

KAJIAN ADSORPSI $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ DALAM LIMBAH FOTOGRAFI PADA ADSORBEN KITIN DAN ASAM HUMAT TERIMOBILISASI PADA KITIN

Oleh:

Fitri Khoerunnisa¹, Sri Juari Santosa², Eko Sri Kunarti²

¹Program Studi Kimia FPMIPA UPI

²Jurusan Kimia FMIPA UGM

ABSTRACT

This work was started with isolation of humic acid from peat soil and chitin from crab shell, immobilization of humic acid on chitin, and characterization of adsorbents of C and HAC. Optimum condition was studied by interacting the adsorbents with $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ in a synthetic solution on various of pH from 2 to 10. Adsorption rate was studied by interacting the adsorbent with $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ in the synthetic solution on various time from 2 to 120 minutes. The determination of the energy and the capacity of adsorption were studied by interacting the adsorbent with $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ on various initial concentration from 2 to 75 ppm. Moreover, the mechanism of adsorption was studied by applying a sequential desorption using H_2O , Na_2EDTA 0.1 M, KSCN 0.5 M, and KOH 1 M. The adsorption of $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ in photography wastewater on C and on HAC were studied at the same condition as obtained for the synthetic solution.

The result showed that pH 2 was the optimum adsorption condition for $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ in the synthetic solution on both C and HAC adsorbents. $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ in the synthetic solution was chemically adsorbed on C and on HAC, involving energy adsorption of 22.74–23.30 kJ/mole, respectively. Adsorption of $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ on C was faster than that on HAC with the rate constants for adsorbent C and HAC were 73×10^{-4} and 46×10^{-4} minute^{-1} , respectively. Adsorption capacity of $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ on C and on HAC were 2.107×10^{-4} and 1.818×10^{-4} mole/g, respectively. The amount of $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ in photography wastewater that was adsorbed on C and on HAC were 13.52 and 12.47 mg/L, respectively. The hydrogen bonding and ion exchange were the dominant mechanism of adsorption.

Key words: $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$, adsorption, chitin, immobilization, humic acid.

LATAR BELAKANG

Berkaitan dengan pencemaran logam khususnya Ag, telah dilaporkan sebanyak 2,47 juta kg Ag terbuang ke lingkungan setiap tahunnya, di mana hampir 82% berasal dari aktivitas manusia yang sebagian besar didominasi oleh industri fotografi yaitu sekitar 47%. Selain itu diperkirakan ada sekitar 150.000 kg Ag masuk ke dalam lingkungan perairan yang berasal dari industri fotografi, elektroplating dan limbah pertanian serta sebanyak 80.000 kg Ag mencemari lahan pertanian yang berasal dari pengolahan limbah fotografi (Irwin, et al., 1997).

Perak merupakan logam mulia yang digunakan dalam proses fotografi karena memiliki sifat fotosensitif. Pengembangan film menjadi gambar dalam proses fotografi dapat menimbulkan limbah fotografi yang berasal dari cairan pencuci (*rinse water*) dan cairan *fixer* yang masing-masing mengandung Ag sekitar 100 – 1000 dan 50 – 200 mg Ag/L dalam bentuk senyawa kompleks tiosulfat (Songkroah, C. et al., 2003), sedangkan menurut Arthur, D. (1989) sebanyak 80 % dari total Ag yang digunakan selama proses fotografi hitam putih dan hampir 100 % Ag dari fotografi terakumulasi dalam larutan *fixer* sebagai limbah fotografi.

Menurut Irwin, et al. (1997) adsorpsi merupakan proses yang penting dalam mengontrol jumlah Ag yang ada dalam lingkungan perairan serta mobilisasinya dalam sedimen dan tanah dalam upaya mengurangi tingkat pencemaran.

Senyawa humat dan kitin merupakan dua jenis senyawa yang sering digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi polutan logam di perairan, mengingat keduanya memiliki gugus fungsional yang mampu berikatan dengan logam. Kitin merupakan senyawa utama penyusun dinding sel kerangka hewan *Crustacea* memiliki kemampuan untuk mengikat ion logam karena mengandung gugus asetonamida yang bertindak sebagai penukar ion (Muzzareli, 1997), sedangkan asam humat merupakan senyawa makromolekul yang mengandung gugus fungsi $-COOH$ dan $-OH$ alkoholat maupun fenolat sebagai gugus fungsional utama yang memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan logam (Stevenson, 1994). Adapun imobilisasi asam humat pada padatan pendukung dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi.

Menurut Oscik (1982) adsorpsi merupakan peristiwa akumulasi substansi adsorbat pada permukaan adsorben. Proses interaksi antara limbah fotografi dengan adsorben kitin dan kitin-humat dapat dipelajari dari beberapa parameter adsorpsi di antaranya konstanta laju, kapasitas, tetapan kesetimbangan dan mekanisme adsorpsi.

Keasaman merupakan faktor penting dalam proses adsorpsi, karena perubahan keasaman larutan dapat menyebabkan perubahan pada muatan permukaan adsorben dan spesiasi ion logam dalam larutan (Stum dan Morgan, 1981).

CARA PENELITIAN

Tahapan penelitian dimulai dari pembuatan adsorben. Kitin (C) dibuat melalui proses depigmentasi, deproteinasi dan demineralisasi pada cangkang kepiting. Sedangkan asam humat diperoleh dari ekstraksi alkali tanah gambut. Imobilisasi asam humat pada kitin (HAC) dilakukan dengan mencampurkan kitin yang diaktivasi dalam asam dan asam humat yang diaktivasi dalam basa. Karakterisasi adsorben hasil isolasi dilakukan dengan menggunakan spektroskopi FTIR.

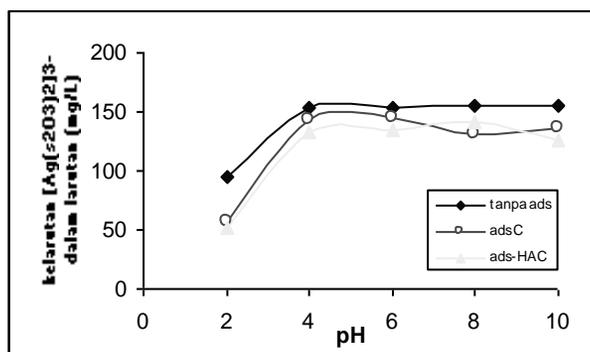
Parameter adsorpsi ditentukan dengan menginteraksikan adsorben (kitin dan kitin-humat) dengan $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada berbagai variasi pH (2 sampai 10), variasi waktu (2 sampai 120 menit) dan variasi konsentrasi awal (2 sampai 75 ppm). Selanjutnya mekanisme adsorpsi ditentukan melalui desorpsi sekuensial dengan menggunakan pelarut H_2O , Na_2EDTA 0,1 M, $KSCN$ 1M dan KOH 1 M. Kondisi optimum

yang diperoleh digunakan untuk adsorpsi limbah fotografi pada adsorben kitin (C) dan kitin-humat (HAC).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi Optimum Adsorpsi dalam Limbah Sintetis pada Adsorben Kitin(C) dan Kitin-Humat (HAC)

Pengaruh pH larutan terhadap konsentrasi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis dengan dan tanpa adsorben dapat dilihat pada gambar 1 .



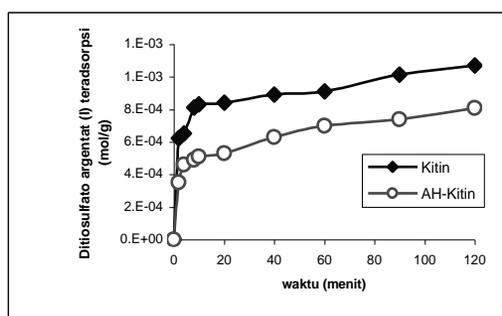
Gambar 1. Konsentrasi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ pada berbagai keasaman medium dengan dan tanpa adsorben

Data yang tersaji pada gambar 1 menunjukkan pada kondisi keasaman yang tinggi (pH \approx 2) jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis yang teradsorpsi pada adsorben kitin(C) dan kitin-humat (HAC) cenderung lebih besar dibandingkan pada kondisi keasaman yang lebih rendah (pH > 2) karena terjadi protonasi pada situs aktif yang berkontribusi muatan positif pada permukaan adsorben, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi elektrostatik antara situs aktif dengan ion kompleks $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$. Selain itu, pada pH \approx 2, kompleks $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ menjadi tidak stabil di mana interaksi antara Ag(I) sebagai ion pusat dengan ligan $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ menjadi melemah akibat serangan ion H^+ terhadap ligan $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ sehingga memungkinkan Ag berada dalam kondisi bebas untuk berinteraksi dengan situs aktif adsorben kitin.

Jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis yang teradsorpsi pada pH \approx 2 untuk adsorben C (40,27%) relatif lebih kecil dibandingkan untuk adsorben HAC (44,98%) karena pada adsorben HAC selain gugus fungsional yang lebih berperan dalam proses adsorpsi adalah gugus fungsional pada kitin, juga dengan adanya tambahan gugus fungsional utama dari asam humat akan menambah jumlah situs aktif pada permukaan kitin, sehingga kemampuan adsorben HAC untuk mengadsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ pada kondisi yang sama cenderung lebih besar bila dibandingkan dengan adsorben C.

Pada tingkat keasaman yang rendah ($\text{pH} > 2$) jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi pada adsorben C dan HAC cenderung menurun, karena kompleks $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ tetap berada dalam kondisi terlarut di mana $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ merupakan kompleks yang sangat stabil dengan ikatan yang terjadi antara ion $\text{Ag}(\text{I})$ dan ligan $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ sangat kuat. Selain itu pada tingkat keasaman yang rendah protonasi pada gugus fungsional adsorben semakin sedikit sehingga muatan adsorben cenderung bermuatan negatif di mana memungkinkan terjadinya tolakan antara adsorbat dan adsorben karena memiliki muatan yang sejenis.

2. Kinetika Adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam Limbah Sintetis pada Adsorben (C) dan (HAC)



Gambar 2. Pengaruh variasi waktu terhadap adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC

Perilaku laju adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC menunjukkan kemiripan di mana pada menit-menit awal adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC berlangsung cepat dan terus meningkat seiring bertambahnya waktu memberikan kenaikan jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi secara signifikan karena jumlah situs aktif yang tersedia pada permukaan adsorben masih banyak yang belum terisi sehingga memudahkan adsorbat untuk berinteraksi dengan adsorben. Setelah adsorpsi berlangsung selama 90 menit nampak jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi pada adsorben C dan HAC relatif konstan di mana penambahan jumlah yang teradsorpsi relatif tidak signifikan terhadap penambahan waktu interaksi. Hal ini disebabkan pada waktu interaksi yang lebih lama situs aktif adsorben sudah jenuh atau terisi penuh oleh molekul adsorbat.

Parameter umum yang digunakan dalam mempelajari kinetika adsorpsi adalah konstanta laju adsorpsi (k) dihitung dengan menggunakan model kinetika adsorpsi orde I yang mencapai kesetimbangan seperti yang diusulkan Santosa (2001), yaitu:

$$\frac{\ln\left(\frac{C_o}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K$$

Tabel 1. Parameter kinetika untuk adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC berdasarkan model kinetika yang diusulkan Santosa (2001)

Adsorben	Parameter Kinetika $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$	
	k (menit ⁻¹)	K (mol/L) ⁻¹
C	7,3 x 10 ⁻³	821,13
HAC	4,6 x 10 ⁻³	326,94

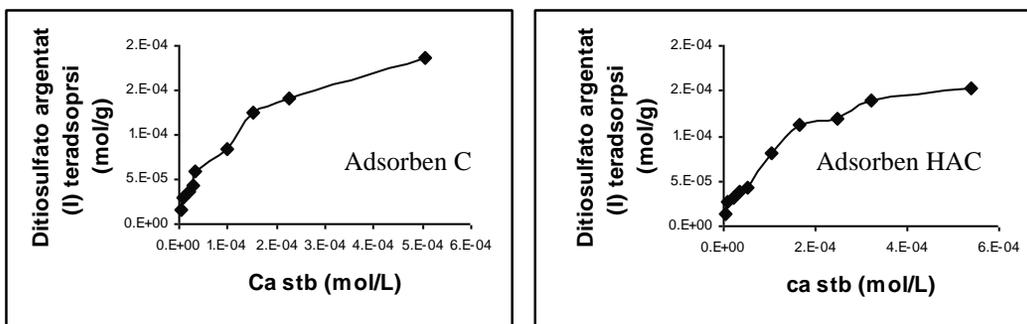
Pada data tabel 1, nampak bahwa laju adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben HAC relatif lebih lambat jika dibandingkan laju adsorpsi adsorben C karena struktur kitin lebih linier dan situs aktif yang cenderung homogen, akibatnya pada adsorben C situs aktif yang tersedia di permukaan lebih mudah untuk diakses oleh adsorbat sedangkan struktur HAC lebih kompleks dengan adanya gabungan gugus fungsional kitin dan asam humat.

Konstanta kesetimbangan adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C (821,13 L/mol) lebih besar dari harga konstanta kesetimbangan adsorben HAC (326,94 L/mol) karena ion kompleks $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ memiliki afinitas yang lebih tinggi untuk membentuk ikatan dengan gugus amida (-NHCO) pada kitin dibandingkan dengan gugus -COOH pada asam humat karena gugus amida cenderung lebih mudah terpolarisasi sehingga diperkirakan ikatan antara gugus amida dengan $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ akan lebih dominan dan lebih stabil.

3. Isoterm Adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam Limbah Sintetis pada Adsorben (C) dan (HAC)

Isoterm adsorpsi menggambarkan hubungan antara zat teradsorpsi dalam sejumlah tertentu berat adsorben dalam kondisi kesetimbangan pada temperatur konstan. Penentuan harga kapasitas adsorpsi dan konstanta kesetimbangan adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan isoterm Langmuir, yaitu:

$$\frac{C}{m} = \frac{I}{bK} + \frac{C}{b}$$



Gambar 3. Isoterm adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC

Pola isoterm adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC cenderung mengikuti pola adsorpsi isoterm Langmuir, di mana kenaikan jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi per gram adsorben menunjukkan hubungan yang tidak linier dengan konsentrasi kesetimbangan setelah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ diinteraksikan dengan adsorben, dapat dinyatakan asumsi yang digunakan dalam persamaan isoterm Langmuir terpenuhi untuk menjelaskan proses adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ pada adsorben C dan adsorben HAC, di mana terdapat sejumlah situs aktif yang sebanding atau ekuivalen dengan luas permukaan.

Pada konsentrasi rendah jumlah ion yang teradsorpsi jauh lebih besar dibandingkan dengan jumlah ion yang tidak teradsorpsi. Kejadian ini diakibatkan pada konsentrasi rendah proses adsorpsi lebih mengarah pada interaksi kimia. Besarnya afinitas molekul adsorbat terhadap molekul adsorben memungkinkan terjadinya interaksi lanjutan, namun hanya berupa interaksi fisika. Peningkatan konsentrasi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ teradsorpsi pada adsorben C dan HAC pada konsentrasi tinggi menunjukkan adanya interaksi lanjutan antara molekul adsorben dan molekul adsorbat setelah semua situs aktif pada permukaan adsorben terisi penuh.

Isoterm Freundlich dapat digunakan untuk menjelaskan adsorpsi larutan. Persamaan ini menghubungkan jumlah material yang teradsorpsi dengan konsentrasi material dalam larutan. Isoterm Freundlich disebut sebagai model adsorpsi nonideal, di mana heterogenitas situs aktif pada permukaan adsorben tidak diabaikan atau dianggap dapat menentukan pola adsorpsi.

Tabel 2. Parameter isoterm adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC pada temperatur 27^oC

Ads	Langmuir				Freundlich		
	b(mol/g)	K (kmol/L) ⁻¹	E (kJ/mol)	R ²	K (mg/g)(L/mg) ⁿ	1/n	R ²
C	2,107 E-4	11,414	23,302	0,9541	3,186	0,478	0,9797
HAC	1,818 E-4	9,107	22,739	0,9588	2,330	0,510	0,9767

Dari data di atas terlihat bahwa harga derajat kesesuaian atau linearitas (R²) berdasarkan model Freundlich lebih besar dibandingkan linearitas dari model Langmuir, hal ini berarti model Freundlich tampak memberikan hasil yang lebih sesuai, sehingga dapat dinyatakan bahwa heterogenitas permukaan adsorben cukup besar dan menentukan terhadap proses adsorpsi.

Proses adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC berlangsung mengikuti proses kemisorpsi di mana energi adsorpsi untuk adsorben C (23,30 kJ/mol) lebih besar dibandingkan untuk HAC (22,74 kJ/mol) dimungkinkan interaksi antara $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dengan adsorben C lebih kuat atau lebih stabil dibandingkan HAC. Faktor lain berkaitan dengan sifat asam lunak ion logam Ag(I) yang kurang menyukai gugus-gugus fungsional pada asam humat yang didominasi oleh nukleofil keras sehingga interaksi yang berlangsung lemah dan mengakibatkan energi adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ pada adsorben HAC lebih rendah. Kemudian dilihat dari parameter kapasitas adsorpsi, nampak adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C cenderung lebih besar dibandingkan pada adsorben HAC, di mana untuk adsorben C sebesar 2,107 x 10⁻⁴ mol/g dan adsorben HAC sebesar 1,818 x 10⁻⁴ mol/g.

4. Mekanisme Adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam Limbah Sintetis pada Adsorben (C) dan (HAC)

Mekanisme yang berperan dalam adsorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC dipelajari melalui desorpsi sekuensial terhadap adsorben C dan HAC yang sebelumnya telah diinteraksikan dengan $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$. Penggunaan larutan pengestraksi secara berurutan dapat melarutkan kembali $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi secara fisika melalui mekanisme pemerangkapan, dan ion logam yang teradsorpsi secara kimia melalui mekanisme pertukaran ion, pembentukan ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks.

Tabel 3. Kontribusi mekanisme interaksi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintetis pada adsorben C dan HAC

No.	Mekanisme Interaksi	konsentrasi ion logam (mg/L)		% kontribusi	
		C	HAC	C	HAC
1.	Pemerangkapan	0,136	0,157	1,32	1,01
2.	Pertukaran ion (pereaksi Na_2EDTA)	0,219	0,116	2,12	0,75
3.	Pertukaran ion (pereaksi KSCN)	3,214	2,636	31,11	17,01
4.	Pembentukan ikatan Hidrogen	3,636	5,926	35,20	19,46
5.	Mekanisme lain	3,125	6,665	30,25	61,68
Jumlah		10,33	15,5	100	100

Interaksi dominan pada adsorben C dan adsorben HAC terjadi melalui mekanisme pembentukan ikatan hidrogen masing-masing sebesar 35,20% untuk adsorben C dan 19,46 % untuk adsorben HAC dan mekanisme pertukaran ion dengan CNS^- masing-masing sebesar 31,11 % untuk adsorben C dan 17,01 % untuk adsorben HAC .

Mekanisme pemerangkapan berlangsung karena molekul $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ terperangkap di dalam molekul adsorben di mana $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ terikat sangat lemah dengan situs aktif adsorben sehingga dengan penambahan H_2O , $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ ikut terhidrasi. Mekanisme pertukaran ion dapat berlangsung karena muatan negatif dari EDTA^{2-} dan CNS^- menggantikan posisi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang terikat pada situs aktif adsorben. Jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang terdesorpsi dari adsorben C dan HAC dengan pelarut KCNS lebih banyak dibandingkan menggunakan Na_2EDTA , hal ini dimungkinkan karena struktur ion EDTA^{2-} jauh lebih meruah dibandingkan CNS^- akibatnya rintangan sterik menjadi besar. Selain itu karena ion SCN^- dan $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ memiliki kesamaan sifat di mana keduanya tergolong basa lunak, sehingga SCN^- dapat dengan mudah menggantikan $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ yang sebelumnya terikat pada situs aktif adsorben.

Mekanisme pembentukan ikatan hidrogen dapat berlangsung melalui interaksi antara gugus hidroksil ($-\text{OH}$) yang berasal dari pelarut KOH dengan atom hidrogen (H) dari gugus amida dan atau gugus karboksilat. Dengan terbentuknya ikatan hidrogen maka kompleks $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang sebelumnya terikat pada gugus amida dan atau gugus karboksilat akan lepas .

5. Adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam Limbah Fotografi pada Adsorben C dan HAC

Dari hasil interaksi antara $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah fotografi dengan adsorben C dan HAC diperoleh jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi pada adsorben C dan HAC berturut-turut adalah 13,52 mg/L dan 12,47 mg/L. Hal ini menunjukkan adanya kemiripan pola adsorpsi limbah fotografi dengan limbah sintetis, di mana jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi pada adsorben C cenderung lebih besar dibandingkan dengan adsorben HAC, di mana protonasi pada gugus fungsional adsorben memberikan kondisi yang tepat untuk mengadsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah fotografi.

Tabel 4. Kontribusi mekanisme interaksi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah fotografi pada adsorben C dan HAC

No.	Mekanisme Interaksi	Kontribusi ion logam (mg/L)		% kontribusi	
		C	HAC	C	HAC
1.	Pemerangkapan	0,592	0,444	4,38	3,56
2.	Pertukaran ion : (Pelarut Na_2EDTA)	0,185	0,185	1,37	1,48
3.	Pertukaran ion: (pelarut KSCN)	4,135	3,206	30,58	24,27
4.	Pembentukan ikatan Hidrogen	3,708	3,146	27,43	25,23
5	Mekanisme lain	4,900	5,489	36,24	45,46
Jumlah		13,52	12,47	100	100

Data pada tabel 4 menunjukkan mekanisme adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah fotografi pada adsorben C dan HAC memiliki pola yang hampir sama dengan mekanisme adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dari limbah sintesis pada adsorben yang sama di mana didominasi oleh mekanisme pembentukan ikatan hidrogen dan pertukaran ion dibandingkan dengan mekanisme pemerangkapan .

KESIMPULAN

Adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintesis pada adsorben C dan HAC maksimum berlangsung pada pH 2, dan Imobilisasi asam humat pada kitin menurunkan laju dan kapasitas adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ pada adsorben kitin.

Parameter kinetika adsorpsi yaitu konstanta laju adsorpsi untuk adsorben C dan HAC masing-masing sebesar $73 \times 10^{-4} \text{menit}^{-1}$ dan $46 \times 10^{-4} \text{menit}^{-1}$. Kapasitas adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintesis pada adsorben C lebih besar dibandingkan pada HAC, masing-masing sebesar $2,107 \times 10^{-4} \text{mol/g}$ untuk adsorben C dan $1,818 \times 10^{-4} \text{mol/g}$ untuk adsorben HAC. Energi adsorpsi untuk adsorben C dan HAC berturut-turut adalah 23,302 kJ/mol dan 22,739 kJ/mol.

Penerapan kondisi optimum adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintesis pada adsorpsi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah fotografi menghasilkan jumlah $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ yang teradsorpsi pada adsorben C dan HAC berturut-turut adalah 13,52 mg/L dan 12,47mg/L. Ekstraksi sekuensial menunjukkan bahwa interaksi $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ dalam limbah sintesis dan limbah fotografi dengan adsorben C dan HAC berlangsung secara kimia di mana mekanisme pembentukan ikatan hidrogen dan pertukaran ion memegang peranan yang lebih dominan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arthur, D. Little Inc, 1989, *Waste-Audit Study-Photo Processing Industry Prepared for Alternative Tecnology Section*, Toxic Substances Control Division, California Departement of Health Services.
- Irwin, R.J., Van Mouwerik, M., Stevens, L., Seese, M.D., Basham, W., 1997, *Environmental Contaminants Encyclopedia Silver Entry*, National Park Service water Resource Divisions, Water Operation Branch, Fort Collins, Colorado.
- Muzzarelli, R.A.A., 1977, *Chitin*, Pergamon Press.
- Oscik, J., 1982, *Adsorption*, John Wiley, Chichester
- Pearson, R.G., 1963, Hard and Soft Acids Bases, *American Chemical Society*, Vol. 85, No. 22, 3533-3539.
- Santosa, S.J., Narsito, and Lesbani, A., 2003, The Determination of Active Site, Capacity, Energy, and Rate Constant on the Adsorption of Zn(II) and Cd(II)on Chitin, *Journal of Ion Exchange* (Sopplement), vol.14, 89-92.
- Songkroah, C., Nakbanpote, W., Thiravetyan, P., 2003, *Recovery of Silver-thiosulfat Complexes with Chitin*, *Process Biochemistry*, www.elsevier.com.
- Stevenson, F.J., 1994, *Humus Chemistry*, John wiley and Sons, New York.
- Stum, W. and Morgan, J.J., 1981, *Aquatic Chemistry*, John Wileys and Sons Inc., New York.
- Vogel, A.I., 1986, *Buku Teks Analisa Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, Edisi 5, Penerjemah L.Setiono dan A.H. Pudjaatmaka, Kalman Media Pustaka, Jakarta.
- Wood, W.A., 1988, *Chitin, Chitosan and Related Enzymes*, Academic Press, New York.