



**STUDI OPTIMALISASI ALOFAN UNTUK MENGURANGI LOGAM
BERAT TEMBAGA (Cu) DALAM SAMPEL AIR**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana sains Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Asa:	Hadiah	Klass
	Pembelian	S43A
Terima Tol :	30 AUG 2007	
Oleh	No. Induk :	ROC
	KLASIR / PENYALIN :	S

far

Rochmawati
NIM 021810301059

C.1

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2007

MOTTO

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan
(Al – Insyiroh : 6)*

*Yang terpenting dalam kehidupan bukanlah kemenangan
tetapi bagaimana bertanding dengan baik
(Baron Pierre De Coubertin)*

*Suatu kehidupan yang penuh kesalahan tak hanya lebih berharga, tetapi juga lebih
berguna dibandingkan hidup tanpa melakukan apapun
(George Bernard Shaw)*

PERSEMBAHAN

Karya Tulis ini untuk:

Bapak Priono dan Almarhumah Ibu Armini yang selalu menjaga, membimbing, menyayangi dan mendoakan setiap jalan yang kutempuh.

Semua kakak-kakakku dan keluarga besarku yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan, dan semangat berjuang.

Bapak & Ibu Mukhsin, yang telah menjadi orang tua asuhku.

Seluruh temanku angkatan 2002 (anis, any, intan, rina, ela, ali, rico, rusman, wahid, hari, eko, ari, egik, dan amir) dan m.feri, m.iwan, m. darma, dian, tyas; thanks atas kebersamannya selama ini.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rochmawati

NIM : 021810301059

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul " *Studi Optimalisasi Alofan Untuk Mengurangi Logam Berat Tembaga (Cu) dalam Sampel Air* " adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Dengan demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Juli 2007

Yang menyatakan,



Rochmawati

NIM. 021810301059

SKRIPSI

**STUDI OPTIMALISASI ALOFAN UNTUK MENGURANGI
LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) DALAM SAMPEL AIR**

Oleh

Rochmawati

NIM 021810301059

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Mukh. Mintadi, M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Arie Mudjiharjati, M.S.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Studi Optimalisasi Alofan Untuk Mengurangi Logam Berat Tembaga (Cu) dalam Sampel Air" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari : **SENIN**
Tanggal : **20 AUG 2007**
Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji

Ketua,



Drs. Mukh. Mintadi, M.Sc.
NIP. 131 945 804

Anggota I,



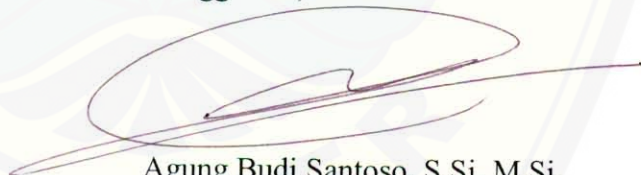
Drs. Zulfikar, P.hD.
NIP. 131 660 785

Sekretaris,



Ir. Arie Mudjiharjati, M.S.
NIP. 130 609 808

Anggota II,



Agung Budi Santoso, S.Si, M.Si.
NIP. 132 207 812

Mengesahkan
Dekan



Jr. Sumadi, M.S.
NIP. 130 368 784

RINGKASAN

Studi Optimalisasi Alofan untuk Mengurangi Logam Berat Tembaga (Cu) dalam Sampel Air ; Rochmawati, 021810301059; 2007 : 47 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Alofan adalah aluminosilika amorf yang berasosiasi dengan bahan organik, dan banyak ditemukan pada tanah andosol. Alofan relatif melimpah, sangat kuat mengadsorpsi fosfor, mempunyai kemampuan untuk pertukaran kation dan anion, memungkinkan untuk dimodifikasi, dan belum banyak pemanfaatannya. Logam berat tembaga (Cu), dapat mencemari lingkungan, terutama pencemaran air. Kebanyakan sumber limbah Cu berasal dari elektroplating dan pestisida terutama fungisida. Untuk mengurangi kadar limbah Cu dalam perairan, dapat digunakan alofan sebagai penukar ion dan adsorben. Tujuan penelitian untuk mengetahui (1) kapasitas alofan dalam mengikat Cu dan *removal efficiency* alofan teraktivasi untuk mengurangi kadar Cu dalam sampel air, dan (2) pada pH berapakah alofan mempunyai kondisi optimal untuk mengurangi kadar Cu dalam sampel air. Hasil penelitian diharapkan alofan dapat dijadikan alternatif adsorben dan penukar ion selain zeolit dan alumina.

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap secara berurutan. Tahap pertama, dilakukan uji pendahuluan meliputi: sifat kimia, keharuan, dan sifat fisika untuk mengetahui alofan sebagai mineral *variable charge*. Penentuan sifat kimia dilakukan dengan sampel tanah andosol direaksikan dengan larutan NaF 1 N, diukur pHnya. Kemudian sampel tanah andosol direaksikan dengan H₂O dan KCl 1 N dan diukur pHnya. Selisih pH H₂O dan pH KCl menunjukkan adanya muatan bervariasi bergantung pH. Pengukuran Kapasitas Tukar Kation (KTK) dengan penjenjeh amonium asetat menunjukkan banyaknya kation-kation dapat bertukar. Penentuan

sifat keheraan dilakukan dengan mengukur kadar % C Organik, % N Total, P Tersedia, K, dan kadar Cu dalam sampel tanah andosol sebelum dan sesudah aktivasi.

Tahap kedua, setelah diketahui dalam sampel tanah andosol terdapat alofan, maka dilakukan aktivasi dengan basa (NaOH). Sebanyak 1 kg tanah andosol ditambah 350 ml NaOH dengan konsentrasi 0.25 M; 0.50 M; dan 0.75 M dan pH diukur setiap hari sampai hari ke-7 (stabil), sehingga diperoleh alofan teraktivasi pH 7.00, 8.00, dan 9.00. Tahap ketiga, setelah sampel alofan teraktivasi pada pH 7.00, 8.00, dan 9.00 dapat digunakan sebagai adsorben dan penukar kation. Sebanyak 250 gram alofan teraktivasi dimasukkan dalam kolom PVC 30 x 8 cm dengan bagian bawah kolom diberi kasa dan kapas. Konsentrasi larutan sampel Cu^{2+} dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi konsentrasi 80-130 ppm dilewatkan pada alofan teraktivasi pH 7.00, 8.00, dan 9.00. Filtrat yang ditampung diukur konsentrasi Cu^{2+} sisa dan Na^+ yang tertukar dengan menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Penelitian dilakukan dengan variasi pH (7.00, 8.00, dan 9.00) dan variasi konsentrasi larutan sampel Cu^{2+} (80-130 ppm). Sehingga diperoleh hasil pada pH berapakah alofan mempunyai kemampuan optimal untuk mengadsorpsi dan menukar kation. Untuk mengetahui kondisi optimal alofan mengadsorpsi dan menukar kation, dilihat dari Kapasitas Cu teradsorpsi dan persentase *Removal Efficiency*-nya.

Dari Hasil Analisis Uji Pendahuluan, diketahui dalam sampel tanah andosol terdapat alofan, dengan pH dalam NaF 1 N bernilai 10,64. Perbedaan pH H_2O dan pH $\text{KCl} \pm 0.49$ menunjukkan adanya muatan bervariasi bergantung pH. Nilai KTK 42,67 me/100 g; % C Organik 2,09 %; % N Total 0,34 %; P Tersedia 2,23 ppm; Kalium 15,62 me/100 g. Kadar Cu sebelum aktivasi 4.00 ppm dan setelah aktivasi 0.50 ppm. Tekstur dan struktur sampel tanah andosol dengan persentase pasir 95,69 %, debu 3,230 %, dan liat 1,080 %. Hasil penelitian disimpulkan bahwa (1) alofan pada pH 7.00 mempunyai kapasitas adsorpsi dan *removal efficiency* yang lebih baik dibandingkan pH 8.00 dan pH 9.00, dan pada pH 9.00 mempunyai kapasitas tukar kation yang lebih baik dan adsorpsi yang paling logis (sesuai teori) dibandingkan

dengan pH 7.00 dan pH 8.00; dan (2) hasil optimalisasi alofan dengan basa (NaOH), untuk mendapatkan pH 7.00 diperlukan NaOH 0.25 M, untuk mendapatkan pH 8.00 diperlukan NaOH 0.50 M, dan untuk mendapatkan pH 9.00 diperlukan NaOH 0.75 M, sehingga perubahan muatan negatif dapat dilihat dengan adanya perubahan pH.



PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan program sarjana strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini banyak mendapat bantuan dan fasilitas dari berbagai pihak yaitu:

1. Ketua Jurusan Kimia yang telah memberikan ijin selama penelitian untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Dwi Indari S.Si M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik.
3. Drs. Mukh. Mintadi M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ir. Arie Mudjiharjati M.S selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan semangat, motivasi, waktu, dan kesabaran dalam membimbing penulis dari awal sampai akhir.
4. Drs. Zulfikar Ph.D. selaku Dosen Penguji I dan Agung Budi Santoso S.Si. M.Si. selaku Dosen Penguji II yang banyak memberikan saran dan kritik demi perbaikan skripsi ini.
5. Ir. Sugeng Winarso M.Si yang telah memberikan saran.
6. Seluruh staff dosen, administrasi, dan teknisi Jurusan Kimia
7. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat terhadap perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang kimia.

Penulis

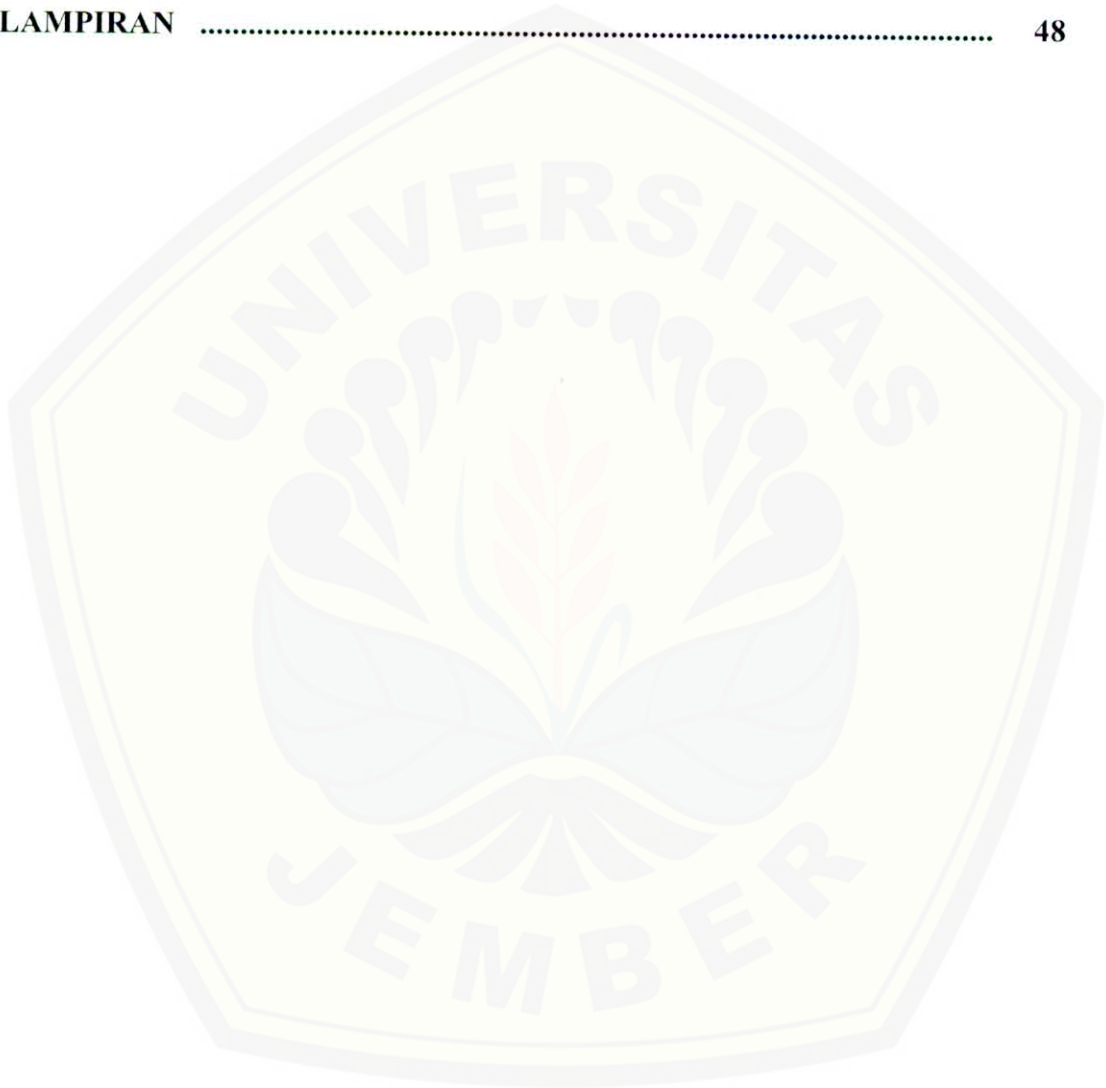
Jember, 27 Juli 2007.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
HALAMAN RINGKASAN	viii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanah	5
2.1.1 Sifat Fisik Tanah	5
2.1.2 Sifat Kimia Tanah	6
2.2 Kimia Struktur Mineral Lempung	8

2.3 Lempung Amorf (Alofan dan Imogolit)	10
2.3.1 Sifat Fisika Kimia	11
2.3.2 Struktur dan Agregat	12
2.4 Pertukaran Ion dalam Tanah	12
2.4.1 Lapisan Rangkap Listrik	13
2.5 Muatan Bergantung pH	14
2.6 pH tanah	15
2.6.1 pH sampel dalam NaF 1 N	16
2.6.2 Penggunaan Δ pH dalam penetapan muatan negatif atau positif	16
2.7 Tembaga (Cu)	17
2.7.1 Mekanisme Adsorpsi Logam Berat	19
2.7.2 Interaksi Logam Berat	19
2.7.3 Sifat Kimia Cu dalam Tanah	20
2.8 SSA (Spektroskopi Serapan Atom)	21
BAB 3. METODE PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Rancangan Penelitian	24
3.3.1 Tahap-tahap Penelitian	24
3.3.2 Diagram Alir Penelitian	26
3.4 Analisa Data	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Analisis Uji Pendahuluan	28
4.4.1 Penentuan Sifat Kimia, Keharaan, dan Sifat Fisika Andosol	28
4.2 Aktivasi Alofan dengan Basa (NaOH)	31
4.3 Kapasitas Alofan untuk Mengadsorp Cu	34
4.4 Kapasitas Tukar Kation	38

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	48



DAFTAR TABEL

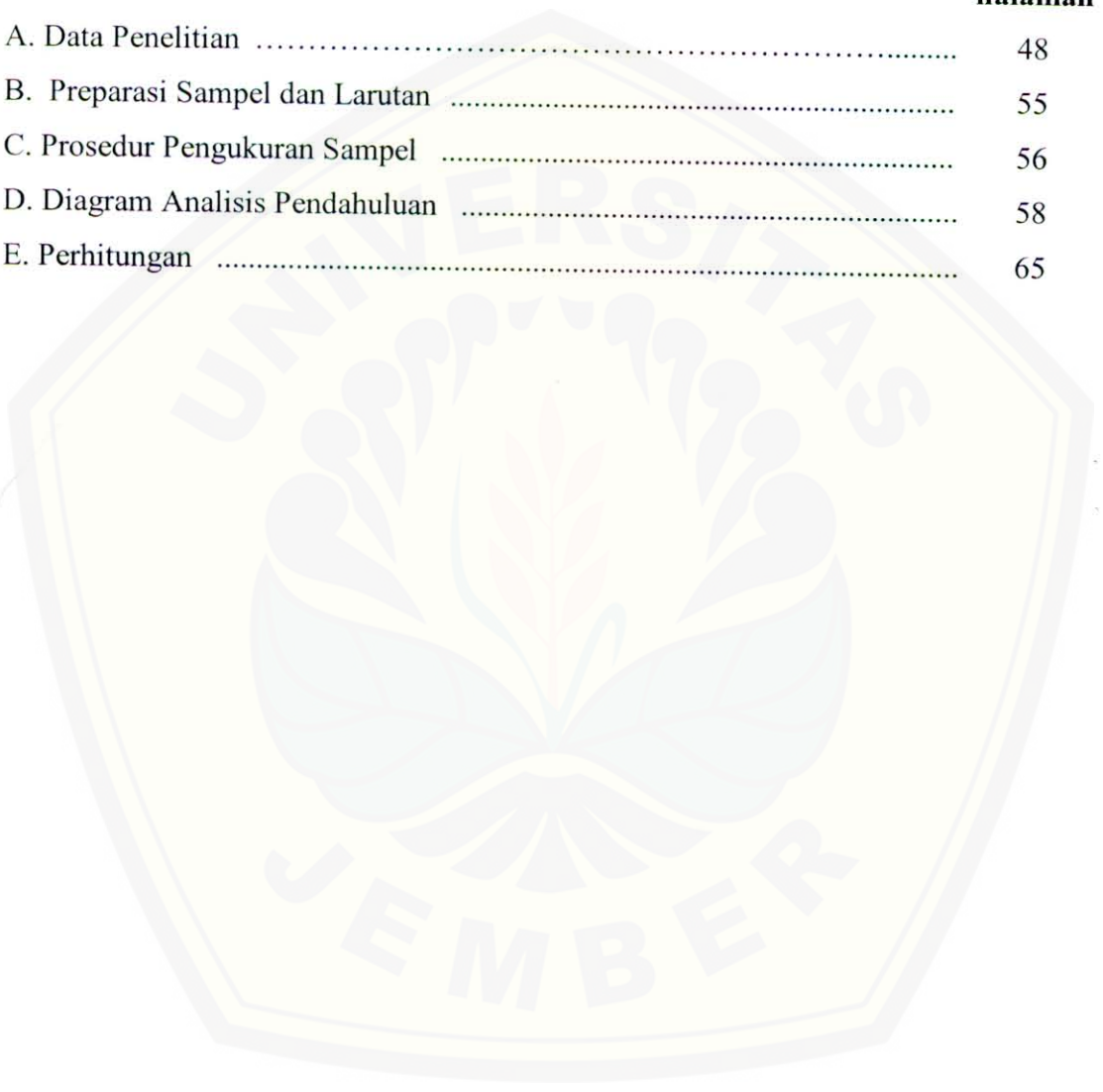
	Halaman
2.1 Karakteristik tembaga	18
4.1 Sifat Kimia Andosol	28
4.2 Sifat Keharaan Alofan	30
4.3 Sifat Fisika Alofan	31
4.1 Aktivasi Alofan dan Perubahan pHnya.....	32
4.5 Kapasitas Na^+ dan Cu^{2+} Teradsorp dan Tertukar pada pH 7.00, 8.00, dan 9.00	34

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Protonasi dan Deprotonasi pada Permukaan Lempung	7
2.2 Unit Terendah Lembaran Tetrahedral Silika	9
2.3 Struktur Alofan (Kiri) dan Globula Mikropori Alofan (Kanan)	11
2.4 Lapisan Rangkap Listrik	14
2.5 Perbedaan Nilai pH H ₂ O dan pH KCl dengan Muatan Permukaan Positif dan Negatif	17
3.1 Desain Kolom	25
4.1 Proses Protonasi dan Deprotonasi	33
4.2 Kemungkinan Proses Pertukaran Kation dengan Penambahan Basa pada Kisi Amorf Oktahedral Al,Fe	34
4.3 Cu Teradsorp pada pH 7.00	36
4.4 Cu Teradsorp pada pH 8.00	37
4.6 Cu Teradsorp pada pH 9.00	38
4.6 Proses Logam M ⁿ⁺ (Cu) Terikat pada Gugus Organik	39
4.7 Proses Bahan Organik yang Berinteraksi dengan Permukaan Mineral	40
4.8 Kapasitas Pertukaran Cu ²⁺ pada Alofan pH 7.00, 8.00, dan 9.00	41
4.9 <i>Removal Efficiency</i> Cu ²⁺ pada Alofan pH 7.00, 8.00, dan 9.00	42

LAMPIRAN

	halaman
A. Data Penelitian	48
B. Preparasi Sampel dan Larutan	55
C. Prosedur Pengukuran Sampel	56
D. Diagram Analisis Pendahuluan	58
E. Perhitungan	65





BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan industri dewasa ini membawa dampak bagi kehidupan makhluk hidup, baik dampak positif maupun negatif. Dampak positifnya adalah dihasilkannya produk dan banyaknya pilihan kebutuhan hidup sehari-hari serta mobilitas penduduk yang tinggi. Dampak negatif yang ditimbulkan diantaranya di bidang lingkungan adalah limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia (Wardana, 1995). Kebanyakan masalah lingkungan disebabkan oleh limbah yang semakin lama semakin banyak sehingga mengganggu lingkungan dan makhluk hidup yang tidak dapat ditampung alam. Oleh karena itu diperlukan rekayasa lingkungan yang dapat memecahkan masalah limbah di lingkungan dengan adanya pengolahan limbah (Bradshaw, 1992)

Limbah yang masuk ke dalam lingkungan bila jumlahnya melebihi ambang batas dapat mencemari lingkungan itu sendiri, seperti yang ditunjukkan pada pencemaran air. Pencemaran air terjadi karena bertambahnya komponen penyusun air. Air yang ada di bumi tidak pernah dalam keadaan murni, tetapi selalu ada senyawa atau mineral (unsur) yang terlarut didalamnya (Wardana, 1995). Unsur mikro ada di dalam air alami (air tanah dalam dan air permukaan). Pencemaran air oleh unsur mikro merupakan faktor penting pada siklus geokimia unsur mikro tersebut dan kondisi dalam lingkungan. Kebanyakan unsur mikro, terutama logam berat, tidak berada dalam bentuk terlarut dalam air untuk waktu yang lama. Logam tersebut berada sebagai padatan koloid atau campuran substansi organik dan mineral (Kabata, 2001).

Unsur mikro merupakan unsur yang terdapat di alam dalam jumlah yang sangat kecil yang juga mempunyai komponen lingkungan, diantaranya adalah tembaga (Cu). Tembaga ada dalam beberapa mineral utama sederhana dan kompleks

sulfida. Mineral tersebut cukup larut dalam keadaan menahan dan melepas ion Cu, terutama pada lingkungan asam. Oleh karena itu Cu dianggap mudah bergerak diantara sekian banyak logam berat. Tetapi Cu merupakan kation yang mudah berubah dalam tanah atau deposit material dengan menunjukkan kemampuan yang besar untuk berinteraksi secara kimia dengan mineral dan komponen organik tanah (Kabata, 2001).

Tanah tersusun atas material organik (humus), anorganik (mineral), udara dan air sehingga mempunyai sifat fisik tanah antara lain struktur dan tekstur tanah yang bervariasi tergantung lingkungan. Kebanyakan material dapat masuk tanah melalui lahan pertanian, industri dan limbah rumah tangga. Beberapa senyawa tersebut berbahaya bagi manusia dan hewan. Senyawa atau unsur tersebut dapat masuk ke dalam tanah melalui perkolasi air dan mencemari tanah. Tanah yang sebagian penyusunnya adalah mineral, mempunyai Kapasitas Tukar Kation yang menyediakan kapasitas penyangga bagi lingkungan tersebut. Karena muatan listrik dan luas permukaan yang tinggi, mineral terutama lempung dapat mengadsorpsi berbagai senyawa yang masuk ke dalam tanah, salah satunya adalah pertukaran kation dengan logam berat. Dengan adsorpsi pada permukaan lempung, beberapa logam berat akan ditahan dan atau diendapkan menjadi senyawa padatan. Lempung akan menahan polutan yang mengalir ke tanah dengan perkolasi air. Polutan tersebut akan diubah oleh lempung sehingga terjadi pertukaran kation sebelum polutan mencapai air tanah. Hal tersebut mengakibatkan lempung dapat berfungsi sebagai *purifying agent* di alam dan meningkatkan kualitas tanah dan air tanah (Tan, 2000).

Dengan kemajuan dalam bidang mineralogi lempung, diketahui banyak tanah yang mengandung lempung amorf. Alofan merupakan jenis lempung amorf yang banyak ditemukan pada tanah abu vulkanik. Pada penelitian ini digunakan alofan karena alofan relatif melimpah di Indonesia yang banyak mempunyai gunung berapi, sangat kuat mengadsorpsi fosfor, mempunyai kemampuan untuk terjadinya pertukaran kation dan anion, memungkinkan untuk dimodifikasi, dan belum banyak pemanfaatannya. Logam yang dipilih adalah tembaga (Cu) yang merupakan logam

berat dengan efek beracun pada tingkat tertentu. Bahaya Cu bagi manusia adalah sakit perut, liver, diare, muntah dan hemolisis.

Sumber limbah Cu yang ada di lingkungan kebanyakan dari elektroplating dan pestisida, terutama fungisida. Selama ini limbah elektroplating diolah dengan memisahkan aliran limbahnya menjadi limbah yang mengandung sianida, logam, asam, dan basa. Limbah yang mengandung logam diendapkan pada pH tinggi dengan penambahan kapur atau basa. Logam yang berbeda mengendap pada pH antara 8-11, sehingga agar pengolahan berlangsung efektif perlu dilakukan beberapa tahap dan masing-masing logam dalam satu tahap. Sistem pengolahan limbah yang diterapkan pada industri elektroplating adalah elektrodialisis, osmosis balik, penukar ion, penguapan dan saringan pasir (www.menlh.go.id/usaha-kecil/index-view.php?). Dengan sistem tersebut dipilih alternatif pengolahan limbah logam (Cu) menggunakan alofan.

Peningkatan daya jerap alofan dapat dilakukan dengan berbagai cara yang disebut aktivasi, baik secara kimia atau fisika. Proses aktivasi kimia dapat dilakukan dengan perlakuan asam dan perlakuan basa. Sedangkan proses fisika dapat dilakukan dengan kalsinasi pada suhu tinggi. Dalam penelitian ini digunakan aktivasi basa (NaOH) dengan perlakuan variasi pH dan konsentrasi Cu untuk meningkatkan daya jerap alofan terhadap Cu. Dengan demikian diharapkan alofan dapat dimanfaatkan sebagai *purifying agent* dalam pertukaran kation dengan logam berat.

1.2 Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, maka permasalahannya adalah:

1. Bagaimana mengaktivasi alofan untuk mengurangi kadar logam berat Cu dalam sampel air
2. Berapa kapasitas alofan dalam mengikat Cu dan *removal efficiency* alofan aktivasi untuk mengurangi kadar Cu dalam sampel air
3. Pada pH berapakah alofan mempunyai kondisi optimal untuk mengurangi kadar Cu dalam sampel air

1.3 Tujuan

1. Mengetahui kapasitas alofan dalam mengikat Cu dan *removal efficiency* alofan aktivasi untuk mengurangi kadar Cu dalam sampel air
2. Mengetahui pada pH berapakah alofan mempunyai kondisi optimal untuk mengurangi kadar Cu dalam sampel air

1.4 Manfaat

Menggunakan potensi Sumber Daya Alam (alofan) sebagai alternatif penukar kation dan adsorben yang sudah ada yaitu alumina dan zeolit.

1.5 Batasan Masalah

1. Tanah yang digunakan adalah tanah andosol horizon A (dibawah horizon O) di daerah Batu.
2. Sampel yang digunakan adalah larutan standar Cu dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
3. Aktivasi alofan dengan variasi pH 7.00, 8.00, dan 9.00.
4. Proses pertukaran kation dengan menggunakan kolom
5. Sifat kimia alofan meliputi penentuan pH NaF, pH H_2O , pH KCl, pengukuran KTK, kadar % Karbon Organik, kadar NPK dan kadar Cu dan Na dalam sampel yang diukur dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA), sedangkan sifat fisika meliputi penentuan struktur dan tekstur sampel.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah dapat didefinisikan sebagai gabungan dari unsur mineral (anorganik), bahan organik tanah, udara, dan air tanah. Bagian anorganik biasanya terdiri dari pecahan-pecahan batuan dan berbagai macam mineral. Pelapukan batuan membentuk mineral primer yang menguasai fraksi kasar dan mineral sekunder yang menguasai fraksi halus, terutama lempung. Pengaruh bahan organik terhadap sifat fisika tanah adalah meningkatkan daya menahan air tanah dan mempertinggi jumlah air yang tersedia untuk kehidupan tumbuhan. Ruang pori dalam tanah diisi oleh udara dan air yang saling berhubungan erat. Suatu keseimbangan antara udara dan air harus dipertahankan (Buckman, 1991).

Ciri-ciri tanah di lapangan diperoleh dengan membuat suatu profil tanah. Profil tanah merupakan suatu irisan melintang pada tanah dibuat dengan menggali lubang dengan ukuran (panjang dan lebar) tertentu dan kedalaman tertentu sesuai dengan keadaan tanah dan keperluan penelitiannya (Sutedjo, 1991). Lapisan-lapisan yang terlihat pada profil disebut horison dan horison diatas bahan induk seluruhnya disebut solum.

2.1.1 Sifat fisik tanah

Dari segi fisik tanah mineral adalah campuran yang terbentuk dari butir-butir anorganik, rapuhan bahan organik, udara dan air. Dua sifat penting fisika tanah adalah tekstur tanah dan struktur tanah. Tekstur tanah tertuju pada besarnya butir-butir mineral terutama perbandingan relatif berbagai golongan di tanah tertentu. Struktur tanah yaitu masalah tersusunnya butir-butir tanah dalam golongan dan agregat. Kedua sifat tersebut bersama-sama menentukan tidak hanya kemampuan

memberi unsur hara oleh butir tanah, tetapi juga memberikan udara dan air yang penting untuk kehidupan tumbuh-tumbuhan.

2.1.2 Sifat kimia tanah

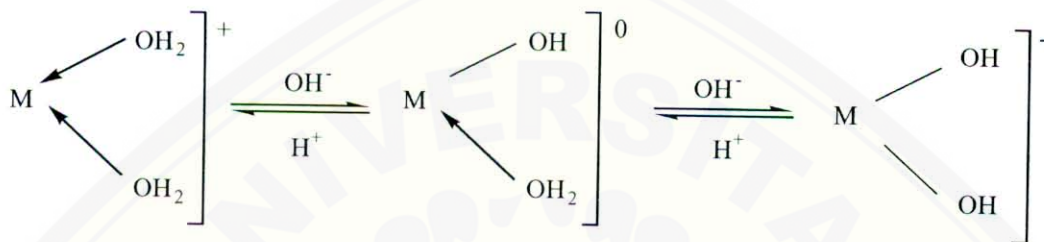
Bagian tanah yang paling aktif adalah koloid yang merupakan suatu wujud (keadaan) dari bahan yang terdiri dari partikel-partikel yang sangat halus dengan ukuran 5 nm-0,2 μm . Dua macam tipe koloid yang berlainan adalah koloid anorganik dan organik bercampur menjadi satu. Koloid anorganik hampir seluruhnya berupa lempung dan koloid organik berupa humus. Lempung mempunyai diameter efektif 0,002 μm (Buckman, 1991).

Sistem koloid dapat terbagi menjadi dua kelompok. Koloid dianggap liofobik jika tidak menyukai zat terlarut atau fase terdispersinya tidak berinteraksi dengan medium dispersi. Liofilik jika fase terdispersi dan mediumnya berinteraksi. Suatu koloid hidrofobik dapat diflokulasikan dan koloid hidrofilik biasanya tidak dapat diflokulasikan. Koloid tanaman kebanyakan bersifat hidrofilik sedang mineral lempung bersifat hidrofobik. Partikel koloid yang dikelilingi oleh kulit hidrasinya disebut misel. Sejumlah reaksi kimia dan biologi terjadi antar muka padat-cair dan penyerapan (adsorpsi) berlangsung pada antar muka tersebut (Tan, 1998).

Koloid didominasi oleh mineral filosilikat, koloid organik dan hidroksida dari Fe, Al dan Mn. Mineral lempung mempunyai sifat mengembang (*swell*) dan mengerut (*shrink*) yang terjadi jika air masuk ke dalam lapisan mineral lempung sehingga bertambah beberapa nanometer yang akan meningkatkan volume lempung. Untuk terjadinya *swelling* air harus masuk ke lapisan dalam lempung. Mengembang berarti pada lempung memungkinkan terjadi proses Kapasitas Pertukaran Kation dan penyerapan air yang mengakibatkan lempung akan mengembang sehingga luas permukaan lebih besar per satuan berat terhadap larutan tanah sehingga lebih reaktif secara kimia. Sifat mengembang tergantung pada tipe mineral, muatan lapisan

lempung dan sifat alami dari kation pada lapisan dalam (www.landfood.ubc.ca/soil200/components/mineral.htm).

Pada saat koloid amfoter berada dalam larutan elektrolit, potensial ion terdistribusi pada permukaan. Sehingga reaksi permukaan dapat terjadi adsorpsi desorpsi dari proton atau dari ion hidroksil, seperti skema berikut ini :



Sumber : Theng, 1980.

Gambar 2.1 Reaksi Permukaan dengan Protonasi dan Deprotonasi

Mineral lempung dapat dibedakan berdasarkan struktur dan komposisinya yaitu kelompok mineral kristalin dan mineral amorf. Mineral kristalin dibagi menjadi 4 kelompok berdasarkan struktur atomnya yaitu:

- 1) Mineral lapis 2, yang tersusun atas Si yang dikelilingi oleh 4 atom oksigen membentuk tetrahedral dengan jarak antara atom Si dan O sama panjang.
- 2) Mineral lapis 3, yang melibatkan kisi atom dari alumina atau $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan Al dikelilingi oleh 6 atom O atau OH yang membentuk oktahedral.
- 3) Mineral lapis campur, merupakan mineral dengan tipe 2:1 karena kristalnya yang berupa lempengan terbentuk dari lapis 3, silika-alumina-silika.
- 4) Mineral struktur rantai, dengan beberapa mineral lempungnya berupa serabut dan disusun oleh struktur yang berbeda. Misalnya hornblende yang disusun oleh tetrahedral silika rantai ganda sehingga komposisinya Si_4O_{11} (www.info.usda.gov/CED/ftp/CED/tr28-1.pdf).

Mineral amorf diantaranya oksida Al, Fe, Mn ; mineral sulfida, alofan dan imogolit.

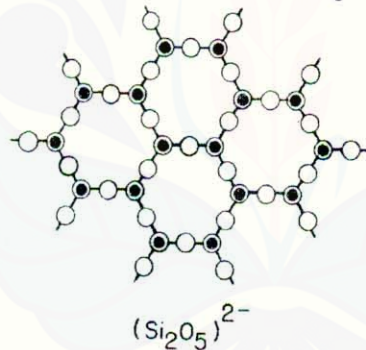
Kelompok mineral berdasarkan muatannya adalah:

- 1) Mineral dengan muatan permanen (-) berdasarkan substitusi isomorfik, misalnya pada kaolin, monmorilonit, vermikulit dan klorit. Muatan permanen terjadi karena struktur kristal yang terbentuk sempurna mengakibatkan atom dalam kristal tidak terdapat kelebihan muatan, sehingga secara elektrik setimbang. Tetapi, ketidaksempurnaan struktur kisi menyebabkan kelebihan muatan positif atau negatif yang kemudian berkumpul membentuk muatan ion yang berlawanan pada permukaan kristal. Beberapa ketidaksempurnaan dapat terjadi karena substitusi Al^{3+} pada lembar silikat yang menghasilkan kelebihan muatan negatif pada partikel permukaan. Substitusi Al^{3+} menjadi Mg^{2+} , menghasilkan kelebihan muatan positif pada permukaan. Karena perubahan dalam kisi kristal itu sendiri menghasilkan muatan setimbang yang permanen sehingga tidak dapat dipengaruhi oleh faktor luar seperti pH (Uehara, 1981).
- 2) Mineral dengan muatan bergantung pH (-), (+) yang dihasilkan oleh protonasi atau deprotonasi dari gugus fungsional, misalnya pada lapis silikat atau kompleks sesquoksida, komponen kristal anorganik tanah, komponen anorganik semikristalin (amorf) dan bahan organik (www.soils1.cses.vt.edu)

2.2. Kimia struktur mineral lempung

Lempung secara khusus penting dalam kimia tanah, karena mempunyai kimia permukaan yang berbeda dari butir mineral yang berukuran lebih besar. Lempung juga menunjukkan sifat-sifat fisik limbak yang berbeda dari kerikil, pasir atau debu. Banyak diantara mineral dalam lempung tanah berstruktur kristalin, sedang yang lainnya dapat menunjukkan kekristalan yang kurang sempurna atau strukturnya tidak teratur. Beberapa dari lempung dapat bersifat amorf, contohnya gel-gel silika, alumina dan besi oksida. Keadaan amorf umumnya tidak mempunyai bentuk yang dapat dikenal atau susunan internal atom secara geometris. Lempung dianggap amorf jika tidak adanya keteraturan dalam susunan atom internal yang tercermin dari difraktogramnya yang tanpa bentuk terhadap analisis difraksi sinar X.

Silikat dibangun melingkari suatu tetrahedral silika dengan tiap atom oksigen menerima satu valensi dari atom silikon. Untuk memenuhi persyaratannya, atom oksigen dapat disambungkan ke kation lain atau ke atom silikon dari tetrahedral silika yang terdekat. Mineral lempung silikat dicirikan oleh struktur lembar. Sebagai kontras terhadap silikat lainnya, struktur lempung tidak berupa jaringan tiga dimensi dari rangkaian sederhana unit-unit Si-O, tetapi terbentuk dari lapisan yang bertumpuk dari lembar-lembar tetrahedral silika dan oktahedral aluminium (magnesium). Tetrahedral silika disusun dalam cincin heksagonal dan lembarnya dapat meluas tanpa batas dalam arah dua dimensi menurut kedua bidang a dan b, atau sejajar dengan bidang kertas yang merupakan penyebab bagi terbentuknya yang mirip lempeng (*plate*). Komposisi dari tiap cincin, atau unit terendah dari lembaran tersebut adalah:



Sumber : Tan, 1998.

Gambar 2.2 Unit Terendah Lembaran Tetrahedral Silikat

Dalam jaringan tetrahedral seperti itu, satu oksigen dalam tiap tetrahedral tetap tidak terimbangi secara listrik. Untuk memenuhi persyaratannya, oksigen dari tetrahedral tersebut dihubungkan dengan aluminium dalam koordinasi oktahedral. Melalui pengepakan lembar-lembar tetrahedral silika dan oktahedral Al semacam ini, terbentuklah struktur lempung yang berlapis (Tan, 1998).

2.3. Lempung Amorf (Alofan dan Imogolit)

Kemungkinan tipe lempung yang paling penting dalam kelompok amorf adalah alofan yang ditemukan pada tanah abu vulkanik. Nama alofan pertama kali dikenalkan oleh Stromeyer dan Hausman tahun 1861 untuk aluminosilikat hidrat yang ada di alam. Tanah yang mengandung abu vulkanik banyak dijumpai pada tanah andosol yang didominasi oleh silika amorf (alofan dan imogolit) atau kompleks bahan organik dengan aluminium, tergantung pada tersedianya bahan organik dan pH.

Tanah andosol mempunyai sifat:

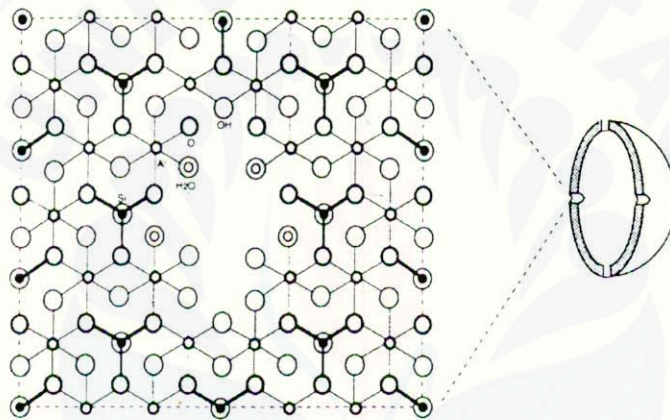
- 1) Sangat gembur, berminyak bila basah
- 2) Berat jenis rendah
- 3) Berinteraksi kuat dengan bahan organik
- 4) Retensi air dan fosfor tinggi
- 5) Hasil ekstraksi besar dengan oksalat, mempunyai pH NaF tinggi
- 6) Luas permukaan besar
- 7) Muatan bervariasi bergantung pH

Alofan terbentuk dengan:

- 1) Konsentrasi H^+ (hidronium) sedang sampai tinggi (asam)
- 2) Tanah lembab atau basah
- 3) Berasal dari pelapukan yang cepat dari abu vulkanik
- 4) Kadang juga berasal dari pelapukan yang cepat dari feldspar
(Hardjowigeno, 1993)

Pada pH relatif rendah (asam) menghambat polimerisasi aluminium hidroksida, sehingga terbentuk Al-silikahidrat. Jika pH cukup tinggi (basa) memungkinkan terjadinya polimerisasi Al-hidroksida, sehingga alofan dan imogolit terbentuk. Alofan mempunyai rumus umum $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$. Al dan Si diikat oleh atom O dan OH dalam lapisan tunggal. Al mempunyai koordinasi 6 dan membentuk lapisan oktahedral filosilikat (Buurman, 1998). Alofan terbentuk oleh lubang bola dengan diameter 4-5 nm dengan ketebalan dinding 0,7-1 nm. Alofan kaya Al

mempunyai rasio Al/Si sekitar 2, seperti struktur imogolit. Alofan kaya Si terdiri dari silikat terpolimerisasi dan mempunyai rasio Al/Si sekitar 1. Alofan deposit sungai mempunyai rasio Al/Si 0,9-1,8 dengan substitusi Al untuk beberapa Si dalam polimer tetrahedral. Alofan dan imogolit mempunyai luas permukaan spesifik yang besar yaitu (700-1500 m²/g) (www.webmineral.com). Alofan mempunyai sifat fisik yaitu kemampuan mengikat air tinggi (Darmawijaya, 1990), sangat gembur dan mempunyai struktur ketahanan yang tinggi, mempunyai porositas, permeabilitas, daya serap dan Kapasitas Tukar Kation tinggi (Munir, 1991).



Sumber : Buurman, 1998.

Gambar 2.3 Skema Struktur Alofan (kiri) dan Globula Mikropori Alofan (kanan)

Susunan atom pada bagian partikel alofan menunjukkan OH, Al, O, Si dan H₂O dari luar ke dalam permukaan, bagian terbuka adalah lubang dengan diameter 35 – 50 Å.

2.3.1 Sifat fisika kimia

Alofan mempunyai muatan bergantung pH. Bahan organik mempunyai muatan negatif yang berdisosiasi dengan gugus asam. Disosiasi tersebut meningkat dengan pH. Oleh karena itu KTK bahan organik meningkat dengan adanya pH. Silika amorf merupakan amfoter dan mempunyai nilai pH diatas Muatan Titik Nol (MTN) sehingga mempunyai muatan negatif dan dibawah MTN sehingga mempunyai

muatan positif dan dapat berfungsi sebagai Kapasitas Tukar Anion (KTA). Filosilikat mempunyai muatan permanen negatif. Kebanyakan andosol menunjukkan perbedaan muatan bergantung pH (Buurman, 1998).

Sumber muatan negatif:

- 1) Sumber utama muatan negatif pada mineral lempung adalah substitusi isomorf yang merubah muatan permanen pada permukaan lapisan silikat.
- 2) Ionisasi dengan gugus hidroksil pada permukaan koloid tanah dan bahan organik dapat menghasilkan muatan bergantung pH yang juga bergantung pada pH lingkungan tanah. Tidak seperti muatan permanen yang dibangun dengan substitusi isomorf, muatan bergantung pH dapat bervariasi dan meningkat dengan meningkatnya pH.
- 3) Adanya gugus patah OH pada tepi permukaan menghasilkan elektronegatifitas partikel lempung dan kapasitas untuk mengadsorpsi kation.
- 4) Kebanyakan tanah terdapat kombinasi muatan permanen dan muatan yang bervariasi (www.jan.ucc.nau.edu).

2.3.2 Tekstur dan agregat

Muatan tinggi dan koloid alami dari andosol sulit terdispersi sehingga penentuan distribusi ukuran partikel kurang berarti. Hal tersebut karena efek pengeringan yang menstabilkan agregat alofan sehingga tanah yang kering tampak mempunyai tekstur kasar (Buurman, 1998).

2.4. Pertukaran ion dalam tanah

Pertukaran ion terjadi karena:

- 1) Tanah dapat menjerap (mengadsorpsi) baik kation maupun anion
- 2) Adsorpsi merupakan reaksi yang reversibel
- 3) Pertukaran sangat cepat dengan adanya lempung
- 4) Pemanasan atau asam kuat mengurangi adsorpsi
- 5) Adsorpsi terbesar pada pH tinggi

Sedangkan pertukaran ion dalam tanah terdiri dari muatan negatif yang terbentuk oleh ion koloid tanah yang terserap pada permukaan koloid dalam tanah. Ion yang dapat teradsorpsi meliputi Ca^{2+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+ . Pada daerah lembab jumlah kation yang teradsorpsi paling besar adalah Al^{3+} , dan H^+ , sedangkan pada daerah kering didominasi oleh Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+ .

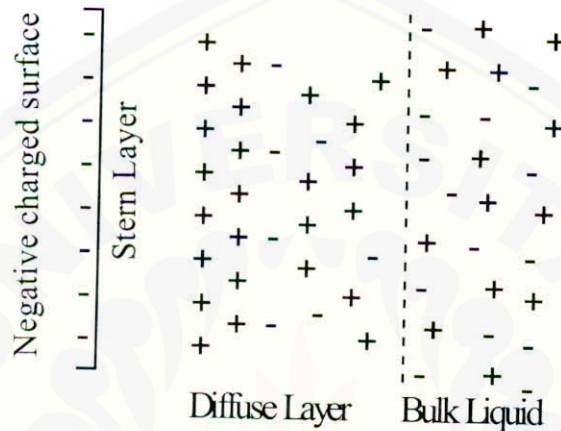
Karakteristik umum pertukaran ion yaitu:

- 1) Reversibel: pertukaran isoterm sehingga reaksi dapat balik
- 2) Pengendalian difusi: difusi molekuler dalam lingkungan larutan aqua
- 3) Stoikiometri: ion yang meninggalkan koloid permukaan ekuivalen muatannya dengan yang ditukar ke atom lain.
- 4) Selektifitas: berdasarkan pada Hukum Couloumb (muatan besar dan jarak hidrasi kecil) (www.soils1.cses.vt.edu)

2.4.1 Lapisan Rangkap Listrik

Akibat adanya muatan elektronegatif, lempung dalam suspensi dapat menarik kation. Ion-ion bermuatan positif tersebut tidak tersebar secara seragam dalam seluruh medium dispersi. Mereka ditahan pada atau dekat permukaan lempung. Sebagian kation tersebut bebas untuk dipertukarkan dengan kation lain. Dengan demikian muatan negatif pada permukaan lempung ditutupi oleh sekumpulan ekuivalen dari ion lawan yang bermuatan positif. Muatan negatif pada permukaan lempung beserta kumpulan ion lawan yang bermuatan positif disebut lapisan rangkap listrik. Lapisan pertama dari lapisan rangkap tersebut terbentuk dari muatan pada permukaan lempung sehingga secara teknis muatan tersebut berupa muatan titik yang terlokalisasi. Lapisan kedua berada dalam lapisan cair yang berdekatan dengan permukaan lempung. Ion lawan positif dalam daerah ini tertarik pada permukaan lempung, tetapi pada waktu bersamaan kedua muatan bebas untuk menyebar merata dalam keseluruhan fase larutan. Kedua proses tersebut akan mencapai suatu kesetimbangan (Tan, 1998).

Lapisan rangkap listrik digunakan untuk menjelaskan distribusi koion pada permukaan. Listrik merupakan modifikasi elektronetralitas yang dibutuhkan dan lapisan rangkap difusi merupakan muatan bergerak dalam larutan untuk menyeimbangkan antara panas dan gaya elektrostatik.



Sumber : Uehara, 1981.

Gambar 2.4 Lapisan Rangkap Listrik

Muatan negatif koloid dinetralkan oleh sebaran muatan positif dalam larutan dan ketebalan lapisan rangkap terhadap jarak dan konsentrasi larutan dipengaruhi oleh muatan koloid.

2.5 Muatan bergantung pH

Pada lapis silikat atau kompleks sesquioksida, lapisan Fe atau Al oksida dapat dilapisi oleh lapis silikat. Lapisan permukaan mempunyai muatan positif ($pK_a = 7-9$), peningkatan pH akan mengurangi muatan positif. Pada lempung amorf atau semikristalin atau oksihidroksida dari Si, Al dan Fe, hasil kristalisasi awal terdiri dari air hidrasi (hidrat oksida atau oksihidroksida), sehingga menghasilkan KTK yang signifikan. Pada silika orde rendah seperti pada alofan KTK merupakan faktor penting (www.soil11.cses.vt.edu).

Kapasitas Tukar Kation (KTK) adalah banyaknya kation (dalam miliekivalen) yang dapat dijerap oleh tanah per satuan berat tanah (100 gram). Kation yang ada dalam tanah seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , dan H^+ memungkinkan terjadinya pertukaran kation yang disebut dengan KTK. Sedangkan kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ dan Al^{3+} memungkinkan terjadinya KTK (Kapasitas Tukar Kation Efektif). Kation-kation yang telah dijerap oleh koloid tersebut sukar tercuci oleh air gravitasi, tetapi dapat diganti oleh kation lain yang terdapat dalam larutan tanah. Jenis-jenis kation yang telah disebutkan diatas merupakan kation-kation yang umum ditemukan dalam kompleks jerapan tanah. KTK dinyatakan dalam satuan kimia yaitu miliekivalen per 100 gram (me/100g). Satu ekivalen adalah suatu jumlah yang secara kimia setara dengan 1 g hidrogen. Jumlah atom dalam setiap satu ekivalen adalah $6,02 \cdot 10^{23}$, dengan demikian 1 miliekivalen adalah $6,02 \cdot 10^{23}$ atom hidrogen (Hardjowigeno, 1993).

2.6. pH tanah

Reaksi dalam tanah merupakan faktor yang mengendalikan sifat kimia dari logam dan beberapa proses reaksi penting dalam tanah. pH tanah menggunakan konsentrasi ion H^+ dalam larutan tanah, berada dalam kesetimbangan dinamis dengan muatan negatif permukaan lempung. Ion hidrogen cukup kuat menyerang muatan negatif permukaan lempung dan mempunyai kekuatan untuk ditukar dengan kation lain.

Lapisan difusi mendekati muatan negatif permukaan, oleh karena itu konsentrasi ion H^+ besar dibandingkan dengan larutan tanah. Ketika larutan tanah menyebar dalam lapisan difusi menyebabkan pH dari larutan tanah meningkat. Hal tersebut penting untuk pengukuran pH dalam laboratorium. Tanah mempunyai beberapa mekanisme yang melibatkan pH buffer pada kondisi yang berbeda, termasuk ion hidroksi aluminium, CO_2 , karbonat dan reaksi pertukaran kation. Umumnya kation logam berat bergerak dalam kondisi asam dan peningkatan pH oleh basa biasanya mengurangi kemampuannya (Alloway, 1995).

2.6.1 pH sampel dalam NaF

Digunakan untuk menentukan adanya mineral-mineral kisaran ordo pendek diantaranya alofan. Jika $\text{pH} > 9,40$ dalam 1 N NaF merupakan indikasi adanya gugus hidroksil Al(Fe) aktif yang dominan dalam tanah atau suatu metode yang berguna untuk mengidentifikasi muatan tidak tetap yang tinggi dalam tanah.

Reaksi kompleks pertukaran yang didominasi oleh mineral kisaran ordo pendek dengan NaF adalah:

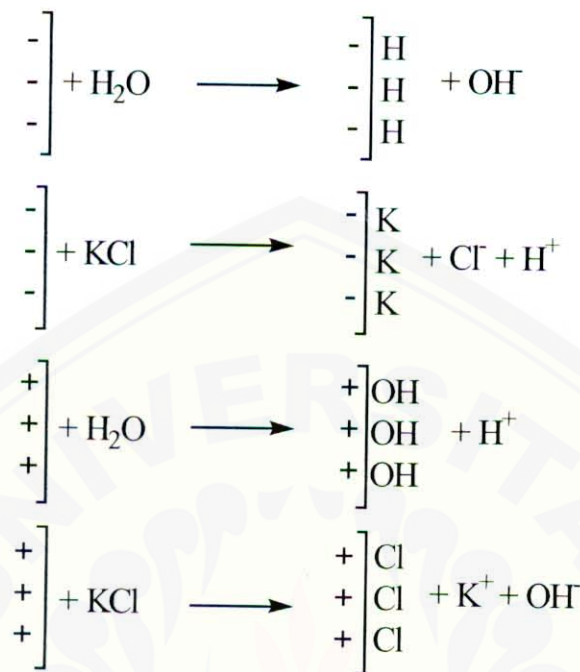


2.6.2 Penggunaan ΔpH dalam penetapan muatan negatif atau positif

Suatu metode yang relatif sederhana untuk menentukan apakah muatan netto dari koloid tanah negatif, nol atau positif adalah analisis pH tanah dalam KCl 1 N dan dalam air.

$$\begin{aligned} \Delta\text{pH} &= \text{pH H}_2\text{O} - \text{pH KCl} \\ &= \pm 0,5 \end{aligned}$$

Nilai untuk ΔpH tersebut dapat positif, nol atau negatif, tergantung pada muatan permukaan netto pada waktu pengambilan contoh dan analisis tanah. Suatu nilai positif untuk ΔpH menunjukkan dominasi koloid lempung bermuatan negatif. Sebaliknya nilai negatif berarti koloid lempung didominasi oleh muatan positif. MTN dicapai apabila $\Delta\text{pH} = 0$. Secara umum hal tersebut benar jika hanya KCl yang ada dalam sistem, karena KCl dianggap sebagai elektrolit netral (*indifferent*). Tetapi, jika ada anion lain yang mengalami jerapan spesifik, maka nilai MTN dapat bergeser ke daerah nilai pH yang lebih rendah dan akibatnya permukaan koloid bermuatan lebih negatif. Perbedaan nilai pH H₂O dan KCl menunjukkan adanya muatan tidak tetap dalam lempung.



Gambar 2.5 Perbedaan pH H₂O dan KCl pada Permukaan Lempung dengan Muatan Permukaan Negatif dan Positif

2.7. Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu logam penting untuk tumbuhan dan manusia. Tembaga berwarna kemerahan, berkilau, dapat ditempa, dapat dibengkokkan, dan penghantar panas dan listrik yang baik. Tembaga berasosiasi dengan bahan organik tanah, oksida besi dan oksida mangan, lempung silikat tanah, dan mineral lain. Tembaga utamanya diadsorp atau diikat dalam tanah menyebabkan satu dari unsur mikro lainnya bergerak. Konsentrasi tembaga yang besar pada horison permukaan tanah menunjukkan penambahan bahan buangan dari pabrik peleburan, pupuk, limbah industri dan limbah lainnya.

Berdasarkan PP No. 20 tahun 1990 tentang batas maksimum tembaga dalam perairan umum adalah:

- 1) Golongan A : 1.0 mg/l
- 2) Golongan B : 1,0 mg/l

3) Golongan C : 0,02 mg/l

4) Golongan D : 1,0 mg/l

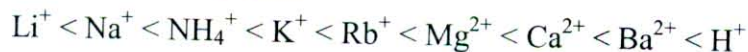
(www.lablink.or.id)

Tabel 2.1 Karakteristik Tembaga (Cu)

Kelompok dalam Tabel Periodik	Karakteristik Cu
Nomor Atom	29
Berat Atom	63,54
Struktur Elektronik	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$
Jari-jari Ion	0,72
Elektronegativitas	2
Interaksi dengan Ion A : Antagonis S : Sinergis	Cd(S,A), Al(A), Mn(A,S), Zn(A), Se(A), Cr(A), Fe(A), Ni(A,S)
Hasil Kali Kelarutan	$\text{Cu(OH)}_2 = 2,2 \times 10^{-20}$ $\text{CuCO}_3 = 1,4 \times 10^{-10}$ $\text{CuS} = 6,3 \times 10^{-36}$
Keberadaan di Litosfer	70 mg/kg
Wujud Valensi	Cu^{2+}
Keberadaan dalam Mineral	kalkopirit (CuFeS_2), kalkosit (Cu_2S) kuprit (Cu_2O), malasit [$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$]
Keberadaan dalam Tanah	2-100 mg/kg
Keberadaan dalam Air Laut	$< 8,0 \times 10^{-5}$ mg/L
Keberadaan dalam Air Bersih	0,01-2,8 mg/L
Spesi Kimia dalam Air	Cu(OH)_2 atau CuCO_3
Keberadaan dalam Tubuh Manusia	otot (10 mg/kg), tulang (1-26 mg/kg), darah (1,01 mg/L), ginjal (1,07-4,19 $\mu\text{g/g}$) urin (6,1-30,3 $\mu\text{g/L}$), kulit kepala (26,0 mg/kg)
Keberadaan dalam Hewan	2,4 mg/kg
Keberadaan dalam Tumbuhan	1-10 mg/kg

Sumber : Pais, 1999.

Kemampuan suatu ion untuk menukar ion lain bervariasi bergantung pada sifat ion tersebut di alam. Sebagai aturan, ion yang mempunyai valensi besar akan mempunyai kemampuan besar untuk menukar ion lain termasuk di dalam lempung. Untuk mengetahui apakah suatu ion akan mudah tertukar dengan ion lain dapat diketahui melalui Deret Liotrop yaitu :



Dari deret tersebut, maka semakin ke arah kanan adsorpsi semakin kuat (www.info.usda.gov/CED/ftp/CED/tr28-1.pdf).

2.7.1 Mekanisme adsorpsi logam berat

Tanah mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi ion logam dari larutan aqua dengan mekanisme yang berbeda yang melibatkan adsorpsi fisik dan kimia, pengendapan dan difusi fase padat. Transfer ion logam terjadi pada permukaan padat-cair yang terdiri dari koloid anorganik seperti lempung, logam oksida dan hidroksida, logam karbonat dan fosfat, bahan organik, mikroorganisme hidup (alga dan bakteri).

Faktor yang mempengaruhi pertukaran antara logam berat dalam larutan dan partikel tanah adalah tipe tanah, spesi logam, konsentrasi logam, pH tanah, sedangkan padatan: perbandingan massa larutan, interaksi ion dan waktu kontak. Diantara banyak faktor diatas yang paling berpengaruh adalah pH dengan retensi besar kelarutan kation logam rendah seperti yang terjadi pada tanah dengan pH tinggi.

2.7.2 Interaksi logam berat

Logam berat yang diikat dapat berupa ion bebas, ion yang dapat tertukar, kompleks organik atau anorganik dan dapat diendapkan oleh oksida besi, Al dan Mn. Diantara bentuk yang berbeda, logam yang larut dalam air lebih mudah bergerak. Logam tersebut merupakan ion bebas dan larut dalam kompleks organik dan anorganik. Banyak bentuk logam berat stabil yang bergabung dalam struktur kisi kristal dengan substitusi isomorfik. Bentuk logam berat yang tidak stabil dapat tertukar antara larutan tanah dan daerah yang dipengaruhi oleh muatan permukaan koloid atau lapisan rangkap difusi.

pH tanah memainkan peranan penting yang terbentuk oleh konsentrasi H^+ , yang kuat ditarik oleh muatan negatif tanah dan H^+ dapat menukar kation lain. Faktor yang mempengaruhi kekuatan menukar dari beberapa ion adalah valensi ion,

diameter hidrasi dan ion lain dalam larutan. Kebanyakan valensi yang besar menghasilkan derajat adsorpsi yang tinggi. Kekuatan kation yang identik dengan muatannya yang berikatan dengan permukaan partikel tanah berbanding terbalik dengan jari-jari hidrasinya (www.agrenv.mcgill.ca/agreng/theses.pdf).

2.7.3 Sifat kimia Cu dalam tanah

Total Cu dalam tanah melibatkan 6 kutub yang merupakan ion terlarut dan kompleks organik dan anorganik dalam larutan tanah. Cu dapat tertukar pada kompleks stabil organik pada humus diadsorp oleh kompleks hidrat Mn, Al, dan Fe, diadsorp pada kompleks koloid lempung-humus dan diikat oleh kisi kristal dalam mineral tanah. Pada permukaan tanah umumnya hanya 0,01-0,6 μM , karena itu afinitas Cu besar.

1). Kelarutan mineral Cu(II) dan Cu tanah

Untuk tanah yang terdiri dari sejumlah oksida Fe dan Al dengan luas permukaan spesifik yang besar Cu^{2+} dapat teradsorp secara kemisorpsi. Saat Cu^{2+} berada dalam koordinasi oktahedral pada lempung silikat beberapa Cu^{2+} hanya dapat berpindah dengan penghancuran lempung.

2). Adsorpsi Cu oleh tanah

Kebanyakan dalam tanah pertanian dengan pH diatas 5,50 Cu ada sebagai ion kompleks adsorpsi spesifik. Saat terjadi adsorpsi non spesifik dalam lapisan Guoy-Chapman atau pada bidang luar Helmholtz, dipisahkan dari permukaan padatan sekurang-kurangnya satu molekul air. Mineral asam menyebabkan pelarutan kembali lapis silikat yang berbeda dengan lapis oktahedral. Adsorpsi spesifik Cu melalui koordinasi oktahedral secara tidak langsung bergantung pada KTK lempung, tetapi lebih bergantung pada pH, oleh karena itu kejenuhan basa dari kompleks pertukaran dan kelimpahan koordinat ion oktahedral berada di permukaan (Alloway, 1995).

2.8. Spektroskopi serapan Atom (SSA)

Metode SSA berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat unsurnya. Transisi elektronik suatu unsur bersifat spesifik. Dengan absorpsi energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan tingkat energinya ke tingkat energi eksitasi. Spektrum atomik untuk masing-masing unsur terdiri dari garis-garis resonansi. Garis lain yang bukan garis resonansi dapat berupa spektrum yang berasosiasi dengan tingkat energi molekul, biasanya berupa pita-pita lebar ataupun garis tidak berasal dari eksitasi tingkat dasar yang disebabkan proses atomisasinya.

Keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat. Logam-logam yang mudah diuapkan seperti Cu, Pb, Zn, Cd umumnya ditentukan pada suhu rendah, sedangkan untuk unsur yang tidak mudah menguap diperlukan suhu tinggi. Suhu tinggi dapat dicapai dengan menggunakan suatu oksidator bersama dengan gas pembakar.

Ditinjau dari hubungan antara konsentrasi dan absorbansinya, maka Hukum Lambert-Beer dapat digunakan jika sumbernya adalah monokromatis. Pada SSA, panjang gelombang adsorpsi resonansi identik dengan garis-garis emisi disebabkan keserasian transisinya. Untuk bekerja pada panjang gelombang ini diperlukan suatu monokromator celah yang menghasilkan lebar puncak sekitar 0,002–0,005 nm. Pada teknik SSA diperlukan sumber radiasi yang mengemisikan sinar pada panjang gelombang yang tepat sama pada proses adsorpsinya. Dengan cara ini efek pelebaran puncak dapat dihindarkan. Sumber radiasi tersebut dikenal sebagai lampu *hollow cathode*.

Kondisi untuk analisis Cu dengan SSA :

- 1). Panjang gelombang (λ ,nm) = 324,7 nm
- 2). Tipe nyala = udara – asetilena
- 3). Sensitivitas ($\mu\text{g/ml}$) = 0,04
- 4). Range kerja ($\mu\text{g/ml}$) = 2-8

5). Batas deteksi ($\mu\text{g/ml}$) = 0,002

Analisis logam dengan SSA dilakukan dalam nyala sebagai media untuk melakukan deatomisasi unsur-unsur logam dalam senyawa. Cuplikan dalam wujud cairan (larutan) dihisap dengan menggunakan pipa kapiler ke dalam ruang pengkabutan (*spray chamber*). Di dalam ruang sebagian larutan diubah menjadi kabut halus yang diteruskan ke dalam nyala. Kabut halus yang masuk ke dalam nyala selanjutnya mengalami proses berikut :

Penguapan pelarut, sehingga terjadi partikel-partikel garam padat halus



Partikel garam padat halus pada suhu tinggi mengalami sublimasi, sehingga partikel berwujud gas



Partikel garam dalam wujud gas selanjutnya mengalami atomisasi sehingga didapatkan atom-atom netral



(Khopkar, 2002).



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Jember, mulai 24 Januari sampai dengan 30 April 2007.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan yang digunakan :

Sampel tanah andosol asal Batu; aquadest; KCl 1 N; NH_4OAc pH 7.00, larutan standar Cu^{2+} dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; alkohol 99%; NaOH 4%; H_3BO_3 2%; indikator campuran dari Brom Kresol Hijau dan Metil Merah; NaOH 0.1 N; NaOH 0.25 M; NaOH 0.50 M; NaOH 0.75 M; NaOH 1 M; H_2SO_4 0,1 N; NaF 4%; NaF 1 N; HCl 0,1 N.

3.2.2 Alat yang digunakan :

Botol gojok plastik 50 ml; pipet Mohr 10 ml; gelas piala 50 ml, 100ml, dan 400 ml; labu alas bulat; labu ukur 100ml, 250 ml, 1000ml; erlenmeyer 250 ml; kertas saring; neraca analitis O-Hauss; pH meter Jenway 3220; Sentrifuge Sigma 2-4; SSA Ferkin Elmer 3110; dan set alat destilasi.

3.3 Rancangan Penelitian

3.3.1 Dilakukan melalui tahap-tahap sebagai berikut:

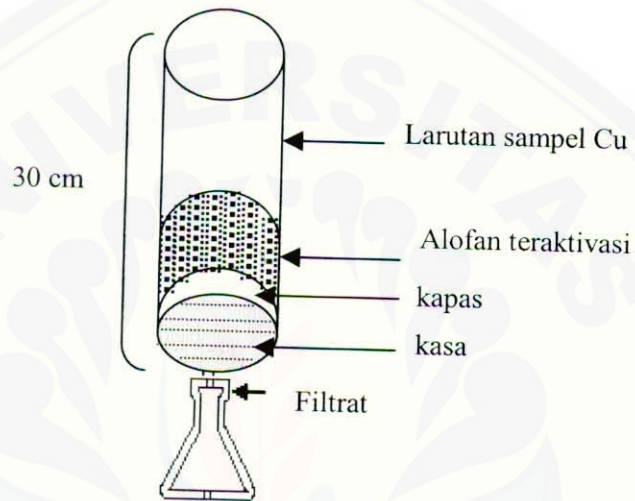
1. Penelitian terlebih dahulu dilakukan melalui penentuan alofan sebagai mineral *variable charge* atau penentuan keberadaan alofan, meliputi:
 - a. Pengukuran pH sampel dengan larutan NaF 1 N, untuk mengetahui apakah dalam sampel tanah andosol terdapat alofan atau tidak.
 - b. Pengukuran pH sampel dengan H₂O dan pH KCl, untuk mengetahui selisih dari nilai tersebut yang menunjukkan adanya muatan bervariasi bergantung pH.
2. Penentuan sifat kimia dan sifat fisika alofan, meliputi:
 - a. Pengukuran Kapasitas Tukar Kation dengan penjenjuh Amonium Asetat pH 7.00, untuk mengetahui seberapa besar kation-kation dapat ditukar.
 - b. Pengukuran kadar % karbon organik dan kadar NPK, untuk mengetahui seberapa besar kandungan bahan organik dalam sampel tanah andosol.
 - c. Pengukuran kadar tembaga (Cu) dalam sampel tanah andosol sebelum aktivasi.
 - d. Penentuan sifat fisika dilihat dari struktur dan tekstur sampel tanah andosol.
3. Aktivasi sampel tanah andosol dengan NaOH

Penelitian dilakukan dengan bahan tanah andosol yang diaktivasi dengan NaOH dengan konsentrasi 0.25 M, 0.50 M, dan 0.75 M dengan mengukur perubahan pH setiap hari sampai hari ke-7 untuk mendapatkan pH 7.00, 8.00, dan 9.00 sampai diperoleh sampel tanah andosol yang mempunyai pH stabil.

4. Pengukuran Cu yang teradsorp setelah melewati alofan yang sudah diaktivasi
250 gram alofan yang telah diaktivasi dengan NaOH yang mempunyai pH bermuatan negatif diletakkan dalam kolom dengan bagian bawah kolom diberi kapas untuk mencegah tanah lolos. Konsentrasi larutan sampel Cu yaitu 80 ppm, 90 ppm, 100 ppm, 110 ppm, 120 ppm, dan 130 ppm dilewatkan dalam kolom, dengan tiap konsentrasi larutan 3 kali pengukuran. Filtrat yang diperoleh setelah Cu dapat

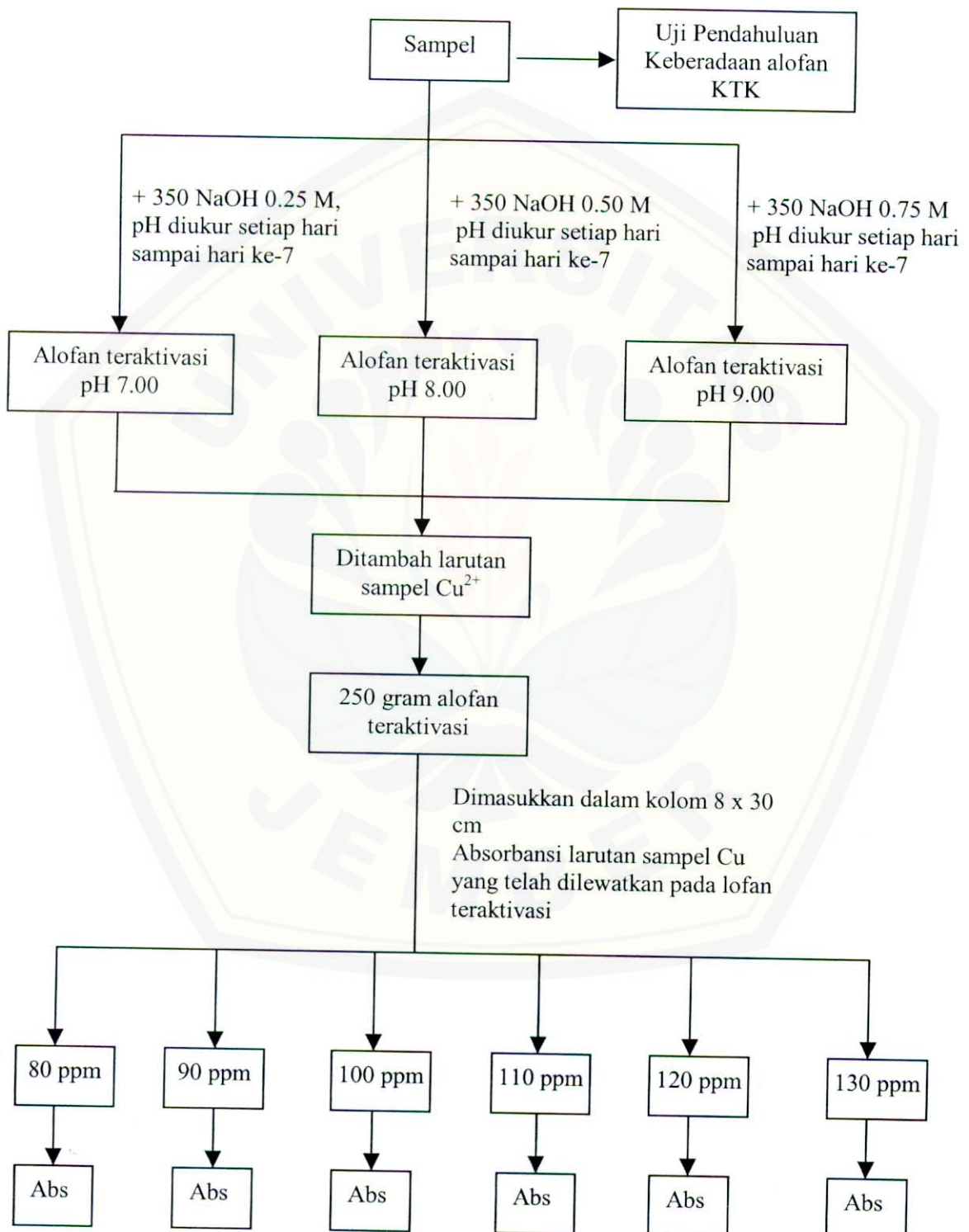
teradsorp oleh alofan diukur konsentrasinya dengan SSA. Dari berbagai konsentrasi larutan sampel Cu, dapat diamati seberapa besar kapasitas alofan untuk mengurangi kadar Cu dalam sampel air. Sehingga diperoleh hasil pengukuran kadar Cu akhir setelah dilewatkan pada alofan teraktivasi, pada pH berapakah Cu mempunyai kapasitas pertukaran terbaik dengan alofan.

Kolom yang digunakan sebagai berikut :

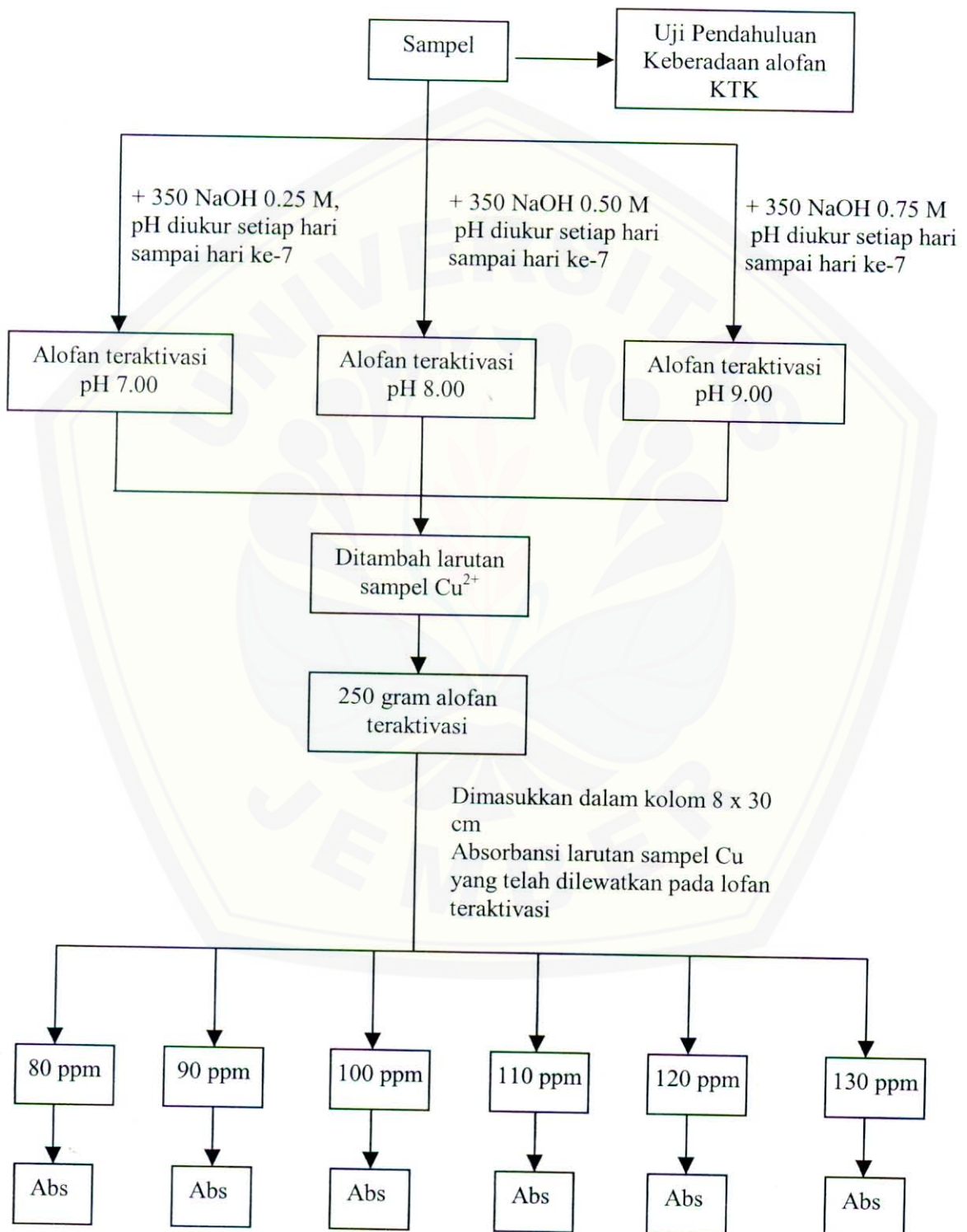


Gambar 3.1 Desain Kolom

3.3.2 Diagram Alir Penelitian



3.3.2 Diagram Alir Penelitian



3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan pengukuran selisih pH aquadest dan pH KCl untuk mengetahui sampel tanah andosol bermuatan negatif atau tidak. Selanjutnya pengukuran pH sampel tanah andosol dengan larutan NaOH 0.25 M; 0.50 M; dan 0.75 M yang pHnya diukur setiap hari sampai sampel diperoleh tanah andosol yang mempunyai pH 7.00, 8.00, dan 9.00. Sifat kimia tanah andosol dapat diketahui dari pengukuran KTK, Nitrogen Total, P Tersedia, Kalium, % Karbon Organik, dan kadar Cu yang ada dalam tanah andosol sebelum aktivasi. Sifat fisika tanah andosol dapat diketahui dari struktur dan teksturnya. Pada pertukaran kation, diperlukan variasi konsentrasi larutan sampel Cu yang berpengaruh pada daya adsorpsi alofan. Untuk mengetahui kapasitas alofan, dihitung jumlah konsentrasi Cu teradsorp dibagi dengan jumlah alofan yang dipakai untuk sekali proses.

$$\text{Kapasitas Cu teradsorp oleh alofan} = \frac{\text{Jumlah konsentrasi Cu teradsorp}}{\text{Jumlah alofan yang dipakai}}$$

Untuk mengetahui *Removal Efficiency* daya jerap alofan dihitung selisih konsentrasi Cu sebelum teradsorp dan sesudah diadsorp dibagi konsentrasi Cu awal dikali 100%.

$$\text{Removal Efficiency Cu oleh alofan} = \frac{\text{Cawal} - \text{Cakhir}}{\text{Cawal}} \times 100\%$$

Keterangan:

C awal: konsentrasi Cu yang diberikan (80-130 ppm)

C akhir: konsentrasi Cu setelah melewati alofan teraktivasi

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi Cu yang terjerap oleh alofan dibuat grafik yang mengalurkan antara konsentrasi Cu yang diberikan dan konsentrasi Cu yang teradsorp dengan tiap variasi pH.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil aktivasi alofan dengan variasi pH dapat mengurangi Cu, pada 7.00 mempunyai kapasitas adsorpsi dan *removal efficiency* yang lebih baik dibandingkan dengan pH 8.00 dan pH 9.00, pada pH 9.00 mempunyai kapasitas tukar kation yang lebih baik dan merupakan adsorpsi yang paling logis (sesuai teori) dibandingkan dengan pH 7.00 dan pH 8.00.
2. Hasil optimalisasi alofan dengan basa (NaOH), untuk mendapatkan pH 7.00 diperlukan NaOH 0.25 M, untuk mendapatkan pH 8.00 diperlukan NaOH 0.5 M, dan untuk mendapatkan pH 9.00 diperlukan NaOH 0.75M, sehingga dapat dilihat perubahan muatan negatif dengan adanya perubahan pH.
3. Waktu yang diperlukan untuk mencapai stabilitas pH 7.00, 8.00, dan 9.00 berbeda.
4. Peningkatan pH menyebabkan peningkatan muatan negatif dan KTK alofan. KTK pada pH 7.00 adalah 42.87 me/100g, pada pH 8.00 adalah 86.8 me/100 g, dan pada pH 9.00 adalah 130.3 me/100 g.
5. Perbandingan Na^+ tertukar dengan Cu^{2+} yang tertukar pada pH 7.00 adalah 51: 1, pada pH 8.00 adalah 14 : 1, dan pada pH 9.00 adalah 4 : 1.

5.2 Saran

1. Alofan dapat dipertimbangkan sebagai bahan alternatif untuk mengurangi bahaya Cu dengan proses batch (menggenang), karena waktu kontak yang lama menyebabkan kesetimbangan reaksinya baik.
2. Perlu adanya pengukuran kation-kation lain yang berada dalam filtrat selain Cu^{2+} dan Na^+ .
3. Perlu adanya pengujian alofan untuk pertukaran anion.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. UK: Chapman & Hall.
- Bradshaw, A.D.; Sir Richard Southwood and Sir Frederick Warner. 1992. *The Treatment and Handling of Wastes*. London: Chapman & Hall.
- Buckman, H.O & Brady, N.C. 1991. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Bharatara Karya Aksara.
- Buurman, P. & Breemen, N.V. 1998. *Soil Formation*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Cooper, T.H. 2006. Cation Exchange and Cation Exchange Capacity. Minnesota: University of Minnesota.
www.soils.agri.umn.edu/academics/classes/soil2125/doc/s11chp2.htm
- Darmawijaya, I. 1997. *Klasifikasi Tanah*. Yogyakarta: UGM Press.
- Eick, M.J. & Bulgholzer, R.W. 2005. Department of Crop and Soil Environmental Science. Virginia: Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. www.soils1.cses.vt.edu/MJE/VR_exports/intro.shtml.
- Hardjowigeno, S. 1993. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Edisi Pertama. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Holeman, J.N. 1970. Clay Minerals. Department of Agriculture, Engineering Division. Washington. www.info.usda.gov/CED/ftp/CED/tr28-1.pdf
- Irawan. T.B. 1999. *Sifat dan Ciri pada Andisol untuk Pengelolaan Pertanian di Jawa Timur*. Jember: Lembaga Penelitian Universitas Jember.
- Jan.ucc. Clay Minerals. Chapter 5:158-168.
<http://jan.ucc.nau.edu/doetqp/courses/env320/lec13/lec13.html>.

- Khopkar, S.M. 2002. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.
- Krzic, M. 2004. Introduction to Soil Science. Faculty of Land and Food Systems. University British of Columbia.
www.landfood.ubc.ca/soils200/components/mineral.htm
- Munir. 1991. *Tanah-tanah Utama Indonesia*. Jakarta: Penerbit Pustaka Jaya.
- Pais, I & Jones, J.B. 1997. *The Handbook of Trace Element*. Boca Raton Florida: St Lucie Press
- Pendias, A.K. 2001. *Trace Element in Soils and Plants*. Third Edition. Florida: CRC Press.
- Soleh Kaoser. 2003. *Concept of Mobility ad Compatibility with Lead and Cadmium in Landfill Liners*. Canada: Department of Bio Resource Engineering MacDonald Campus of McGill University Montreal Canada.
- Sutedjo, M.M.; Kartasapoetra, A.G. 1991. *Pengantar Ilmu Tanah*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suyono. 1994. *Penuntun Praktikum Fisika dan Kimia Tanah*. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember.
- Tan, K.H. 1998. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Yogyakarta: UGM Press.
- Tan, K.H.. 2000. *Environmental Soils Science. Second Edition: Revised and Expanded*. New York: Marcell Dekker Inc.
- Theng, B.K.G. 1980. *Soils with Variable Charge*. New Zealand: Offset Publication Palmerston North.
- Uehara, G ; Gillman, G. 1981. *The Mineralogy, Chemistry, and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays*. Colorado: Westview Press.
- Wardana, W.A. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset

———. 2006. *Standar Kualitas Air Perairan Umum*. PP No. 20 Tahun 1990.
www.lablink.or.id/Env/Hidro/air-qua.htm

www.menlh.go.id/usaha-kecil/index-view.php?

www.webmineral.com/data/allophane.shtml.



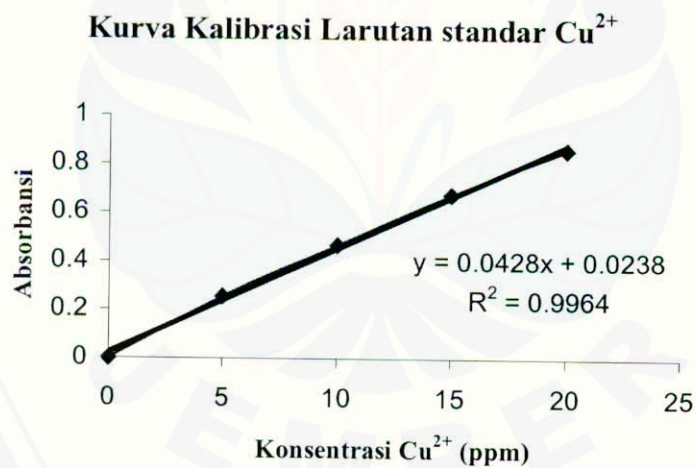
LAMPIRAN

A. Data Penelitian

A.1 Data Absorbansi Larutan Standar Cu^{2+}

Konsentrasi (ppm)	Ulangan			Rata-rata
	1	2	3	
0	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.250	0.256	0.259	0.255
10	0.469	0.466	0.470	0.468
15	0.672	0.676	0.676	0.675
20	0.865	0.858	0.854	0.859

Persamaan :



A.2 Data Absorbansi Filtrat Ion Cu^{2+} Setelah Proses Adsorpsi oleh Alofan

pH	[Cu ²⁺]	Absorbansi Cu ²⁺			Rata-rata	[Cu ²⁺]	[Cu ²⁺]
	awal (ppm)	1	2	3		teradsorp (ppm)	sisanya (ppm)
7.00	80	0.113	0.119	0.118	0.116	77.85	2.154
	90	0.174	0.173	0.172	0.173	86.52	3.486
	100	0.333	0.335	0.344	0.337	92.68	7.317
	110	0.121	0.119	0.118	0.119	107.77	2.230
	120	0.117	0.117	0.115	0.116	117.85	2.154
	130	0.788	0.789	0.787	0.788	112.15	17.85
8.00	80	0.330	0.334	0.335	0.335	72.73	7.270
	90	0.671	0.691	0.677	0.679	74.69	15.31
	100	0.313	0.318	0.311	0.314	93.22	6.780
	110	0.392	0.403	0.408	0.401	101.18	8.820
	120	0.454	0.451	0.457	0.454	109.95	10.05
	130	0.542	0.538	0.545	0.542	108.89	21.11
9.00	80	0.412	0.420	0.424	0.418	71.16	8.840
	90	0.602	0.614	0.621	0.612	76.26	13.74
	100	0.719	0.706	0.714	0.713	83.90	16.10
	110	0.912	0.926	0.946	0.928	88.87	21.13
	120	0.951	0.963	0.964	0.959	98.15	21.85
	130	1.288	1.281	1.285	1.285	100.53	29.47

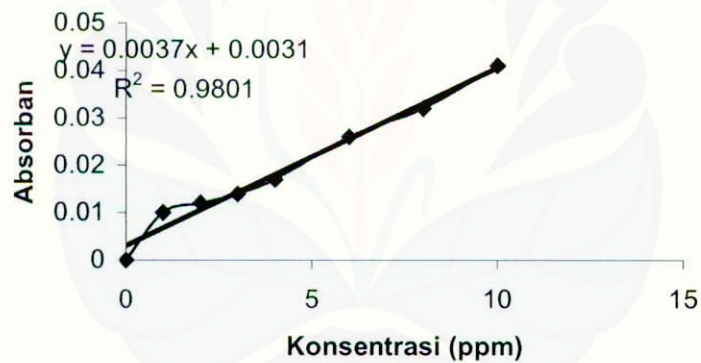
A.3 Data Kapasitas Alofan untuk Mengadsorp Cu

pH	[Cu ²⁺] awal (ppm)	Volume awal		Massa ion Cu ²⁺ awal (mg)	Volume sisa Cu ²⁺ (mL)	Massa ion Cu ²⁺ sisa (mg)	Massa ion Cu Terasorp (mg)	Berat alofan (gram)	Jumlah ion Cu ²⁺ Terasorpsi (mg)/250g alofan	Jumlah ion Cu ²⁺ Terasorpsi (mg)/100g alofan
		Cu ²⁺ (mL)	awal (mg)							
7.00	80	250	20	220	0.473	19.527	250	0.153	0.061	
	90	250	22.5	220	0.766	21.734	250	0.170	0.068	
	100	250	25	220	1.609	23.391	250	0.185	0.074	
	110	250	27.5	220	0.491	27.009	250	0.213	0.085	
	120	250	30	220	0.473	29.527	250	0.233	0.093	
	130	250	32.5	220	3.927	28.573	250	0.223	0.089	
8.00	80	250	20	230	1.776	18.824	250	0.148	0.059	
	90	250	22.5	230	3.521	18.979	250	0.148	0.059	
	100	250	25	230	1.559	23.441	250	0.185	0.074	
	110	250	27.5	230	2.028	25.472	250	0.200	0.080	
	120	250	30	230	2.311	27.689	250	0.218	0.087	
	130	250	32.5	230	4.855	29.645	250	0.218	0.087	
9.00	80	250	20	220	1.944	18.056	250	0.143	0.057	
	90	250	22.5	220	3.023	19.477	250	0.153	0.061	
	100	250	25	220	3.452	21.458	250	0.168	0.067	
	110	250	27.5	220	4.648	22.852	250	0.180	0.072	
	120	250	30	220	4.807	25.193	250	0.198	0.079	
	130	250	32.5	220	6.483	26.017	250	0.205	0.082	

A.4 Data Absorbansi Larutan Standar Na, pH Filtrat dan Absorbansi Na Filtrat

Konsentrasi (ppm)	Absorban			Rata-rata
	1	2	3	
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.010	0.010	0.010	0.010
2	0.012	0.012	0.012	0.012
3	0.014	0.014	0.014	0.014
4	0.017	0.018	0.018	0.017
6	0.026	0.026	0.026	0.026
8	0.031	0.032	0.032	0.032
10	0.041	0.041	0.042	0.041

Kurva Kalibrasi Larutan Standar Na

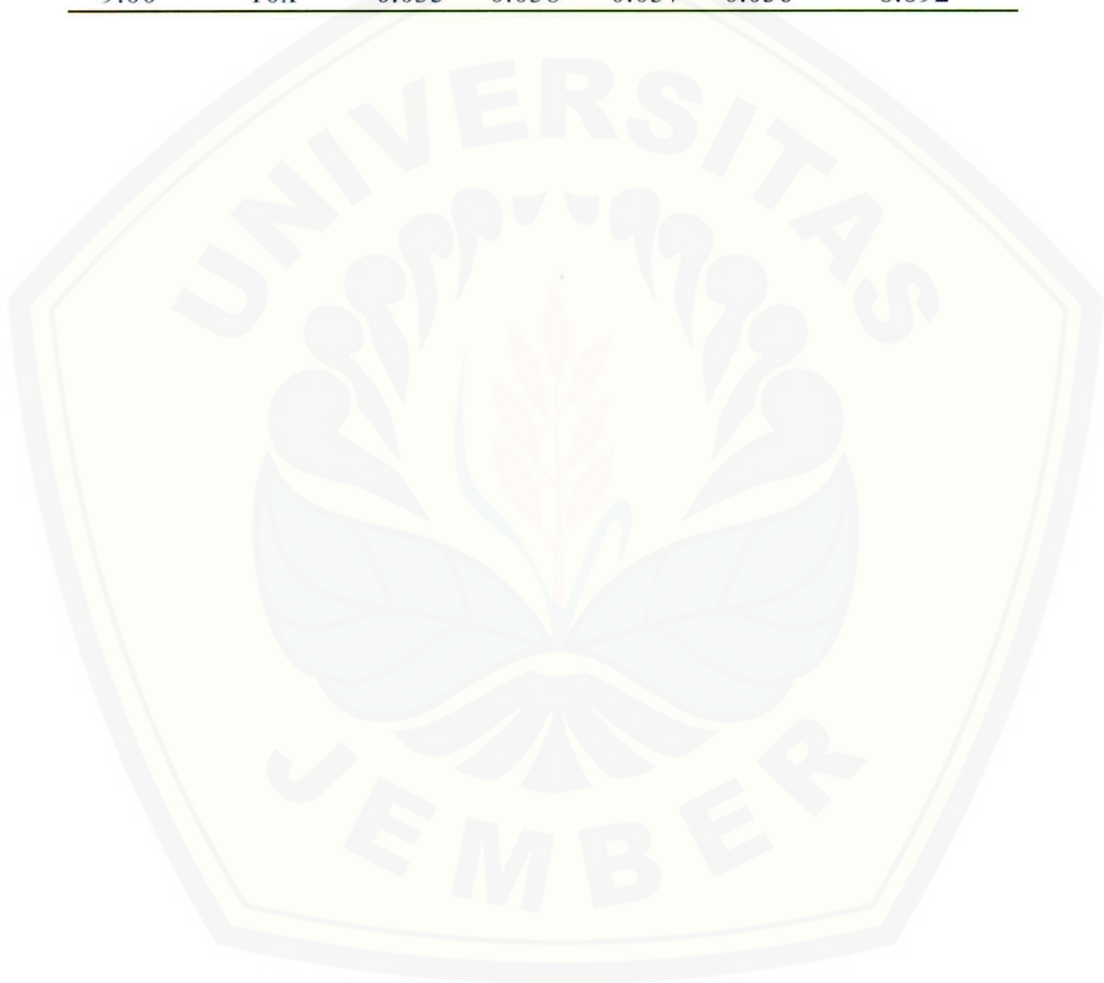


pH Larutan Standar Cu^{2+} 80 ppm = 5.30

pH	pH Filtrat
7.00	6.10
	6.30
8.00	5.67
	5.88
9.00	7.29
	7.32

A.5 Data Konsentrasi Na^+ dalam Filtrat

pH	Pengenceran	Absorban			Rata-rata	Konsentrasi Na^+ (ppm)
		1	2	3		
7.00	20x	0.027	0.027	0.034	0.029	7.000
8.00	5x	0.029	0.029	0.029	0.029	7.000
9.00	10x	0.035	0.038	0.037	0.036	8.892



A.6 Data Kapasitas Na^+ Tertukar pada pH 7.00, 8.00, dan 9.00; Konsentrasi Larutan Sampel Cu^{2+} 80 ppm

pH	$[\text{Na}^+]$ (ppm)	Pengenceran	$[\text{Na}^+]$ sebenarnya (ppm)	Berat Alofan (gram)	Kapasitas Na^+ Tertukar (me/100g)	Kapasitas Na^+ Tertukar (me/250g)
7.00	7	20x	140	250	0.608	1.522
8.00	7	5x	35	250	0.152	0.380
9.00	8.892	10x	88.92	250	0.386	0.966

A.7 Data Kapasitas Cu^{2+} Tertukar pada pH 7.00, 8.00, dan 9.00.

pH	$[\text{Cu}^{2+}]$ Awal (ppm)	$[\text{Cu}^{2+}]$ Filtrat (Tertukar)	Kapasitas Cu^{2+} Tertukar (me/100g)	Kapasitas Cu^{2+} Tertukar (me/250g)
7.00	80	2.154	$6.779 \cdot 10^{-3}$	0.016
	90	3.486	0.011	0.027
	100	7.317	0.023	0.057
	110	2.230	$7.019 \cdot 10^{-3}$	0.017
	120	2.154	$6.779 \cdot 10^{-3}$	0.016
	130	17.85	0.056	0.140
8.00	80	7.270	0.023	0.057
	90	15.31	0.048	0.12
	100	6.780	0.021	0.053
	110	8.820	0.027	0.067
	120	10.05	0.031	0.077
	130	21.11	0.066	0.165
9.00	80	8.840	0.028	0.070
	90	13.74	0.043	0.107
	100	16.10	0.051	0.127
	110	21.13	0.066	0.165
	120	21.85	0.068	0.170
	130	29.47	0.092	0.230

A.8 Tingkat *Removal Efficiency* Alofan

pH	[Cu ²⁺] Awal (ppm)	[Cu ²⁺] Teradsorp(ppm)	% <i>Removal Efficiency</i>
7.00	80	77.85	97.31
	90	86.52	96.13
	100	92.68	92.68
	110	107.77	97.97
	120	117.85	98.21
	130	112.15	86.27
8.00	80	72.73	90.91
	90	74.69	82.98
	100	93.22	93.22
	110	101.18	91.98
	120	109.95	91.63
	130	108.89	83.76
9.00	80	71.16	88.95
	90	76.26	84.73
	100	83.90	83.90
	110	88.87	80.79
	120	98.15	81.79
	130	100.53	77.33

B. Preparasi Sampel dan Larutan

B.1 Preparasi Sampel

Sampel Tanah

Contoh tanah andosol dipisahkan dan bebas dari akar tanaman dan berukuran < 2 mm. Sebelum dilakukan analisis, contoh tanah telah dalam kondisi kering udara. Tanah yang diambil sedikit atau belum tererosi dan belum diolah manusia.

B.2 Preparasi Larutan

Preparasi Larutan

1). KCl 1 N

7,456 gram KCl dimasukkan dalam labu ukur 100 ml dan ditambah aquadest sampai tanda batas

2). Amonium asetat pH 7.00

78 gram asam asetat dilarutkan dalam 1000 ml aquadest. Kontrol pelarutan dengan cara menambah NH_4OH untuk mencapai pH 7.00 kemudian ditambah aquadest sampai volume 2000 ml.

3). NaOH 0,1 N

0,4 gram NaOH dilarutkan dalam 100 ml aquadest

4). NaOH 1 N

4 gram NaOH dilarutkan dalam 100 ml aquadest

5). Larutan HCl 0,1 N

3,65 gram dilarutkan dalam 1000 ml aquadest

6). Larutan baku 0,1 H_2SO_4

7). Larutan H_3BO_3 2%

2 gram asam borat dilarutkan dalam 100 ml aquadest

8). NaF 4%

4 gram NaF dimasukkan dalam labu ukur 100 ml dan ditambah aquadest sampai tanda batas

9). Indikator campuran

0,099 gram BCG ditambah 0,066 gram MM dimasukkan dalam 100 ml etanol dan ditambah 0,5 N NaOH berangsur-angsur sampai warna larutan menjadi ungu tua

C. Prosedur Pengukuran Sampel

1. Pengukuran pH sampel dengan larutan NaF 1N

1 gram sampel tanah andisol dimasukkan dalam botol plastik, ditambah dengan 50 ml NaF 1 N, kemudian pH diukur. Jika $\text{pH} > 9,40$ maka menunjukkan adanya alofan dalam sampel tanah andisol.

2. Pengukuran pH sampel dengan H_2O

5 gram sampel tanah lolos saring 2 mm dimasukkan dalam botol plastik, ditambah dengan 12,5 ml aquadest dan disentrifugasi selama 1 jam, kemudian pH diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan penyangga pH 4.00 dan pH 7.00

3. Pengukuran pH sampel dengan larutan KCl 1N

5 gram sampel tanah lolos saring 2 mm dimasukkan dalam botol plastik, ditambah dengan 5 ml KCl dan disentrifugasi selama 1 jam, kemudian pH diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan penyangga pH 4.00 dan pH 7.00.

4. Kapasitas Tukar Kation dengan penjenh Amonium Asetat pH 7.00.

Sampel tanah dicuci dengan 1 N amonium asetat berlebih untuk mengeluarkan kation-kation dapat ditukar dan menjenuhi tapak jerapan dengan amonium setelah menghilangkan kelebihan asam asetat dalam sampel tanah, maka amonium dapat ditukar dapat ditetapkan dengan cara destilasi dan titrasi.

Lima gram sampel tanah kering udara, dimasukkan dalam botol gojok 250 ml, ditambah dengan amonium asetat sampai jenuh dan diaduk dengan spatula hingga membentuk larutan tanah dan dibiarkan semalam. Secara kuantitatif larutan tanah disaring hingga diperoleh filtrat dan tanah kering, kemudian ditambah 20 ml Amonium Asetat dan disentrifugasi selama 15 menit dan proses diulang empat kali sehingga diperoleh filtrat

dan sisa tanah. Sisa tanah tersebut ditambah 20 ml alkohol kemudian disentrifugasi selama 15 menit dan proses diulang empat kali sehingga diperoleh filtrat dan sisa tanah. Sisa tanah ditambah 20 ml Kalium klorida sampai jenuh dan disaring, proses diulang empat kali sehingga diperoleh filtrat dan sisa tanah. Jumlah keseluruhan filtrat dimasukkan dalam labu Kjedahl dan dibilas dengan aquadest, ditambah dengan 20 ml NaOH 4% kemudian didestilasi. Hasil destilasi ditampung dengan erlemeyer 200 ml yang telah diberi 20 ml asam borat 2% dan 3 tetes indikator campuran. Destilat dititrasi dengan larutan baku 0,1 N H₂SO₄ sampai larutan hijau kebiruan berubah menjadi pink.

$$\text{KTK (me/100 gram tanah)} = \frac{(S - B) \times N \times 100}{W}$$

Dimana :

KTK : Kapasitas Tukar Kation

S : volume H₂SO₄ dalam titrasi contoh tanah

B : volume H₂SO₄ dalam titrasi blanko

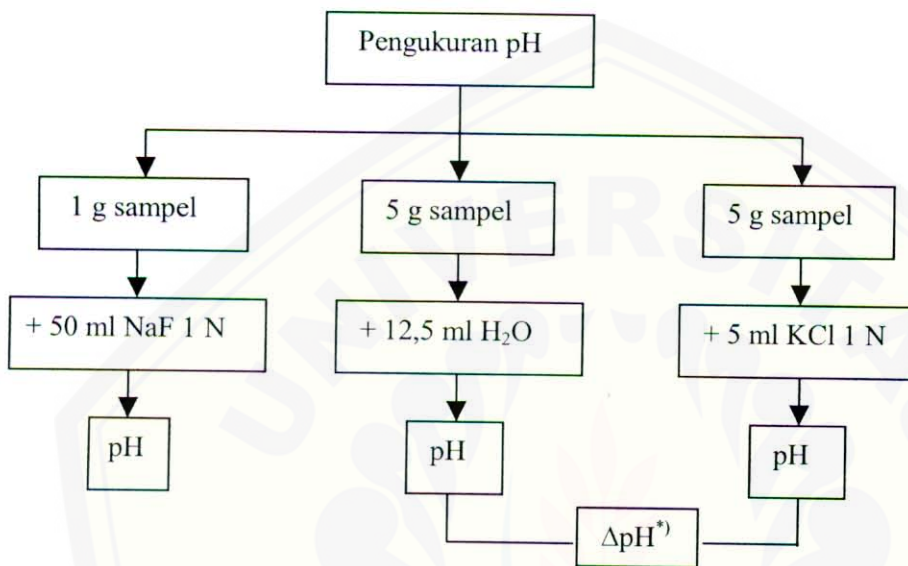
N : normalitas H₂SO₄

W : berat sampel tanah kering

(Suyono, 1994).

D. Diagram Alir Analisis Pendahuluan

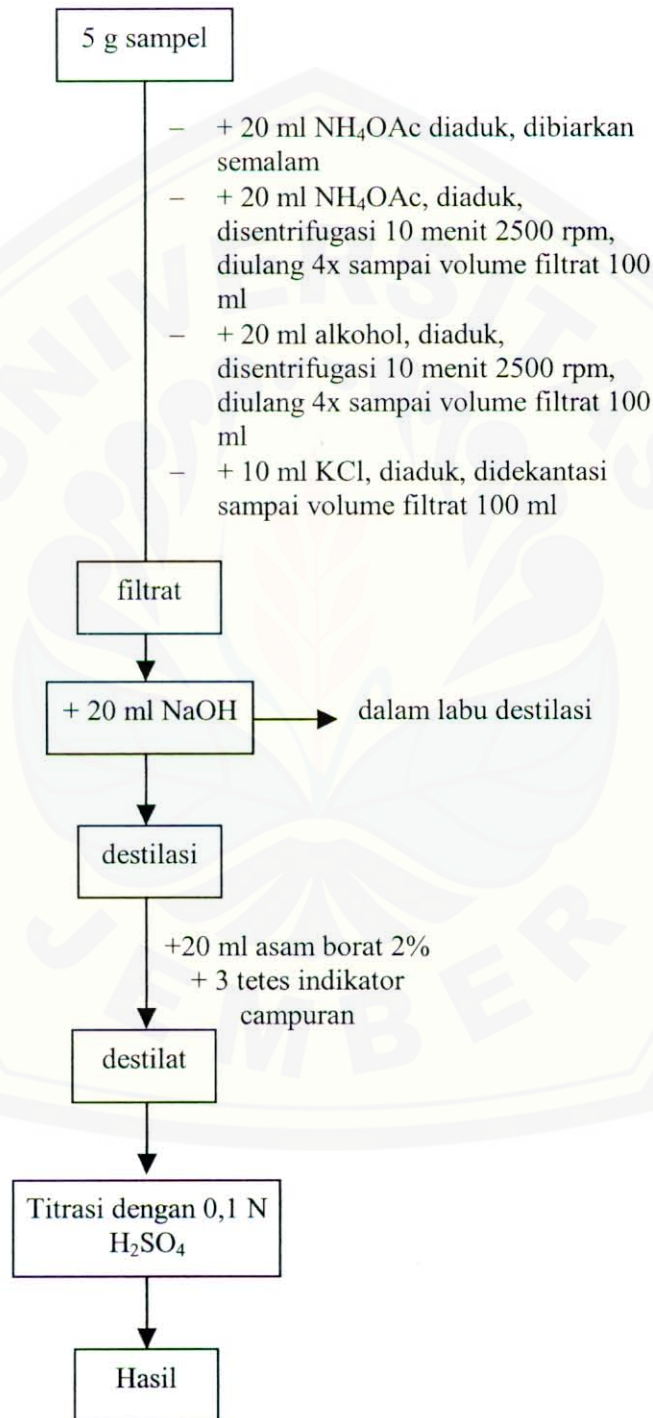
D.1 Prosedur Pengukuran pH



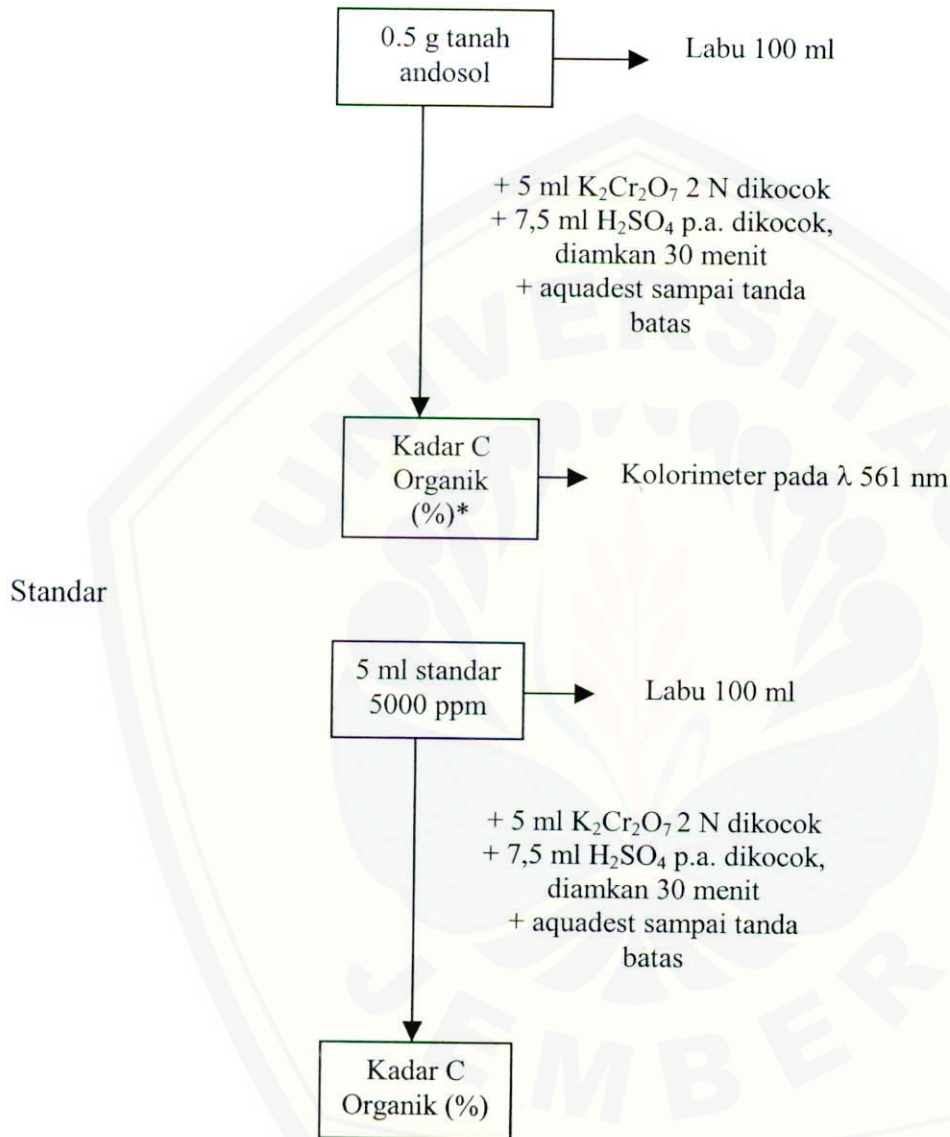
Catatan :

$$*) \Delta\text{pH} = \text{pH H}_2\text{O} - \text{pH KCl}$$

D.2 Prosedur Pengukuran KTK



D.3 Prosedur Pengukuran % C organik



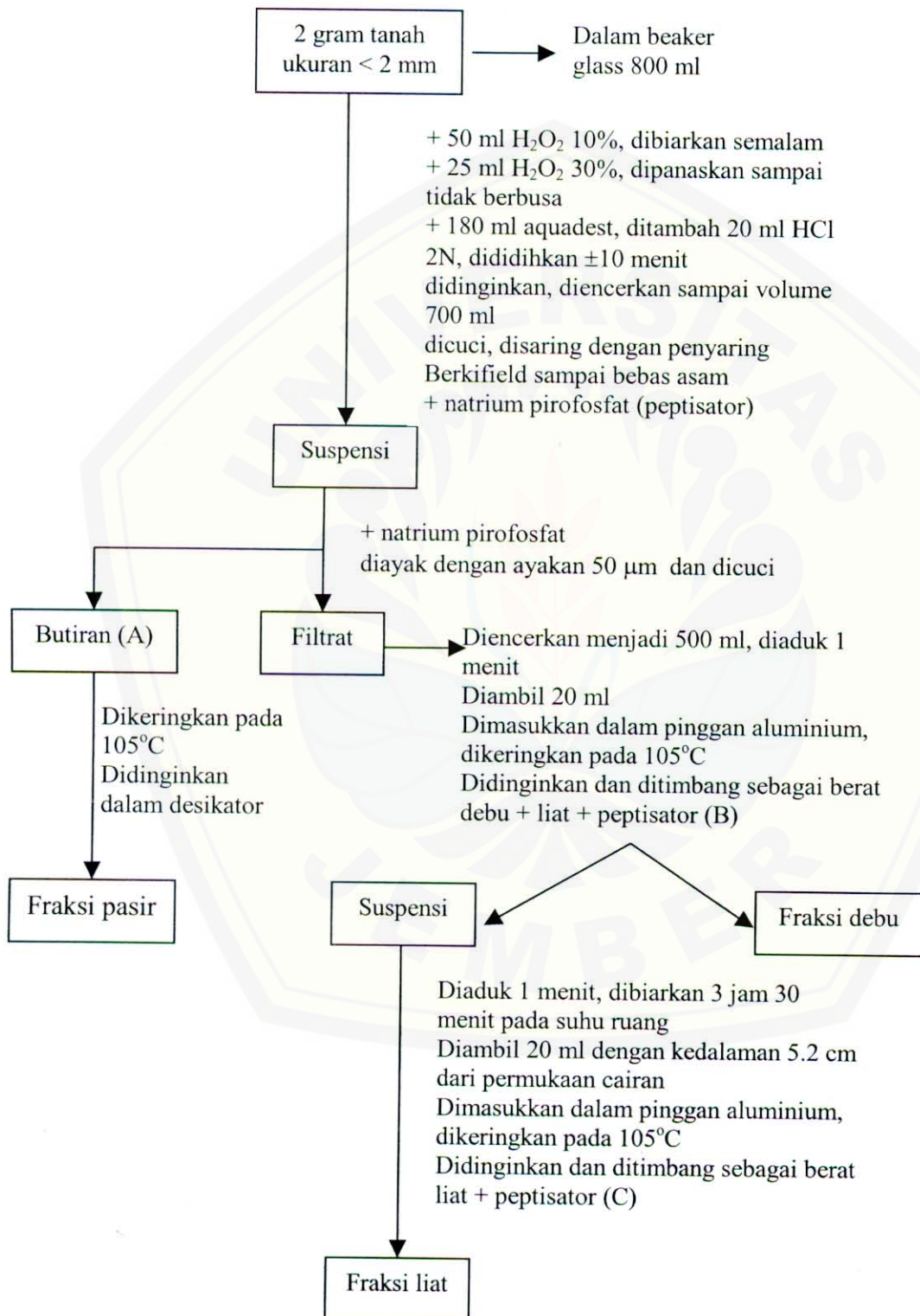
$$\text{Kadar C Organik (\%)} = \frac{\text{ml ekstrak}}{\text{gram contoh}} \times \frac{\text{Abs contoh}}{\text{Abs standar}} \times \text{ppm standar} \quad \text{fk}$$

10,000

Reaksi :



D.7 Prosedur Pengukuran Struktur dan Tekstur Metode Pipet



E. Perhitungan

E.1 Perhitungan massa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam pembuatan larutan baku Cu^{2+} 1000 ppm sebanyak 1 L.

$$\text{Mr CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 249.68$$

$$\text{Ar Cu} = 63.54$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ yang diperlukan} &= \\ \frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \times m \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 1000 \text{ mg/L} \\ \frac{249.68}{63.54} \times m \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 1000 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{1000 \text{ mg}}{0.2544} \\ &= 3.9308 \text{ g} \end{aligned}$$

E.2 Pembuatan Larutan Standar Uji Cu^{2+} 5 – 20 ppm dari larutan induk 1000 ppm.

$$\begin{aligned} V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{50 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 0.25 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 10 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{50 \text{ mL} \times 10 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 0.5 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 15 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{50 \text{ mL} \times 15 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 0.75 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 &= \frac{50 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 1 \text{ mL}\end{aligned}$$

E.3 Pembuatan Larutan Uji Cu^{2+} dengan konsentrasi 80 – 130 ppm dari larutan induk 1000 ppm.

$$\begin{aligned}V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 250 \text{ mL} \times 80 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{250 \text{ mL} \times 80 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 20 \text{ mL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 250 \text{ mL} \times 90 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{250 \text{ mL} \times 90 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 22.5 \text{ mL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 250 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{250 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 25 \text{ mL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 250 \text{ mL} \times 110 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{250 \text{ mL} \times 110 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 27.5 \text{ mL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 250 \text{ mL} \times 120 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{250 \text{ mL} \times 120 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 30 \text{ mL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 250 \text{ mL} \times 130 \text{ ppm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 &= \frac{250 \text{ mL} \times 130 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\ &= 32.5 \text{ mL}\end{aligned}$$

E.4 Perhitungan Konsentrasi Larutan NaOH untuk Aktivasi Alofan dalam ppm

pH 7.00; 0,25 M

$$\begin{aligned}\text{mol} &= 0,25 \text{ M} \times 0,35 \text{ L} \\ &= 0,0875 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gram NaOH} &= \text{mol} \times \text{Mr NaOH} \\ &= 0,0875 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 3.50 \text{ g} \\ &= 3500 \text{ mg}\end{aligned}$$

$$\text{ppm Na} = \text{mg/L} = 3500/0,35 \text{ L} = 10.000 \text{ ppm}$$

pH 8.00; 0,5 M

$$\begin{aligned}\text{mol} &= 0,5 \text{ M} \times 0,35 \text{ L} \\ &= 0,175 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gram NaOH} &= \text{mol} \times \text{Mr NaOH} \\ &= 0,175 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 7.00 \text{ g} \\ &= 7000 \text{ mg}\end{aligned}$$

$$\text{ppm Na} = \text{mg/L} = 7000/0,35 \text{ L} = 20.000 \text{ ppm}$$

pH 9.00; 0,75 M

$$\begin{aligned}\text{mol} &= 0,75 \text{ M} \times 0,35 \text{ L} \\ &= 0,2625 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gram NaOH} &= \text{mol} \times \text{Mr NaOH} \\ &= 0,2625 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 10.5 \text{ g} \\ &= 10.500 \text{ mg}\end{aligned}$$

$$\text{ppm Na} = \text{mg/L} = 10.500/0,35 \text{ L} = 30.000 \text{ ppm}$$

E.5 Perhitungan Konsentrasi Cu^{2+} Sisa dan Teradsorp dalam ppm pada pH 7.00, 8.00, dan 9.00 (Lampiran A.2)

Berdasarkan Persamaan: $y = 0.0428x + 0.0238$, maka konsentrasi Cu^{2+} sisa (dalam filtrat) adalah:

a). pH 7.00

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 80 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$y = 0.0428x + 0.0238$$

$$0.116 = 0.0428x + 0.0238$$

$$0.116 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.0922 = 0.0428x$$

$$x = 2.154 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 80 \text{ ppm} - 2.154 \text{ ppm} \\ &= 77.85 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 90 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$0.173 = 0.0428x + 0.0238$$

$$0.173 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.1492 = 0.0428x$$

$$x = 3.486 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 90 \text{ ppm} - 3.486 \text{ ppm} \\ &= 86.52 \text{ ppm} \end{aligned}$$

[Cu²⁺] yang diberikan (awal) = 100 ppm

[Cu²⁺] sisa adalah :

$$0.337 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.337 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.3132 = 0.0428x$$

$$x = 7.317 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 100 \text{ ppm} - 7.317 \text{ ppm} \\ &= 92.68 \text{ ppm} \end{aligned}$$

[Cu²⁺] yang diberikan (awal) = 110 ppm

[Cu²⁺] sisa adalah :

$$0.119 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.119 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.0952 = 0.0428x$$

$$x = 2.230 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 110 \text{ ppm} - 2.230 \text{ ppm} \\ &= 107.77 \text{ ppm} \end{aligned}$$

[Cu²⁺] yang diberikan (awal) = 120 ppm

[Cu²⁺] sisa adalah :

$$0.116 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.116 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.0922 = 0.0428x$$

$$x = 2.154 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 120 \text{ ppm} - 2.154 \text{ ppm} \\ &= 117.85 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$= 74.69 \text{ ppm}$$

[Cu²⁺] yang diberikan (awal) = 100 ppm

[Cu²⁺] sisa adalah :

$$0.314 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.314 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.2902 = 0.0428x$$

$$x = 6.780 \text{ ppm}$$

[Cu²⁺] teradsorp = [Cu²⁺] awal - [Cu²⁺] sisa

$$= 100 \text{ ppm} - 6.780 \text{ ppm}$$

$$= 93.22 \text{ ppm}$$

[Cu²⁺] yang diberikan (awal) = 110 ppm

[Cu²⁺] sisa adalah :

$$0.401 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.401 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.3772 = 0.0428x$$

$$x = 8.820 \text{ ppm}$$

[Cu²⁺] teradsorp = [Cu²⁺] awal - [Cu²⁺] sisa

$$= 110 \text{ ppm} - 8.820 \text{ ppm}$$

$$= 101.18 \text{ ppm}$$

[Cu²⁺] yang diberikan (awal) = 120 ppm

[Cu²⁺] sisa adalah :

$$0.454 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.454 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.4302 = 0.0428x$$

$$x = 10.05 \text{ ppm}$$

[Cu²⁺] teradsorp = [Cu²⁺] awal - [Cu²⁺] sisa

$$\begin{aligned} &= 120 \text{ ppm} - 10.05 \text{ ppm} \\ &= 109.95 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 130 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$0.542 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.542 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.5182 = 0.0428x$$

$$x = 21.11 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 130 \text{ ppm} - 21.11 \text{ ppm} \\ &= 108.9 \text{ ppm} \end{aligned}$$

c). pH 9.00

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 80 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$0.418 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.418 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.378 = 0.0428x$$

$$x = 8.832 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 80 \text{ ppm} - 8.832 \text{ ppm} \\ &= 71.178 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 90 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$0.612 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.612 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.5882 = 0.0428x$$

$$x = 13.74 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 90 \text{ ppm} - 13.74 \text{ ppm} \\ &= 76.26 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 100 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$0.713 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.713 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.6892 = 0.0428x$$

$$x = 16.10$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 100 \text{ ppm} - 16.10 \text{ ppm} \\ &= 83.90 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 110 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$0.928 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.928 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.9042 = 0.0428x$$

$$x = 21.13$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 110 \text{ ppm} - 21.13 \text{ ppm} \\ &= 88.87 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$[\text{Cu}^{2+}]$ yang diberikan (awal) = 120 ppm

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$0.959 = 0.0428 x + 0.0238$$

$$0.959 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$0.9352 = 0.0428x$$

$$x = 21.85 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 120 \text{ ppm} - 21.85 \text{ ppm} \\ &= 98.15 \end{aligned}$$

$$[\text{Cu}^{2+}] \text{ yang diberikan (awal)} = 130 \text{ ppm}$$

$[\text{Cu}^{2+}]$ sisa adalah :

$$1.285 = 0.0428x + 0.0238$$

$$1.285 - 0.0238 = 0.0428x$$

$$1.2612 = 0.0428x$$

$$x = 29.47 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] \text{ teradsorp} &= [\text{Cu}^{2+}] \text{ awal} - [\text{Cu}^{2+}] \text{ sisa} \\ &= 130 \text{ ppm} - 29.47 \text{ ppm} \\ &= 100.53 \text{ ppm} \end{aligned}$$

E.6 Perhitungan Massa Ion Cu^{2+} awal dan Sisa (mg) pada Kapasitas Alofan untuk mengadsorp Cu^{2+} (Lampiran A.3)

a). Massa ion Cu^{2+} awal:

$$\begin{aligned} \text{mg} &= \text{ppm} \times \text{volume awal (L)} \\ &= 80 \text{ ppm} \times 0.25 \text{ L} \\ &= 20 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mg} &= \text{ppm} \times \text{volume awal (L)} \\ &= 110 \text{ ppm} \times 0.25 \text{ L} \\ &= 27.5 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mg} &= \text{ppm} \times \text{volume awal (L)} \\ &= 90 \text{ ppm} \times 0.25 \text{ L} \\ &= 22.5 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mg} &= \text{ppm} \times \text{volume awal (L)} \\ &= 120 \text{ ppm} \times 0.25 \text{ L} \\ &= 30 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mg} &= \text{ppm} \times \text{volume awal (L)} \\ &= 100 \text{ ppm} \times 0.25 \text{ L} \\ &= 25 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mg} &= \text{ppm} \times \text{volume awal (L)} \\ &= 130 \text{ ppm} \times 0.25 \text{ L} \\ &= 32.5 \text{ mg} \end{aligned}$$

b). Massa ion Cu^{2+} sisa (mg) = ppm Cu^{2+} sisa x volume Cu^{2+} sisa (L)

pH 7.00, konsentrasi Cu^{2+} awal 80-130 ppm

Massa ion Cu^{2+} sisa = 2.154 ppm x 0.22 L = 0.473 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 3.486 ppm x 0.22L = 0.766 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 7.317 ppm x 0.22 L = 1.609 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 2.230 ppm x 0.22 L = 0.491 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 2.154 ppm x 0.22 L = 0.473 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 17.85 ppm x 0.22 L = 3.927 mg

pH 8.00, konsentrasi Cu^{2+} awal 80-130 ppm

Massa ion Cu^{2+} sisa = 7.270 ppm x 0.23 L = 1.776 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 15.31 ppm x 0.23 L = 3.521 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 6.780 ppm x 0.23 L = 1.559 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 8.820 ppm x 0.23 L = 2.028 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 10.05 ppm x 0.23 L = 2.311 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 21.11 ppm x 0.23 L = 4.855 mg

pH 9.00, konsentrasi Cu^{2+} awal 80-130 ppm

Massa ion Cu^{2+} sisa = 8.840 ppm x 0.22 L = 1.944 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 13.74 ppm x 0.22 L = 3.023 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 16.10 ppm x 0.22 L = 3.542 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 21.13 ppm x 0.22 L = 4.648 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 21.85 ppm x 0.22 L = 4.807 mg

Massa ion Cu^{2+} sisa = 29.47 ppm x 0.22 L = 6.483 mg

c). Massa ion Cu^{2+} teradsorp = Masa ion Cu^{2+} awal – massa ion Cu^{2+} sisa

pH 7.00, konsentrasi larutan sampel Cu^{2+} 80-130 ppm

Massa ion Cu^{2+} teradsorp = 20 mg – 0.473 mg = 19.527 mg

Massa ion Cu^{2+} teradsorp = 22.5 mg – 0.766 mg = 21.734 mg

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 25 \text{ mg} - 1.609 \text{ mg} = 23.391 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 27.5 \text{ mg} - 0.491 \text{ mg} = 27.009 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 30 \text{ mg} - 0.473 \text{ mg} = 29.527 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 32.5 \text{ mg} - 3.927 \text{ mg} = 28.573 \text{ mg}$$

pH 8.00, konsentrasi larutan sampel Cu^{2+} 80-130 ppm

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 20 \text{ mg} - 1.776 \text{ mg} = 18.824 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 22.5 \text{ mg} - 3.521 \text{ mg} = 18.979 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 25 \text{ mg} - 1.559 \text{ mg} = 23.441 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 27.5 \text{ mg} - 2.028 \text{ mg} = 25.472 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 30 \text{ mg} - 2.311 \text{ mg} = 27.689 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 32.5 \text{ mg} - 4.855 \text{ mg} = 27.645 \text{ mg}$$

pH 9.00, konsentrasi larutan sampel Cu^{2+} 80-130 ppm

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 20 \text{ mg} - 1.944 \text{ mg} = 18.056 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 22.5 \text{ mg} - 3.023 \text{ mg} = 19.477 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 25 \text{ mg} - 3.542 \text{ mg} = 21.458 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 27.5 \text{ mg} - 4.648 \text{ mg} = 22.852 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 30 \text{ mg} - 4.807 \text{ mg} = 25.193 \text{ mg}$$

$$\text{Massa ion Cu}^{2+} \text{ teradsorp} = 32.5 \text{ mg} - 6.483 \text{ mg} = 26.017 \text{ mg}$$

E.7 Perhitungan $[\text{Na}^+]$ dalam ppm berdasarkan Lampiran A.4

pH 7.00 dan pH 8.00

$$y = 0.0037x + 0.0031$$

$$0.029 = 0.0037x + 0.0031$$

$$0.029 - 0.0031 = 0.0037x$$

$$x = 7.000 \text{ ppm}$$

pH 9.00

$$y = 0.0037x + 0.0031$$

$$0.036 = 0.0037x + 0.0031$$

$$0.036 - 0.0031 = 0.0037x$$

$$x = 8.892 \text{ ppm}$$

E.8 Konversi Na^+ Teradsorp dan Tertukar dan Cu^{2+} Teradsorp dan Tertukar (Tabel 4.5)

pH 7.00 Na^+ teradsorp = 9860 ppm

ppm = me Na/100 g

$$\frac{9860}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. 23}}{100000 \text{ mg}}$$

Na = 42.87 me/100 g

Na = 107.17 me/250 g

pH 8.00 Na^+ teradsorp = 19965 ppm

ppm = me Na/100 g

$$\frac{19965}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. 23}}{100000 \text{ mg}}$$

Na = 86.80 me/100 g

Na = 217 me/250 g

pH 9.00 Na^+ teradsorp = 29980.4 ppm

ppm = me Na/100 g

$$\frac{29980.4}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. 23}}{100000 \text{ mg}}$$

Na = 130.35 me/100 g

Na = 325.57 me/250 g

pH 7.00 Na⁺ tertukar = 140 ppm

ppm = me Na/100 g

$$\frac{140}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. 23}}{100000 \text{ mg}}$$

Na = 0.608 me/100 g

Na = 1.522 me/250 g

pH 8.00 Na⁺ tertukar = 35 ppm

ppm = me Na/100 g

$$\frac{35}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. 23}}{100000 \text{ mg}}$$

Na = 0.152 me/100 g

Na = 0.380 me/250 g

pH 9.00 Na⁺ tertukar = 88.92 ppm

ppm = me Na/100 g

$$\frac{88.92}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. 23}}{100000 \text{ mg}}$$

Na = 0.386 me/100 g

Na = 0.966 me/250 g

pH 7.00 Cu²⁺ teradsorp = 77.85 ppm

ppm = me Cu/100 g

$$\frac{77.85}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. 31.77}}{100000 \text{ mg}}$$

Cu = 0.245 me/100 g

Cu = 0.613 me/250 g

pH 8.00 Cu^{2+} teradsorp = 72.73 ppm

ppm = me Cu/100 g

$$\frac{72.73}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. } 31.77}{100000 \text{ mg}}$$

Cu = 0.229 me/100 g

Cu = 573 me/250 g

pH 9.00 Cu^{2+} teradsorp = 71.16 ppm

ppm = me Cu/100 g

$$\frac{71.16}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. } 31.77}{100000 \text{ mg}}$$

Cu = 0.224 me/100 g

Cu = 0.560 me/250 g

pH 7.00 Cu^{2+} tertukar = 2.154 ppm

ppm = me Cu/100 g

$$\frac{2.154}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. } 31.77}{100000 \text{ mg}}$$

Cu = $6.779 \cdot 10^{-3}$ me/100 g

Cu = 0.016 me/250 g

pH 8.00 Cu^{2+} teradsorp = 7.270 ppm

ppm = me Cu/100 g

$$\frac{7.270}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. } 31.77}{100000 \text{ mg}}$$

Cu = 0.023 me/100 g

Cu = 0.057 me/250 g

pH 9.00 Cu^{2+} teradsorp = 8.840 ppm

ppm = me Cu/100 g

$$\frac{8.840}{1000000 \text{ mg}} = \frac{\text{me. } 31.77}{100000 \text{ mg}}$$

Cu = 0.028 me/100 g

Cu = 0.070 me/250 g

E.9 Konversi Na^+ dan Cu^{2+} Teradsorp dan Sisa (dalam mol)

pH 7.00

Na^+ Teradsorp

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \text{ppm} \\ &= \frac{9860 \text{ mg/L}}{23} \\ &= 0.430 \text{ mol} \end{aligned}$$

Na^+ Sisa

$$\begin{aligned} \text{mol} &= \text{ppm} \\ &= \frac{140.0 \text{ mg/L}}{23} \\ &= 0.061 \text{ mol} \end{aligned}$$

pH 8.00

Na^+ Teradsorp

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \text{ppm} \\ &= \frac{19965 \text{ mg/L}}{23} \\ &= 0.868 \text{ mol} \end{aligned}$$

Na^+ Sisa

$$\begin{aligned} \text{mol} &= \text{ppm} \\ &= \frac{35.00 \text{ mg/L}}{23} \\ &= 0.015 \text{ mol} \end{aligned}$$

pH 9.00

Na^+ Teradsorp

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \text{ppm} \\ &= \frac{29980.4 \text{ mg/L}}{23} \\ &= 1.303 \text{ mol} \end{aligned}$$

Na^+ Sisa

$$\begin{aligned} \text{mol} &= \text{ppm} \\ &= \frac{88.92 \text{ mg/L}}{23} \\ &= 0.004 \text{ mol} \end{aligned}$$

pH 7.00

Cu²⁺ Teradsorp

Mol = ppm

$$= \frac{77.85 \text{ mg/L}}{63.54}$$

$$= 0.0012 \text{ mol}$$

Cu²⁺ Sisa

mol = ppm

$$= \frac{2.154 \text{ mg/L}}{63.54}$$

$$= 3.38 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

pH 8.00

Cu²⁺ Teradsorp

Mol = ppm

$$= \frac{72.73 \text{ mg/L}}{63.54}$$

$$= 0.0011 \text{ mol}$$

Cu²⁺ Sisa

mol = ppm

$$= \frac{7.270 \text{ mg/L}}{63.54}$$

$$= 1.14 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

pH 9.00

Cu²⁺ Teradsorp

Mol = ppm

$$= \frac{71.16 \text{ mg/L}}{63.54}$$

$$= 0.0011 \text{ mol}$$

Cu²⁺ Sisa

mol = ppm

$$= \frac{8.840 \text{ mg/L}}{63.54}$$

$$= 0.0001 \text{ mol}$$

