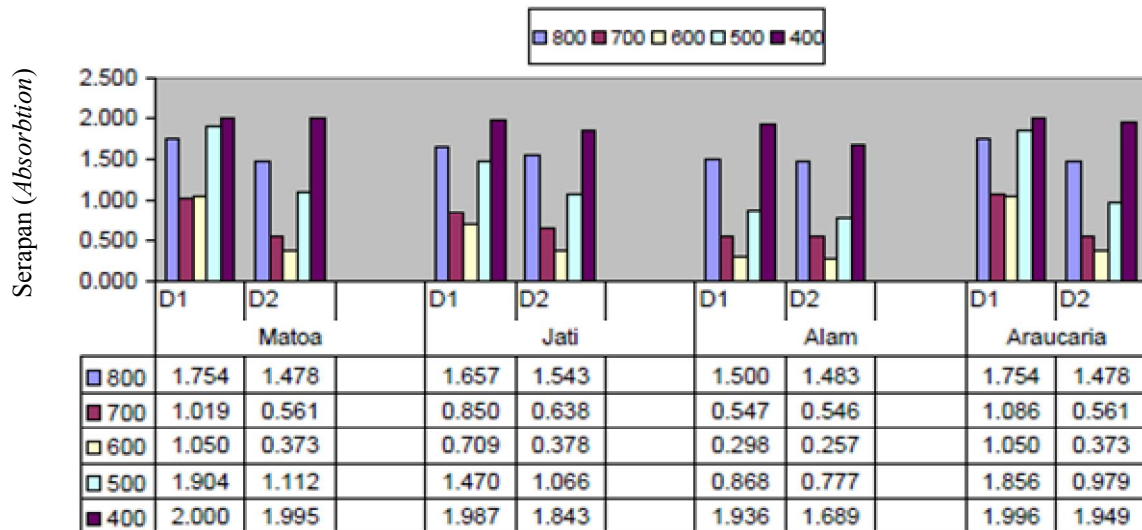
Puncak tertinggi terjadi pada panjang gelombang 400 dan 800 nm dan terendah pada panjang gelombang 600 nm. Bila dilihat dari tegakan hutan, serapan spektrofotometer asam humik pada tegakan matoa (*P. pinnata*) dan tegakan araukaria (*A. cunninghamii*) lebih tinggi daripada hutan alam dan hutan jati, sebaliknya serapan spektrofotometer asam fulfik pada hutan matoa lebih rendah dibanding tegakan hutan lainnya.

Besarnya serapan cahaya yang diserap oleh bahan sangat ditentukan oleh berbagai aspek diantaranya adalah aspek fisik dan kimia. Aspek fisik yang paling dominan adalah warna yang juga ditentukan oleh banyaknya kromofor yang ada dalam bahan. Semakin banyak dan panjang rangkaian macam kromofor dalam bahan semakin intensif serapan (Williams and Fleming, 1987) sementara aspek kimia yang paling berpengaruh adalah komposisi senyawa, gugus fungsional, jenis ikatan dan pelarut (Sastrohamidjojo, 1985; Williams and Fleming, 1987; Hayes, 1984; Mao, 2000). Pola serapan asam humik dan asam fulfik pada berba-

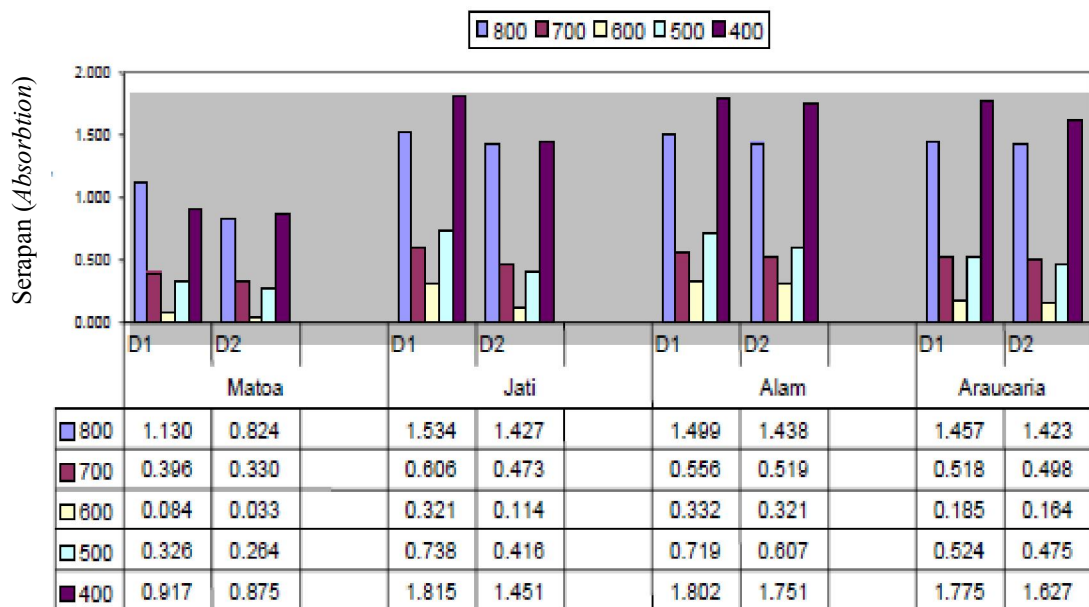
gai panjang gelombang di bawah empat tipe tegakan hutan di Papua disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Perbedaan serapan cahaya substansi humik antara vegetasi berbeda bisa diakibatkan perbedaan karakteristik kimia substansi ekstrak yang diperoleh, baik dari segi kandungan kromofornya, gugus fungsionalnya, macam ikatan kimia maupun sistem ikatannya. Kononova *et al.*

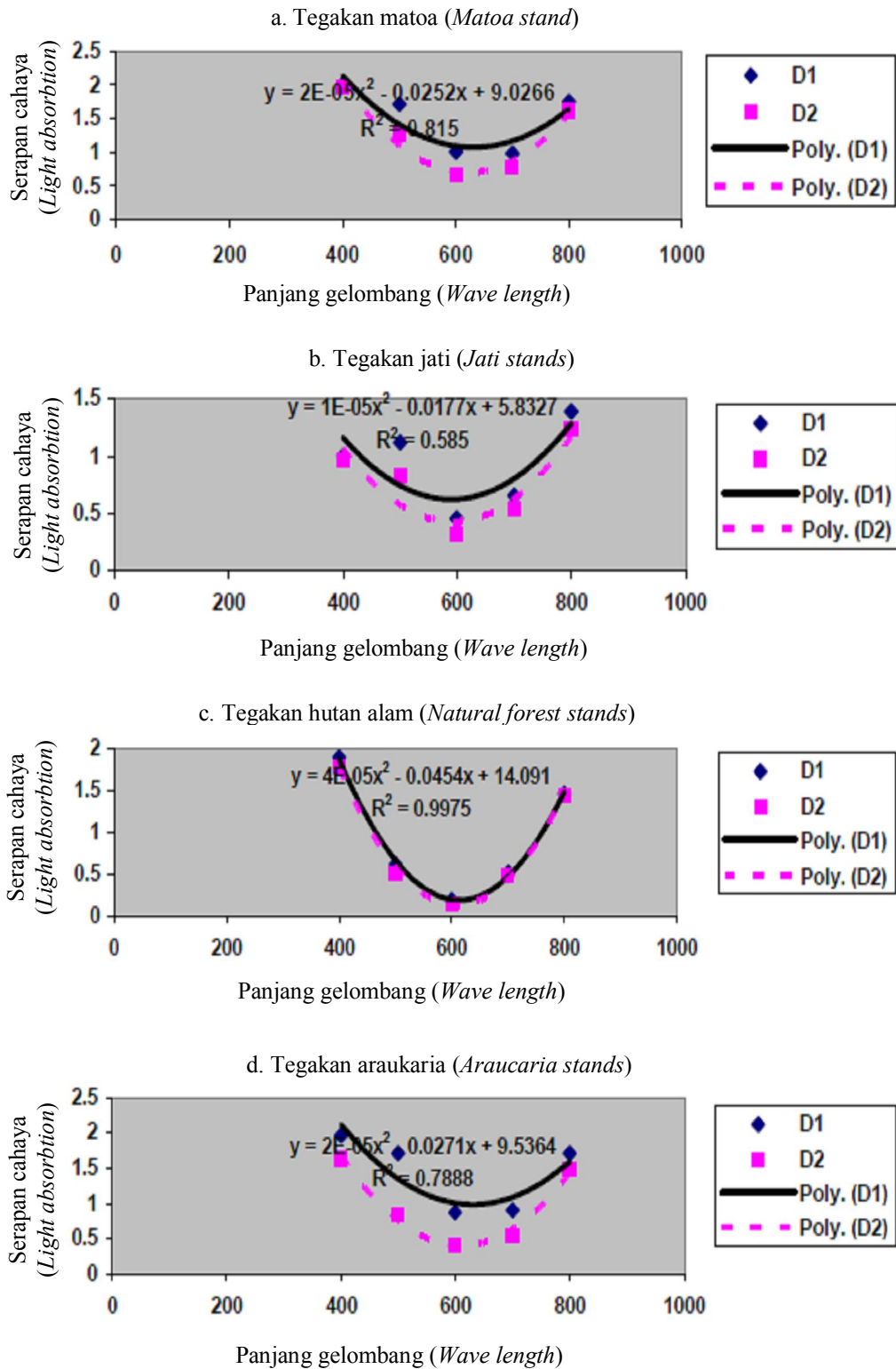
(1966) menyebutkan bahwa sifat dan tabiat substansi humus tergantung pada perbandingan substansi yang terlibat dalam reaksi kondensasi. Pola dan model serapan cahaya fraksi asam humik untuk setiap vegetasi semuanya hampir sama, dalam hal ini pola serapan mengikuti pola kurva parabola, seperti terlihat pada Gambar3.



Gambar (Figure) 1. Serapan asam humik (*Humic acid absorbtion*)



Gambar (Figure) 2. Serapan asam fulfik (*Fulvic acid absorbtion*)



Gambar (Figure) 3. Serapan fraksi humik pada berbagai panjang gelombang di bawah empat tegakan hutan (*Humic fraction absorption at some wave length under four forest stands*)

Terdapat sedikit perbedaan pada kemiringan (*slope*) kurva. Menurut Sastrohamidjojo (1985), sistem ikatan yang terko-yugasi dengan ikatan berganti-ganti

rangkap dan tunggal dapat terjadi *overlap* orbital. Bila hal ini terjadi, maka pemisahan tenaga antara tingkat dasar ke tingkat tereksitasi menjadi berkurang dan sis-

tem menyerap pada panjang gelombang yang lebih panjang dengan kenaikan intensitas yang besar.

Berdasarkan kedalaman tanah, bahwa pada kedalaman D₁ (0-30 cm) memiliki absorpsi bahan organik rata-rata lebih besar daripada kedalaman D₂ (30-50 cm). Tate III (1987) menyatakan bahwa distribusi koloid organik dalam tanah bervariasi secara vertikal maupun horizontal dalam profil tanah, demikian pula secara mikroskopik atau makroskopik. Lapisan tanah atas (*top soil*) adalah tempat akumulasi pertama bahan organik dan setelah mengalami perombakan, bahan organik mengalami mobilisasi secara vertikal dan horizontal.

Hubungan antara serapan cahaya dengan konsentrasi asam humik pada dua tingkat kedalaman tanah 0-30 dan >30 cm di bawah empat tipe tegakan hutan sebagaimana Gambar 3.

Bila dikaitkan dengan kandungan bahan organik tanah, maka jelas bahwa pada kedalaman D₁, kandungan bahan organik rata-rata lebih tinggi daripada kedalaman D₂, ini juga menunjukkan adanya korelasi antara serapan spektrofotometer dengan konsentrasi dan atau kandungan bahan organik tanah. Hubungan yang kuat antara serapan cahaya dan konsentrasi asam humik hutan alam dengan nilai R²= 0,99 (Gambar 3c). Demikian pula halnya pengaruh kandungan bahan organik tanah terhadap serapan cahaya. Hubungan ini memperkuat hukum Beer-Lamber yang

menyatakan bahwa jumlah cahaya yang diserap sebanding dengan jumlah molekul substansi penyerap yang dilalui cahaya (Stevenson, 1982; Sastrohamidjojo, 1985). Pendapat yang sama menyatakan bahwa jumlah total unsur hara yang tertahan dalam bahan organik tanah bervariasi langsung dengan level total bahan organik tanah (Tate III, 1987; Davidson and Stahl, 2000; Flaig, 1982). Perbandingan fraksi asam humik dan asam fulfik dalam substansi organik tanah biasa dijadikan indikator derajat kondensasi dan polimerisasi bahan substansi organik tanah, sementara rasio E₄/E₆ atau Q₄/6 atau biasa juga disebut sebagai rasio warna, sering dipakai sebagai indeks humifikasi bahan organik (Stevenson, 1982, Tan and Schuylenborgh, 1961).

Pada Tabel 1 ternyata tegakan hutan matoa adalah yang mempunyai rasio asam humik dan asam fulfik yang paling tinggi dalam penelitian ini dan yang terendah adalah tegakan hutan alam. Hal ini berarti bahwa humus tanah di bawah penutupan hutan matoa lebih banyak mengandung substansi dengan berat molekul tinggi. Rasio warna asam humik rata-rata tinggi pada hutan alam dan rata-rata rendah pada hutan jati, sementara rasio warna asam fulfik rata-rata tinggi pada matoa dan rata-rata rendah pada hutan alam (Tabel 2). Menurut Stevenson (1982), rasio menurun dengan meningkatnya berat molekul dan kondensasi, dan nilai ini dipercaya sebagai indeks humifikasi.

Tabel (Table) 1. Rasio asam humik/asam fulfik pada empat tegakan hutan (*Ratio humic acid/fulfic acid at four forest stands*)

Tegakan hutan (<i>Forest stands</i>)	Konsentrasi (<i>Concentration</i>)				Rasio asam humik dan asam fulfik (<i>Ratio of humic acid and fulfic acid</i>)	
	Asam humik (<i>Humic acid</i>)		Asam fulfik (<i>Fulfic acid</i>)		D ₁	D ₂
	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂		
Tegakan matoa (<i>Matoa stands</i>)	0,0384	0,0177	0,0085	0,0081	4,4	2,18
Tegakan jati (<i>Jati stands</i>)	0,0280	0,0179	0,0105	0,0088	2,65	2,03
Tegakan hutan alam (<i>Natural forest stands</i>)	0,0154	0,0141	0,0106	0,105	1,51	1,40
Tegakan araukaria (<i>Araucaria stands</i>)	0,0384	0,0177	0,0094	0,0092	4,27	1,97

Keterangan (*Remark*): D₁ kedalaman tanah (*soil depth*) 0-30 cm, D₂ kedalaman tanah (*soil depth*) > 30 cm

Tabel (Table) 2. Koefisien warna (Q4/6) di bawah empat tegakan hutan (*Colour coeficien (Q4/6) under four forest stands*)

Tegakan (<i>Stands</i>)	Asam humik (<i>Humic acid</i>)		Asam fulfik (<i>Fulvic acid</i>)	
	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
Tegakan hutan alam (<i>Natural forest stands</i>)	8,97	8,91	7,43	7,54
Tegakan jati (<i>Jati stands</i>)	3,75	5,19	5,95	15,66
Tegakan matoa (<i>Matoa stands</i>)	2,91	5,44	24,82	33,99
Tegakan araukaria (<i>Araucaria stands</i>)	2,18	5,33	14,97	16,06

Keterangan (*Remark*): D₁ kedalaman tanah (*soil depth*) 0-30 cm, D₂ kedalaman tanah (*soil depth*) > 30 cm

Tabel (Table) 3. Karakterisasi humus pada empat tegakan hutan (*Humic characteristic at four forest stands*)

Tegakan hutan (<i>Forest stands</i>)	Kondensasi/polimerisasi (<i>Condensation/polymerisation</i>)	Tingkat humifikasi (<i>Humification level</i>)	Kemungkinan mengandung senyawa toksik (<i>Contain possibility of hazardous substances</i>)
Tegakan hutan alam (<i>Natural forest stands</i>)	+	++++	++++
Tegakan jati (<i>Jati stands</i>)	++	+++	+++
Tegakan matoa (<i>Matoa stands</i>)	+++	+	++
Tegakan araukaria (<i>Araucaria stands</i>)	++++	++	+

Keterangan (*Remark*): (+) Kategori peningkatan nilai (*Increasing of values categories*)

Berdasarkan nilai-nilai serapan cahaya dan konsentrasi fraksi humik, maka dibuat karakterisasi humus yang menampakkan derajat kondensasi/polimerisasi, tingkat humifikasi dan kemungkinan mengandung senyawa toksik dari keempat tegakan situs penutupan hutan tersebut.

Pada Tabel 3, hutan alam menunjukkan derajat kondensasi dan polimerisasi yang paling rendah kemudian meningkat pada tegakan jati, tegakan araukaria, dan yang paling tinggi adalah tegakan matoa.

Sebaliknya tingkat humifikasi hutan alam adalah yang paling rendah kemudian meningkat pada hutan jati, hutan araukaria dan tertinggi adalah hutan matoa. Ini menunjukkan bahwa kemungkinan hutan alam mengandung senyawa toksik lebih besar dibandingkan dengan hutan lainnya.

Derajat kondensasi dan polimerisasi yang tinggi mengindikasikan bahwa fraksi humik banyak mengandung senyawa dengan rantai siklik atau aromatik atau yang mempunyai berat molekul yang lebih tinggi, sebaliknya derajat kondensasi

dan polimerisasi yang rendah menandakan hadirnya senyawa alifatik (Stevenson, 1982; Williams and Fleming, 1987; Dolfing *et al.*, 1999). Rendahnya derajat polimerisasi dan kondensasi pada hutan alam menandakan hutan alam didominasi substansi organik dengan berat molekul rendah, hal ini sejalan dengan pola serapan asam humik pada hutan alam dengan kemiringan yang lebih besar daripada hutan lainnya yang juga berarti kemungkinan mengandung senyawa toksik lebih besar daripada humus dari situs hutan yang lain. Menurut Tan and Schuylenborgh (1961), kemiringan kurva serapan cahaya dengan berat molekul rendah harus lebih besar daripada substansi dengan berat molekul tinggi.

IV. KESIMPULAN

1. Tingkat humifikasi tanah di bawah tegakan hutan dapat dilihat pada pola absorpsi cahaya oleh asam humik dan asam fulfik, perbedaan konsentrasi asam tersebut serta warna tanah.

2. Pola absorpsi substansi humik pada empat tegakan hutan dalam panjang gelombang cahaya 400-800 nm menunjukkan hubungan berupa pola kurva parabola.
3. Perbandingan konsentrasi asam humik dan asam fulfik tertinggi terjadi pada hutan matoa), diikuti araukaria, jati dan yang terendah pada hutan alam.
4. Koefisien warna asam humik lebih tinggi pada hutan alam, diikuti dengan hutan jati kemudian hutan matoa dan terendah adalah hutan araukaria, sebaliknya koefisien warna asam fulfik rata-rata lebih tinggi pada hutan matoa dan yang terendah pada hutan alam.
5. Karakterisasi pola absorpsi derajat kondensasi dan polimerisasi menunjukkan bahwa tingkat humifikasi hutan alam adalah yang terendah kemudian meningkat pada, tegakan hutan jati dan tegakan hutan araukaria, sedangkan yang tertinggi adalah tegakan hutan matoa. Rendahnya humifikasi pada hutan alam dapat disebabkan karena tingginya kandungan senyawa toksik dibandingkan dengan tegakan hutan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995. Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Davidson, T.E. & M. Stahl. 2000. The influenced of organic carbon on nitrogen transformations in five wetland soils. SSSAJ. 64 : 1129-1136.
- Dolfing, W.J., Chardon and Japenya. 1999. Assosiation between coloidal iron, aluminum, phosphorus and humic acid. Soil Sci. 3 : 184-188.
- Flaig, W. 1982. Soil organic matter as a source of nutrient. Organic Matter and Rice Jour of IRRI. p. 73-91.
- Kononova, M..M., T.Z. Nowskowki and A.C.D. Newman. 1966. Soil organic matter : its nature, its role in soils fertility. 2th English Ed. 543 p.
- Kumada, K. 1987. Chemistry of soil organic matter. Japan Scientific Societies Press, Tokyo.
- Mao, J.D. 2000. Quantitative characterisation of humic substances by solid state carbon-13 nuclier magnetic resonance. SSSAJ, 2000. Vol 64 : 873-884.
- Sastrohamidjojo, H. 1985. Spektroskopi. Liberty. Yogyakarta.
- Stevenson, F.J. 1982. Humus chemistry, genesis, composition, reactions. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons. New York.
- Tan, K.H. & Schuylenborgh. 1961. On the organic matter in tropical soils. Neth. J., Vol 9. No.3. p. 159.
- Tate, III. R.L. 1987. Soil organic matter, biological and ecological effects. A Wiley Interscience Publication. John Wiley and Sons. 291 p.
- Vogel. 1968. A tex-book of quantitative inorganic analysis. Ink., Elementry Instrumental Analysis. The English language book. Society and Longmans. 3 th ed. 1216 p.
- Williams, D.H. & I. Fleming. 1987. Spectroscopic methods in organic chemistry. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited London.
- Hayes, M.H.B. 1984. Structure of humic substances. Organic Matter and Rice, IRRI. p. 93113.