

ADSORPTION OF Cr(VI) ON BLACK WATER

Adsorpsi Cr(VI) pada Air Hitam

Rasti Januarita

Pendidikan Kimia FKIP Unlam Banjarmasin

Herdiansyah

FMIPA Unlam Jl. A. Yani Km 35,5 Banjarbaru 70714

ABSTRACT

The effect of initial concentration of Cr(VI) on adsorption to black water of Gambut, District of Banjar, South Borneo has been investigated, as well as interaction between Cr(VI) species and functional black water organic fraction.

The initial work was optimization of Cr(VI) determination using UV-Visible Spectrophotometry with diphenylcarbocide as complexing agent and preparation of black water using mixture of 2% HCl and 5% HF with HCl-HF ratio of 1 : 1 (v/v). The quantity of Cr(VI) species adsorbed on black water was calculated by determining the amount of Cr(VI) species in solution before and after interaction. The functional groups in interaction between Cr(VI) species and black water organic fraction was studied qualitatively using infrared spectroscopy.

The results showed that optimum condition for Cr(VI) species analysis using UV-Visible spectrophotometry with diphenylcarbocide as complexing agent was at wave length of 540 nm, pH 1,5, 15 - 60 minutes at which complex remain stable, and minimum mol ratio of diphenylcarbocide : Cr(VI) 45 : 1, and has a sensitivity of 1.134 mg/L and detection limit of 0.00495 mg/L. The analysis was not affected by the presence of Cr(III) in concentration less than 40 times of Cr(VI) concentration. After treatment with HCl-HF the quantity of black water organic fraction showing humic acid properties decreased 0,1998 percent. Organic fraction of black water used adsorpted Cr(VI) with capacity of 4,050 mg/g.

Keywords: Adsorption, Cr(VI), Black Water.

PENDAHULUAN

Salah satu kandungan limbah industri yang dapat menimbulkan dampak negatif adalah logam berat seperti timbal, tembaga, krom, kadmium, raksa dan arsen [1]. Kasus keracunan krom secara insidental cukup berbahaya bagi manusia, yakni mengakibatkan kanker paru-paru, luka bernanah kronis dan merusak selaput tipis hidung [2].

Krom di lingkungan terdapat dalam beberapa spesies dengan toksisitas yang sangat berbeda [3]. Spesies utama krom (VI) terlarut adalah H_2CrO_4 , HCrO_4^- , CrO_4^{2-} dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ [4,5]. Spesies krom (VI) di perairan mempunyai kelarutan tinggi dan bersifat sangat toksik, korosif serta karsinogen karena diperkirakan membentuk kompleks makromolekul dalam sel. Sebaliknya spesies krom (III) sangat kurang toksik dibandingkan krom (VI), tidak korosif maupun iritasi, bahkan dalam jumlah kecil merupakan bahan pokok yang diperlukan untuk metabolisme karbohidrat [4,5], glukosa, lemak dan protein [3] dalam mamalia, sebagai ko-

faktor untuk aktifitas insulin serta berperan di sekitar hormon.

Sumber pencemaran krom di lingkungan dapat dilacak dari air buangan industri-industri pelapisan krom, pabrik cat, pabrik tinta, penyamakan kulit, pengilangan minyak dan pabrik tekstil. Sasirangan merupakan kain khas Kalimantan Selatan yang dihasilkan dari pewarnaan tekstil secara "jumput". Limbah cair pewarna industri kain sasirangan yang mengandung logam berat krom, kebanyakannya dibuang ke perairan yang ada disekitarnya, yang merupakan lahan Gambut.

Air gambut sebagai salah satu jenis air yang ada di Kalimantan Selatan yang secara alamiah mengandung C-organik dan kebanyakan dikonsumsi oleh masyarakat yang ada di sekitarnya. Dalam penelitian ini mempelajari tentang adsorpsi spesies Cr (VI) pada air hitam (*black water*) dari lahan gambut untuk mengetahui interaksi apa yang terjadi di antara keduanya.

CARA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap, yaitu (1) Optimasi penentuan analisis Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Tampak dengan pengompleks Difenilkarbasid [6], (2) perlakuan air hitam dengan HCl 2% - HF 5% [6,7] (3) Mencampur spesies Cr(VI) dengan air hitam dengan parameter konsentrasi awal.

Preparasi sampel Air Hitam

Untuk membebaskan fraksi organik air hitam dari mineral, maka dicuci dengan campuran HCl 2% - HF 5% [6,7] dengan (v/v) = 1 : 1, dalam bejana plastik dan digojog dengan shaker selama 12 jam. Kondisi lingkungan bahan dijaga agar tetap sekitar temperatur kamar. Selanjutnya sampel dibilas dengan akuabides sampai pH filtrat = 4 dan Ion Cl^- tidak terdeteksi oleh larutan $AgNO_3$.

Untuk memisahkan tanah gambut dari filtratnya sampai pH = 3, digunakan cara penyaringan vakum, sedangkan $3 < pH = 4$ menggunakan peralatan sentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 30 menit. Pencucian ini diulang hingga tiga kali. Sampel yang sudah dicuci dilarutkan kembali ke dalam akuabides sesuai dengan volume asal.

Karakteristik Air Hitam dari Lahan Gambut

Penentuan pH air hitam dari lahan gambut dilakukan menggunakan prosedur yang dilakukan oleh Lambert dkk (1993). Kuantitas logam dilakukan dengan AAS. Penentuan fraksi organik terlarut menggunakan prosedur analisis bahan makanan dan pertanian dari sudarmadji dkk (1984). Sedangkan Karakterisasi gugus fungsional menggunakan FTIR.

Pengaruh Konsentrasi Awal

Limapuluh milliliter larutan spesies Cr(VI) dengan konsentrasi masing-masing 2; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80 mg/L dalam 0,01 M Ca^{2+} diatur agar mempunyai pH = 4 dengan menambahkan larutan H_2SO_4 atau NaOH. Masing-masing larutan dimasukkan dalam botol shaker yang berisi

air hitam dari lahan gambut hasil preparasi HCl-HF sebanyak 50 mL, kemudian digojog dalam shaker berputar dengan kecepatan 50 putaran/menit selama 24 jam pada suhu kamar.

Suspensi analit yang telah diperlakukan dengan air hitam hasil preparasi HCl-HF, dipisahkan dengan cara disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 10 menit, dan disaring dengan kertas Whatman 42. Larutan yang terpisah (supernatan) ditentukan konsentrasi spesi Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Tampak dengan pengompleks difenilkarbasid, untuk mengetahui konsentrasi spesi Cr(VI) yang berinteraksi dengan air hitam hasil preparasi HCl-HF. Hasil pengamatan ini disebut konsentrasi pada saat setimbang. Jumlah spesies Cr(VI) yang berinteraksi dengan air hitam hasil preparasi HCl-HF adalah perbedaan konsentrasi sebelum dan sesudah perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi optimum analisis spesies Cr(VI) menggunakan pengompleks difenilkarbasid berada pada panjang gelombang 540 nm, waktu kestabilan 15 – 60 menit, pH 1,5 dengan perbandingan mol difenilkarbasid dibanding Cr(VI) minimum sebesar 45 : 1. Kepekaannya 1,134 ppm pada kisaran konsentrasi 0 – 0,1 ppm, sedangkan batas deteksinya 0,00495 ppm. Keberadaan Cr(III) tidak mengganggu analisis sampai konsentrasinya 40 kali konsentrasi spesies Cr(VI).

Preparasi Air Hitam dan Karakterisasinya

Air yang keluar dari rawa gambut umumnya berwarna coklat seperti teh, pada tempat agak dangkal dan berwarna hitam bila air cukup dalam (disebut : sungai air hitam/*Black Water River*) dengan sifat sangat asam (pH : 3,0 – 4,5), mengandung ion organik yang lebih banyak dibanding dengan air tawar biasa, memiliki oksigen terlarut rendah, dan mengandung kadar asam humus yang tinggi [6], sedangkan fraksi organik gambut terutama terdiri dari hemiselulosa, selulosa, lignin, substansi-substansi humat, dan sejumlah kecil protein, zat lilin, tannin, dan resin [8].

Tabel 1 Karakteristik Air Hitam (*Black Water*) Alami dan Preparasi HCl-HF

Karakteristik Fisika dan Kimia	Air Hitam (<i>Black Water</i>)	
	Alami	Preparasi HCl-HF
pH H_2O	4,26 (3,8 – 4,6)	3,98
padatan organik terlarut (mg/L)	300,3	299,7
Besi (Fe) mg/L	6,64	tidak terdeteksi
Kromium (Cr (VI))	terdeteksi	tidak terdeteksi
Mangan (Mn) mg/L	0,28	tidak terdeteksi

Pencucian air hitam menggunakan larutan HCl 2% - HF 5% dengan perbandingan (v/v) = 1 : 1, ternyata dapat mengurangi kandungan padatan organik terlarut sebesar 0,6 gram/L dibanding dengan air hitam alami.

Pengurangan kandungan padatan organik terlarut tersebut, karena fraksi bahan mineral mengalami dekomposisi dan terbawa ke dalam larutan. Perlakuan tanah gambut dengan campuran HCl dan HF pekat akan menyisakan fraksi organik utuh, sedangkan bagian mineral terdekomposisi [9,10]. Begitu juga pemurnian asam humat dengan HCl-HF, akan terjadi pemisahan karbonat [7]. Sedangkan pencucian dengan HCl-HF dimaksudkan untuk mengkonversi tanah gambut menjadi bentuk-H⁺.

Berdasarkan kelarutan fraksi humat dalam alkohol, alkali dan asam (Flaig dkk, 1975), air hitam

yang telah dipreparasi dengan HCl 2% : HF 5% = 1 : 1 (v/v) dan dipisahkan dari filtratnya, akan menyisakan padatan organik yang diduga masih mengandung bahan humat yaitu asam humat, asam hematomelan dan humin. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tan [11], isolasi melalui ekstraksi dengan asam sebagaimana yang disarankan oleh Schnitzer dkk, secara teknis hanya mampu mengisolasi asam fulvat, oleh karena berdasarkan definisi bahwa hanya asam fulvat yang larut dalam asam.

Perbandingan angka gelombang dari Spektra infra merah padatan organik terlarut air hitam alami, dan preparasi HCl-HF, yang diperoleh dalam penelitian ini masing-masing tersaji pada tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Angka Gelombang Spektra Infra Merah dari Air Hitam Alami, Air Hitam Preparasi HCl-HF, dan Asam Humat

Angka Gelombang (cm ⁻¹)			
Air Hitam Alami	Air Hitam Preparasi HCl-HF	Ciri Khas Asam Humat (Stevenson dan Goh, 1972)	Gugus fungsional senyawa humat (Tan, 1998)
	3905,5		
	3853,5		
3751,3	3753,2		
	3735,9		
3435,0	3431,1	3400	3400
2922,0	2920	2900	2920
2850,6	2850,6		2820
			2610
2360,7 2343,4			2260
	1706,9	1720	1750
			1725 1720
			1680 1695
1624,0	1624,0	1600	1630
	1560,3		1515-1570
		1540	
	1508,2		1510
1384,8			1390
1269,1			1280 1267
	1236,3	1200	1230
1172,6 1128,3 1072,3			1170-950
	1060,8		
			840
474,4			
418,5			
389,6			
368,6			
366,4			

Berdasarkan spektra fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF seperti yang tersaji pada tabel 2, vibrasi ulur -OH teridentifikasi pada angka gelombang 3431,1 cm^{-1} dan vibrasi ulur C-H alifatik teridentifikasi pada angka gelombang 2920,0 cm^{-1} yang diikuti Rangkaian CH_3 dan CH_2 yang teridentifikasi pada angka gelombang 2850,6 cm^{-1} . Pita serapan yang muncul pada angka gelombang 1706,9 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C=O dari gugus -COOH. Angka gelombang ini lebih rendah bila dibandingkan dengan angka gelombang gugus karbonil terisolasi (1730 cm^{-1}) akibat keterlibatan resonansi gugus -C=O dalam -COOH. Pita serapan pada angka gelombang 1624,0 ditafsirkan sebagai C=C aromatik dan H terkonjugasi dari keton. Di samping itu C=C aromatik ditunjukkan pula dengan munculnya pita serapan pada angka gelombang 1560,3 dan 1508,2 cm^{-1} . Vibrasi ulur -OH dari -COOH dan C-O dari -COOH teridentifikasi pada angka gelombang 1236,3 cm^{-1} .

Angka gelombang gugus fungsional tersebut sesuai dengan data spektroskopi inframerah asam humat yang dikemukakan oleh Stevenson (1994). Data tersebut menunjukkan bahwa pita serapan utama asam humat muncul pada angka gelombang 3400 cm^{-1} sebagai vibrasi ulur -OH. Pita serapan pada angka gelombang 2900 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur -C-H alifatik. Pita serapan yang muncul pada angka gelombang di sekitar 1700 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur -C=O dari -COOH, sedangkan pada angka gelombang 1610 cm^{-1} menunjukkan -C=C aromatik dan H terkonjugasi dari keton. Di samping itu, -C=C aromatik ditunjukkan pula dengan munculnya pita serapan lemah pada angka gelombang di sekitar 1500 cm^{-1} .

Bila spektra inframerah dari fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF dibandingkan dengan air hitam alami, terdapat beda yang nyata pada angka gelombang 1000 - 2000 cm^{-1} , terutama pada angka gelombang 1700 cm^{-1} dan 1400 cm^{-1} . Pada air hitam alami, terdapat angka gelombang 1384,8 cm^{-1} sedangkan fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF, tidak dijumpai. Sebaliknya fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF mempunyai angka gelombang 1706,9 cm^{-1} , sedangkan air hitam alami tidak dijumpai.

Ketidaktampakan pita serapan pada angka gelombang 1706,9 cm^{-1} dalam spektra air hitam

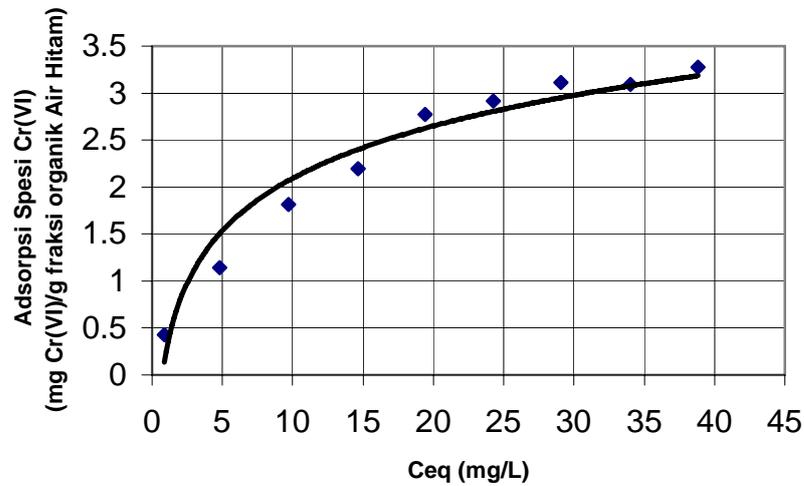
alam, yang merupakan vibrasi ulur -C=O dari -COOH, diduga sebagai akibat dari interaksi antara gugus -COOH dengan logam dalam tanah yang terjadi secara alami. Pita serapan pada angka gelombang 1706,9 cm^{-1} , muncul setelah dilakukan pencucian dengan larutan HCl-HF. Dengan adanya ion H^+ yang berasal dari larutan campuran HCl-HF, maka logam yang terikat pada anion -COO⁻ dari gugus -COOH akan larut karena tertukar oleh ion H^+ yang pada akhirnya membentuk -COOH.

Pita serapan pada angka gelombang 1384,8 cm^{-1} dari air hitam alam jelas terlihat, sedangkan fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF tidak tampak, menunjukkan bahwa dalam air hitam alam, gugus karboksilat (-COOH) terdapat dalam bentuk anion yaitu -COO⁻, sedangkan dalam fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF berbentuk molekular yaitu -COOH. Munculnya serapan pada angka gelombang 1384,8 cm^{-1} dari air hitam alam, diduga berasal dari gugus karboksilat dari fraksi organik yang mengikat berbagai logam. Jika asam humat berinteraksi dengan logam maka akan muncul pita serapan pada angka gelombang di sekitar 1380 cm^{-1} sebagai vibrasi ulur simetri anion -COO⁻.

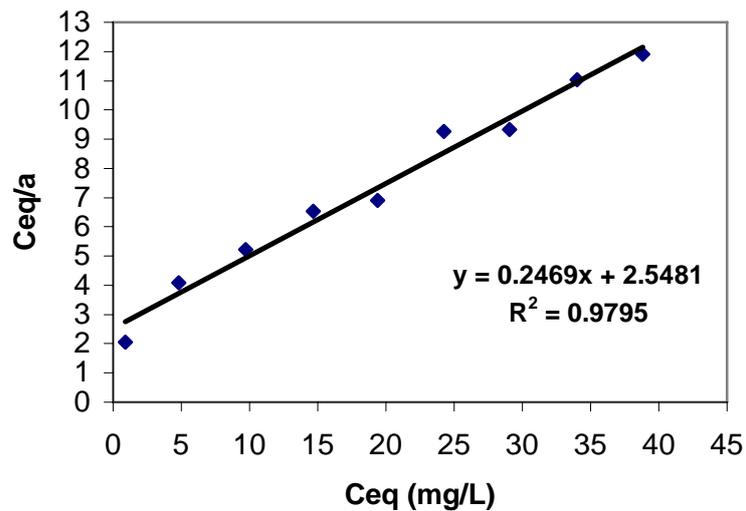
Hasil spektra inframerah dari fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF, jika dibandingkan dengan gugus fungsional senyawa humat yang diusulkan Mortenson dkk, Felbeck dan Khan [11], maka dapat dikatakan fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF mengandung bahan (senyawa) humat. Lebih khusus jika dibandingkan dengan karakteristik spektra inframerah asam humat yang ditandai dengan munculnya pita serapan pada angka gelombang 3400, 2900, 1720, 1600 dan 1200 cm^{-1} [12], dapat dinyatakan bahwa fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF mengarah pada senyawa humat, yaitu asam humat.

Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan

Hasil penelitian pengaruh konsentrasi awal analit terhadap adsorpsi spesies Cr(VI) oleh fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF disajikan pada gambar 1. Pada gambar, tampak bahwa konsentrasi awal larutan mempengaruhi besarnya interaksi spesi Cr(VI) oleh fraksi organik air hitam. Peningkatan konsentrasi awal larutan menyebabkan interaksi spesies Cr(VI) semakin bertambah sampai batas konsentrasi tertentu.



Gambar 1 Hubungan Adsorpsi Spesies Cr(VI) oleh Fraksi organik Air Hitam Preparasi HCl-HF pada saat Keseimbangan sebagai Pengaruh Konsentrasi Awal



Gambar 2 Kurva Linieritas Langmuir Interaksi Spesies Cr(VI) oleh Fraksi Organik Air Hitam Hasil Preparasi HCl-HF

Hasil penelitian ini sejalan dengan pernyataan Langmuir dalam Oscik [13], bahwa pada permukaan adsorben (penyerap) dalam hal ini fraksi organik air hitam terdapat sejumlah situs aktif yang proporsional dengan luas permukaan penyerap. Jadi dengan memperbesar konsentrasi, berat fraksi organik air hitam tetap, maka interaksi spesi Cr(VI) meningkat secara linier hingga konsentrasi tertentu.

Terbentuknya kurva yang berbentuk 'L' terbalik merupakan salah satu gejala isoterm Langmuir dan bentuk kurva tersebut mirip dengan kurva tipe I, yaitu terbentuknya lapis tunggal pada permukaan padatan dan isoterm adsorpsi ini

biasanya berlaku pada antar muka cairan dan padatan. Adsorpsi secara kimia terjadi karena adanya interaksi atau ikatan antara situs aktif dengan zat terserap. Ikatan terjadi membentuk lapisan penyerapan tunggal (*monolayer adsorption*) pada permukaan penyerap atau dinding sel [14,15]. Fraksi organik air hitam hasil preparasi HCl-HF yang berasal dari lahan Gambut mempunyai gugus fungsional yang hampir mirip dengan senyawa humat, yang menurut Stevenson [12] mengandung gugus fungsi amin(-NH₂), amida(-CO-NH₂), Alkohol (-CH₂-OH), imino (=NH), Aldehida (-CHO), Karboksilat (-COOH), enol (-CH=CHOH), keton (-

CO-) dan lain-lain. Dapat bermuatan positif, netral maupun negatif tergantung kondisi pH, karena bersifat amfoter [11]. Ikatan atau interaksi yang terjadi dapat berupa (1) gaya tarik elektrostatis (Columbik), (2) Pembentukan kompleks dan khelat, atau (3) Ko-adsorpsi [16,17,12]. Serta dalam bentuk khelat dengan cis-hidroksil dari senyawa C-organik [12].

Pengolahan data yang diperoleh pada percobaan ini dengan mengalurkan persamaan [18,11], maka diperoleh kurva linieritas seperti pada gambar 2.

Dalam penelitian ini didapatkan harga kapasitas adsorpsi maksimum spesi Cr(VI) oleh fraksi organik air hitam hasil preparasi HCL-HF adalah 4,050 mg/g, sedangkan harga afinitas adsorpsinya sebesar 0,097. Untuk penelitian selanjutnya, digunakan 50 ml larutan Cr(VI) dengan konsentrasi awal 30 mg/L, mengingat serapan relatif mulai konstan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut (1) Kondisi optimum analisis spesi Cr(VI) menggunakan pengompleks difenilkarbasid berada pada panjang gelombang 540 nm, waktu kestabilan 15 – 60 menit, pH 1,5 dengan perbandingan berat difenilkarbasid dibanding Cr(VI) sebesar 45 : 1. Kepekannya 1,134 ppm pada kisaran konsentrasi 0 – 0,1 ppm, sedangkan batas deteksinya 0,00495 ppm. Keberadaan Cr(III) tidak mengganggu analisis sampai konsentrasinya 40 kali konsentrasi spesies Cr(VI), (2) Air Hitam yang dipreparasi HCl-HF menurunkan kuantitas fraksi organik terlarut dari bahan alamnya, dengan kandungan gugus fungsional yang mengarah pada asam humat, dan (3) Air Hitam preparasi HCl-HF dapat digunakan untuk adsorpsi spesi Cr(VI) dengan nilai afinitas adsorpsi 0,097 dan kapasitas adsorpsi maksimum 4,050 mg/g.

Disarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut tentang Isolasi asam humat dan variabel-variabel lain (pengaruh pH awal, waktu kontak serta kation dan anion lainnya) terhadap adsorpsi spesies Cr(VI) pada fraksi organik air hitam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada laboratorium Pendidikan Kimia FKIP Unlam, Laboratorium Dasar Unlam, dan laboratorium Kimia Organik FMIPA UGM yang telah memberikan fasilitas untuk menganalisis sampel. Juga pada Proyek yang membiayai penelitian ini yaitu Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) Dirjen Dikti tahun 2001/2002.

DAFTAR PUSTAKA

- Haryadi, 1996, "Heavy Metal Content in Industrial Wastes in Indonesia, in Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation", *IUC Biotechnology*, UGM, Yogyakarta, September 18-20 1996.
- Klaasen, C.D., Amdus, M.O. dan Doull, J., 1986, "Toxicology, the Basic Science of Poison", 3th ed., McMillan, New York.
- Subramanian, K.S., 1988, "Determination of Chromium (III) by Amonium Pyrolidine Carbodionate Methyl Isobutil Ketone with Furnace Atomic Spectrometry", *Anal. Chem.*, 60: 11-15.
- Rai, D., Sass, B.M., dan More, D.A., 1987, *Inorg. Chem.*, 65: 2590-2595.
- Sperling, M., Xu, S. dan Welz, B., 1992, *Anal. Chem.*, 64: 3101-3108.
- Herdiansyah, 1997, Rawa (Reklamasi dan Lingkungan Hidupnya), FKIP, Unlam Banjarmasin.
- Azzouzi, M. El., Bouhaouss, A., and Ferhat, M., 2000, *Proceedings IHSS 10, 24-28 July 2000*, Toulouse, France, Vol. 1, pp 607-609.
- Vijarnson, P., 1996, "Peatlands in Southeast Asia : a Regional Perspective" (dalam Maltby, E., Immirzi, C.P. dan Safford, R.J., 1996, "Tropical Lowland Peatlands of Southeast Asia"), IUCN, Gland Switzerland, pp 75-92.
- Broadbent, F.E., dan Bradford, G.R., 1952, *J. Soil Sci.*, 74, 447-457.
- Saadi, Parham, Bambang Rusdiarso, dan Yateman Arryanto, 1995, Kajian Tentang Pemanfaatan Gambut sebagai Adsorben Senyawa Merkuri (II) Anorganik dari Larutan. Thesis Magister Sains, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tan, K.H., 1986, "Degradasi Mineral Tanah oleh Asam Organik" (dalam Huang, P.M. dan Schnitzer, M., 1986, "Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba", Terjemahan : Goenadi, D.H., 1997), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, hal. 2-40.
- Stevenson, F.J., 1994, "Humus Chemistry : Genesis, Composisi, Reactions", John Wiley & Sons Inc. , New York.
- Oscik, J., 1982, *Adsorption*, John Wiley, Chichester.
- Gadd, G.M., 1990, Fungi and Yeasts for Metal Accumulation, In *Microbial Mineral Recovery*, Ehrling, H.L. and H. L. Brierley (eds.), Mc Graw Hill Publishing Co., New York. pp 247-276.
- Hughes, M.N., and R. K. Poole, 1989, *Metal and Microorganism*, Chapman and Hall, London.

16. _____, 1994, "Environmental Soil Science", Marcel Dekker Inc., New York.
17. _____, 1998, "Dasar-Dasar Kimia Tanah", (terj. :Didiek Hadjar Goenadi), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
18. Shaw, D.J., 1982, *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*, 3rd edition, Butterworths & Co. Ltd., London.
19. Pilarski, J., Waller P. dan Pickering, W., 1996, *WAPLAC*, Volume 84/1-2 : 51-59.