

**LAPORAN TAHUN TERAKHIR
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
(PTUPT)**



**MATERIAL KOMPOSIT BERBAHAN DASAR LIMBAH TAHU SEBAGAI
ADSORBEN MERKURI, TIMBAL, KADMIUM, TEMBAGA DAN SENG: UPAYA
PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR**

TAHUN KE – 2 DARI RENCANA 2 TAHUN

**Dr. EKO PRASETYO KUNCORO, S.T., DEA
MOCHAMAD ZAKKI FAHMI, S.Si., M.Si., PhD
FADLI AMA, S.T., M.T.**

**0030087506
0002078307
0706127502**

**DIBIYAI OLEH:
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
SESUAI DENGAN PERJANJIAN PENDANAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN
KEPADA MASYARAKAT
NOMOR: 122/SP2H/PTNBH/DRPM/2018**

**UNIVERSITAS AIRLANGGA
NOVEMBER 2018**

**LAPORAN TAHUN TERAKHIR
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
(PTUPT)**



MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

KKC
KK
LP 03/19
Kun
m

**MATERIAL KOMPOSIT BERBAHAN DASAR LIMBAH TAHU SEBAGAI
ADSORBEN MERKURI, TIMBAL, KADMIUM, TEMBAGA DAN SENG: UPAYA
PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR**

TAHUN KE – 2 DARI RENCANA 2 TAHUN

**Dr. EKO PRASETYO KUNCORO, S.T., DEA
MOCHAMAD ZAKKI FAHMI, S.Si., M.Si., PhD
FADLI AMA, S.T., M.T.**

0030087506
0002078307
0706127502

**DIBIYAI OLEH:
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
SESUAI DENGAN PERJANJIAN PENDANAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN
KEPADA MASYARAKAT
NOMOR: 122/SP2H/PTNBH/DRPM 2018**

**UNIVERSITAS AIRLANGGA
NOVEMBER 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Material komposit berbahan dasar limbah talu sebagai adsorben merkuri, timbal, kadmium, tembaga, dan seng: upaya pengendalian pencemaran air

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Dr EKO PRASETYO KUNCORO, S.T, D.E.A
Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga
NIDN : 0030087506
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Lingkungan
Nomor HP : 085645111984
Alamat surel (e-mail) : eko-p-k@fst.unair.ac.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : MOCHAMAD ZAKKI FAHMI S.Si, M.Si, Ph.D
NIDN : 0002078307
Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga

Anggota (2)

Nama Lengkap : FADLI AMA S.T, M.T
NIDN : 0706127502
Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 95.000,000
Biaya Keseluruhan : Rp 185,700,000



Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi



(Prof. Wiji Darmanto, PhD)
NIP/NIK 196106161987011001

Kota Surabaya, 14 - 11 - 2018
Ketua,

(Dr EKO PRASETYO KUNCORO, S.T,
D.E.A)
NIP/NIK 197508302008121001

Menyetujui,
Ketua LPI

(Prof. Hery Purnobasuki)
NIP/NIK 196705071991021001

RINGKASAN

Pencemaran limbah logam berat Hg, Pb, Cd, Cu dan Zn merupakan masalah lingkungan yang memerlukan penanganan serius. Limbah logam berat tersebut karena tingkat toksisitasnya dan kemampuan terakumulasi pada tubuh organisme di lingkungan dapat menimbulkan efek negatif pada kesehatan makhluk hidup dan manusia. Pengolahan limbah Hg, Pb, Cd, Cu dan Zn pada konsentrasi yang rendah umumnya menggunakan metode adsorpsi.

Di sisi lain, pemanfaatan limbah tahu sebagai *adsorbent* Hg, Pb, Cd, Cu dan Zn adalah merupakan hal yang menarik. Limbah tahu tersedia dalam keadaan melimpah di Indonesia mengingat konsumsi tahu sangat besar, konsumsi akan tahu diperkirakan selalu meningkat setiap tahun. Pemanfaatan limbah tahu sebagai *adsorbent* logam berat memiliki dua manfaat: menambah nilai ekonomis limbah tahu (*waste valorization*) dan menangani masalah lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran logam berat. *Adsorbent* yang dipersiapkan adalah merupakan material komposit: material yang terbentuk dari dua atau lebih material penyusun. *Adsorbent* berbahan dasar limbah tahu ini berupa: limbah tahu yang dicampur dengan bahan lain.

Pada tahun kedua dilakukan pengujian kemampuan *adsorbent* komposit berbahan dasar limbah tahu dalam menyisihkan Hg, Pb, Cd, Cu dan Zn. *Adsorbent* yang diuji adalah *adsorbent* dari ampas tahu + bentonite (A) dan ampas tahu + bentonite + silika. Hasil sementara yang telah diperoleh menunjukkan bahwa *adsorbent* mampu menyisihkan logam berat. Derajat penyisihan logam berat secara bervariasi. Penyisihan logam berat dipengaruhi oleh pH, pada pH asam nilai penyisihan kecil dan meningkat seiring kenaikan pH. Semakin besar massa *adsorbent* yang digunakan, semakin besar kemampuan penyisihan logam berat. Hasil karakterisasi *adsorbent* dengan analisis FTIR, SEM EDX menunjang data kemampuan penyisihan logam berat: terdapat interaksi pengikatan ion logam berat pada *adsorbent*.

Kata kunci: Adsorpsi, Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, ampas tahu



PRAKATA

Puji syukur kepada Allah yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulisan laporan akhir penelitian ini dapat terselesaikan. Laporan kemajuan ini berisi hasil sementara dari percobaan-percobaan pada tema penelitian adsorpsi logam berat dengan limbah tahu. Ucapan terimakasih penulis haturkan kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian sampai dengan penyusunan laporan kemajuan.

Penulis menyadari adanya kekurangan-kekurangan yang terdapat di dalam laporan ini sehingga saran konstruktif sangat diharapkan untuk penulisan laporan

Surabaya, November 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| Halaman Pengesahan..... | ii |
| Ringkasan..... | iii |
| Prakata..... | iv |
| Daftar Isi..... | v |
| Daftar Gambar..... | vi |
| Daftar Lampiran..... | vii |
| Bab I Pendahuluan..... | 1 |
| Bab II Tinjauan Pustaka..... | 3 |
| Bab III Tujuan dan Manfaat Penelitian..... | 8 |
| Bab IV Metode Penelitian..... | 9 |
| Bab V Hasil dan Luaran yang Dicapai..... | 11 |
| Bab VI Kesimpulan dan Saran..... | 28 |
| Daftar Pustaka..... | 29 |
| Lampiran | |



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Mekanisme adsorpsi logam pada biomassa (Sud, 2008)
- Gambar 3.1 Bagan alir penelitian tahun II
- Gambar 5.1 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit sebelum kontak dengan ion logam
- Gambar 5.2 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Pb
- Gambar 5.3 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cd
- Gambar 5.4 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cu
- Gambar 5.5 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Zn
- Gambar 5.6 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit sebelum kontak dengan ion logam
- Gambar 5.7 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Pb
- Gambar 5.8 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cd
- Gambar 5.9 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cu
- Gambar 5.10 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Zn
- Gambar 5.11 Hasil analisis EDX ampas tahu+bentonit sebelum kontak dengan ion logam
- Gambar 5.12 Hasil analisis EDX ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Pb
- Gambar 5.13 Hasil analisis EDX ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cd
- Gambar 5.14 Hasil analisis EDX ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cu
- Gambar 5.15 Hasil analisis EDX ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Zn
- Gambar 5.16 Penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonit berdasarkan variasi pH
- Gambar 5.17 penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonit berdasarkan variasi massa *adsorbent*

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Instrumen dan Personalia

Lampiran 2 Produk

Lampiran 3 Artikel yang diseminarkan di konferensi ICST Universitas Airlangga, Agustus 2018

Lampiran 4 Draft artikel untuk publikasi di jurnal

Lampiran 5 Draft paten sederhana

Lampiran 6 Draft buku ajar



BAB I PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang pesat selain menghasilkan dampak yang menguntungkan bagi kehidupan manusia juga menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu dampak tersebut adalah pencemaran yang diakibatkan oleh logam berat. Telah lama diketahui bahwa limbah logam berat dapat menurunkan kualitas air pada badan air dan berdampak negatif terhadap biota dan manusia. Logam berat, di alam dapat bergerak dari satu kompartemen ke kompartemen lain (air, tanah, udara). Logam berat seperti Hg merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu) dan seng (Zn) memiliki kemampuan untuk terakumulasi pada biota. Akumulasi logam berat dapat merusak organ tertentu pada organisme (organ target). Limbah merkuri dihasilkan oleh industri kertas dan pembakaran batubara (Palar, 2008). Tragedi Minamata adalah suatu referensi standar yang menggambarkan dampak negatif yang diakibatkan oleh merkuri yang dibuang ke badan air. Limbah timbal dihasilkan oleh industri pelapisan logam dan baterai (Palar, 2008). Masalah kesehatan yang ditimbulkan oleh timbal antara lain adalah gangguan syaraf, ginjal, sistem hormon, dan jantung. Limbah kadmium dihasilkan oleh industri pembuatan plastik dan industri elektroplating (Palar, 2008). Kadmium dapat merusak ginjal, paru-paru, darah, dan jantung. Limbah tembaga dihasilkan oleh industri galangan kapal (Palar, 2008). Tembaga dapat menyebabkan masalah pada sistem pencernaan dan hati. Limbah seng dihasilkan dari industri elektroplating.

Pencemaran air merupakan suatu konsekuensi logis dari pertumbuhan jumlah penduduk dan peningkatan kebutuhan akan barang. Hal penting yang harus dilakukan adalah upaya perlindungan terhadap lingkungan untuk menjaga keberlanjutan kehidupan. Pemerintah telah mengeluarkan PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Salah satu implementasi dari peraturan tersebut adalah pengolahan limbah logam berat. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengolah logam berat. Pada adsorpsi, penyisihan logam berat terjadi melalui akumulasi logam berat pada permukaan *adsorbent*. Keuntungan dari adsorpsi adalah pengoperasian relatif mudah, mampu menyisihkan *pollutant* berkonsentrasi rendah dan tidak menghasilkan *sludge*. Pada saat ini terdapat upaya-upaya intensif untuk menghasilkan *adsorbent* yang kompetitif terhadap *adsorbent* konvensional

yang telah ada (karbon aktif). Selama ini karbon aktif merupakan *adsorbent* yang umumnya dipakai tetapi kadang menimbulkan kendala karena harganya yang mahal. Hal inilah yang mendorong banyaknya penelitian tentang *adsorbent* alternatif. Beberapa bahan yang menjadi perhatian untuk dimanfaatkan sebagai *adsorbent* antara lain adalah bahan yang merupakan limbah seperti kitosan (Kuncoro *et al.*, 2005), limbah batubara (Kuncoro dan Fahmi, 2013), kulit singkong (Suharso dan Buhani, 2011; Kuncoro *et al.*, 2014), limbah padat pabrik agar-agar (Kuncoro *et al.*, 2015).

Limbah tahu merupakan bahan yang menarik untuk dijadikan sebagai *adsorbent*. Terdapat penelitian-penelitian yang memanfaatkan limbah tahu sebagai *adsorbent* limbah yang mengandung unsur P (Nguyen *et al.*, 2013; 2014; 2015), sedangkan penelitian tentang pemanfaatan limbah tahu sebagai *adsorbent* logam berat masih terbatas. Nohong (2011) melaporkan kemampuan limbah tahu dalam mengadsorpsi logam berat krom, kadmium, dan besi dalam air lindi TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). Penelitian tentang material komposit berbahan dasar limbah tahu atau limbah industri pangan sebagai *adsorbent* logam berat masih sukar untuk ditemukan. Pembuatan material komposit dari limbah tahu merupakan hal yang menarik.

Indonesia merupakan salah negara yang memproduksi tahu dalam jumlah yang besar. Di Indonesia terdapat banyak pabrik tahu dengan limbah tahu yang melimpah. Selama ini pemanfaatan limbah tahu sebagai *adsorbent* masih dirasa kurang padahal apabila dikembangkan akan dapat meningkatkan nilai ekonomis limbah tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas, upaya penelitian material komposit berbahan dasar limbah tahu sebagai *adsorbent* logam berat sangat diperlukan, khususnya untuk adsorpsi merkuri, timbal, kadmium, tembaga, dan seng. Hal ini di satu sisi merupakan upaya peningkatan nilai ekonomis limbah padat sedangkan di sisi lain adalah upaya pengendalian pencemaran lingkungan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn)

Merkuri dan timbal bersama dengan kadmium dikenal sebagai trio toksik, bahan yang memiliki tingkat toksisitas yang tinggi terhadap makhluk hidup. Merkuri dan timbal sebagai limbah dapat dijumpai sebagai hasil dari kegiatan manusia seperti pada dok kapal dan industri baterai.

Merkuri merupakan logam dengan bobot atom 200,59 dan berwujud cair pada suhu ruang. Merkuri digunakan dalam industri klor-alkali, thermometer, lampu, fungisida, industri kertas (Palar, 2008). Merkuri dilaporkan sebagai logam yang memiliki pengaruh yang negatif terhadap makhluk hidup. Vasallo *et al.* (2011) mereview tentang adanya masalah *cardiovascular* yang disebabkan oleh merkuri. Merkuri dilaporkan menyebabkan masalah pada sistem reproduksi wanita (Rzymiski *et al.*, 2015). Merkuri juga dilaporkan sebagai penyebab autisme (Yassa, 2014). Penyakit Minamata di Jepang disebabkan oleh konsumsi produk laut yang mengandung merkuri yang berasal dari pembuangan limbah merkuri ke laut.

Timbal merupakan logam dengan bobot atom 207,2. Timbal digunakan pada industri baterai, pelapisan logam, industri keramik (Palar, 2008). Ahamed dan Siddiqui (2007) mereview tentang toksisitas timbal. Pengaruh pada kesehatan adalah kerusakan syaraf, resiko kanker, anemia, kelahiran yang tidak sempurna, pertumbuhan yang terlambat. Chen *et al.* (2015) melaporkan adanya hubungan antara penurunan kadar hemoglobin pada darah dengan kandungan timbal dan kadmium. Chen *et al.* (2014) juga melaporkan hubungan antara rendahnya densitas mineral tulang dengan kandungan timbal dan kadmium.

Kadmium merupakan logam yang digunakan pada pembuatan zat warna dan baterai. Kadmium dapat merusak ginjal, paru-paru, darah, dan jantung (Palar, 2008). Chen *et al.* (2011) melaporkan adanya hubungan rendahnya densitas mineral tulang dengan kandungan kadmium. Chen *et al.* (2013) melaporkan hubungan antara kenaikan tekanan darah dengan kandungan kadmium.

Tembaga merupakan logam dengan bobot atom 63,546. Tembaga digunakan sebagai bahan untuk *alloy* dan cat. Tembaga dapat menyebabkan penyakit Wilson dan Kinsky (Palar, 2008). Sedangkan seng digunakan pada industri elektroplating.

2.2 Metode Pengolahan Limbah Logam Berat

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengolah limbah logam berat. Metode-metode tersebut adalah koagulasi/flokulasi, pertukaran ion, flotasi, filtrasi membran, presipitasi kimia, adsorpsi (Carolin *et al.*, 2017)

Metode yang umum digunakan adalah presipitasi. Metode ini cukup efektif untuk mengolah limbah logam berat dengan konsentrasi tinggi. Kekurangan dari metode ini adalah timbulnya lumpur hasil pengolahan yang berbahaya apabila dibuang ke lingkungan. Metode membran dikenal memiliki efisiensi yang tinggi tetapi biaya pengoperasiannya cukup mahal. Sedangkan adsorpsi merupakan metode yang mampu mengolah logam berat berkonsentrasi rendah serta mudah pengoperasiannya.

2.3 Adsorpsi Limbah Logam Berat

Adsorpsi merupakan proses akumulasi *adsorbat* pada permukaan adsorbent. Logam berat terakumulasi pada permukaan *adsorbent*. *Adsorbent* yang sudah mengalami penjenuhan dapat digunakan kembali dengan melakukan desorpsi pada *adsorbent*. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap adsorpsi antara lain adalah pH, konsentrasi adsorbat, massa *adsorbent*, waktu kontak, dan temperatur.

Biosorpsi merupakan istilah yang mulai banyak digunakan. Pada hakekatnya, biosorpsi merupakan adsorpsi yang menggunakan *biomass* sebagai *adsorbent* (Gadd, 2008). *Biomass* yang dapat digunakan antara lain adalah limbah industri pangan seperti kitosan, kulit singkong, limbah agar-agar. Penelitian terkait adsorpsi banyak memanfaatkan limbah dari berbagai macam industri seperti industri energi dan industri pangan. Limbah abu layang batu bara dapat dimanfaatkan sebagai adsorbent logam berat. Limbah industri pangan seperti kitosan, limbah kulit singkong, limbah agar-agar, dan daun telah dimanfaatkan juga. Limbah-limbah tersebut memiliki jumlah yang melimpah di Indonesia dan belum secara optimal dimanfaatkan.

2.4 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian adsorpsi merkuri dan timbal yang telah dilakukan pengusul penelitian dalam kurun waktu 2012-2013 adalah dengan menggunakan limbah industri yang berupa abu layang dan abu bawah batu bara dari kegiatan pembangkitan energi (Kuncoro dan Fahmi, 2013). Hasil

yang didapat adalah limbah tersebut mampu mengadsorpsi merkuri dan timbal. Limbah yang digunakan jumlahnya melimpah, kemampuan adsorpsi limbah dapat diterangkan dengan adanya *site-site* aktif pada limbah yang berinteraksi dengan merkuri dan timbal.

Penelitian adsorpsi merkuri dan timbal juga telah dilakukan pengusul penelitian pada 2014 dengan menggunakan limbah kulit singkong. Hasil yang didapat adalah limbah tersebut mampu mengadsorpsi merkuri dan timbal (Kuncoro *et al.*, 2014)

Penelitian adsorpsi merkuri, timbal dan kadmium telah dilakukan pengusul dengan limbah padat pabrik agar-agar pada kurun waktu 2015-2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah padat pabrik agar-agar mampu mengadsorpsi timbal (Kuncoro *et al.*, 2015).

Pada penelitian ini digunakan limbah tahu sebagai *adsorbent* untuk mengolah logam berat. Limbah tahu tersedia dalam jumlah yang besar di Indonesia dan berpotensi untuk ditingkatkan nilai ekonomisnya jika dijadikan *adsorbent* logam berat.

2.5 Limbah Tahu

Keberadaan limbah tahu tidak dapat dilepaskan dari konsumsi kedelai yang dimanfaatkan sebagai tahu. Pada tahun 2012, total kebutuhan kedelai nasional diperkirakan mencapai 2,2 juta ton dimana jumlah tersebut 83,7% diserap untuk pengrajin tahu dan tempe. Pada tahun 2016, konsumsi tahu diperkirakan mencapai 7,3 kg/kapita. Dari pembuatan tahu dihasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah dari pembuatan tahu dapat dibedakan atas ampas tahu dan limbah cair tahu. Ampas tahu selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah cair tahu, sebagian besar komponennya terdiri dari bagian cair dan bagian padatan yang merupakan sisa-sisa dari proses pembuatan tahu. Limbah cair tahu, umumnya dibuang langsung ke lingkungan. Dari kedua jenis limbah ini, yang dimanfaatkan sebagai *adsorbent* adalah bagian padatannya. Pada ampas tahu, padatan langsung dapat diperoleh tanpa adanya suatu perlakuan tertentu sedangkan pada limbah cair tahu untuk mendapatkan padatan diperlukan penyaringan.

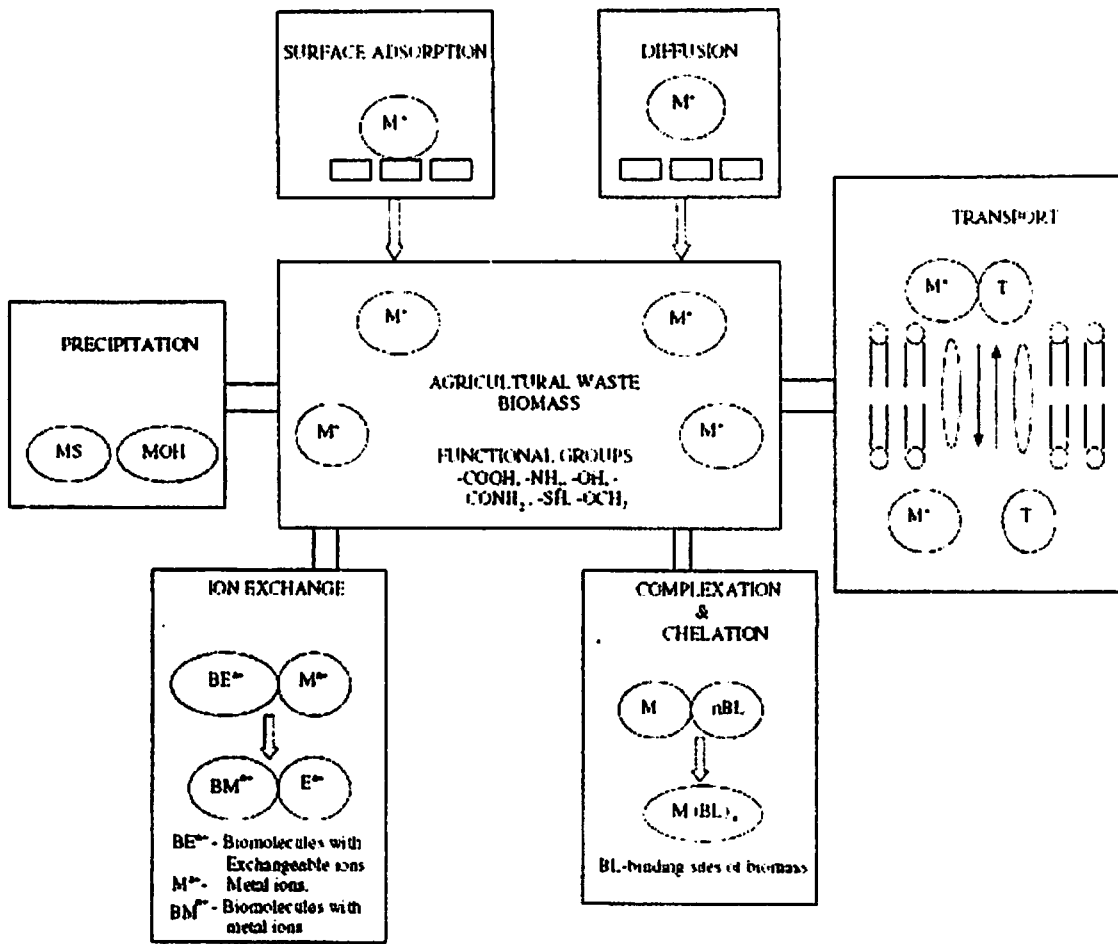
Karakteristik khusus limbah cair tahu adalah memiliki suhu melebihi suhu normal air, berwarna putih kekuningan dan keruh, nilai pH < 7, memiliki COD serta padatan tersuspensi atau padatan tak terlarut tinggi. Padatan tersebut sebagian berupa protein, lemak, dan karbohidrat. Limbah cair ini berpotensi menimbulkan bau busuk karena degradasi atau

perombakan protein, lemak, dan karbohidrat oleh mikroorganisme secara anaerob sehingga menyebabkan pencemaran air (Rahayu *et al.*, 2012).

Penelitian yang memanfaatkan limbah tahu sebagai *adsorbent* masih sangat terbatas. Nohong (2010) melaporkan pemanfaatan limbah tahu untuk mengadsorpsi krom, kadmium, dan besi dari air lindi dari sebuah tempat pemrosesan akhir sampah. Krom mampu teradsorpsi sepenuhnya sedangkan besi teradsorpsi 95%. Analisis eksperimental terkait mekanisme interaksi logam dengan *adsorbent*, tidak terdapat pada penelitian tersebut.

Limbah tahu sebagai *adsorbent* P, secara intensif telah diteliti dan dilaporkan. Nguyen *et al.* (2013, 2014, 2015) melaporkan kemampuan limbah tahu mengadsorpsi P. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *batch* dan kontinyu pada suatu reaktor. Kemampuan adsorpsi dikaitkan dengan karakteristik kimia (diperoleh melalui analisis FTIR) yang dimiliki oleh limbah tahu yaitu adanya gugus hidroksil dan karboksilat, gugus-gugus ini dilaporkan berinteraksi dengan *pollutant*. pH dilaporkan sebagai parameter yang penting di dalam adsorpsi. Nilai pH mempengaruhi spesiasi *pollutant* dan sifat *adsorbent*. Nguyen *et al.* (2013, 2014, 2015) melakukan modifikasi limbah tahu dengan FeCl₃, kombinasi *metal*. Modifikasi dilakukan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi P.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan limbah tahu memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi logam berat. Mekanisme penyisihan *pollutant* dengan menggunakan *biomass* seperti limbah tahu adalah kompleks, berikut adalah ilustrasi yang diberikan oleh Sud tentang interaksi *biomass-ion* logam (2008).



Gambar 2.1 Mekanisme adsorpsi logam pada biomassa (Sud, 2008)

BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah:

1. Mengetahui kemampuan adsorpsi merkuri, timbal, kadmium, tembaga dan seng oleh limbah tahu dan material komposit berbahan dasar limbah tahu.
2. Mengetahui efisiensi adsorpsi merkuri, timbal, kadmium, tembaga dan seng oleh limbah tahu dan material komposit berbahan dasar limbah tahu.
3. Mengetahui karakteristik morfologi dan komposisi kandungan limbah tahu dan material komposit berbahan dasar limbah tahu sebagai *adsorbent* merkuri, timbal, kadmium, tembaga, dan seng.

3.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat eksperimental yaitu mengaplikasikan teori pada pengetahuan bahan untuk menjawab permasalahan industri. Dari penelitian ini diharapkan berkontribusi terhadap pengolahan logam berat yang dihasilkan oleh industri dan dihasilkan produk berupa *adsorbent* logam berat yang bernilai ekonomis tinggi yang berasal dari limbah.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Prosedur Penelitian Tahun II

Prosedur penelitian tahun II meliputi: persiapan *adsorbent*, karakterisasi *adsorbent* sebelum berinteraksi dengan logam, adsorpsi logam (variasi pH, variasi massa *adsorbent*), karakterisasi *adsorbent* setelah berinteraksi dengan logam, kinetika adsorpsi.

Persiapan *adsorbent* dilakukan dengan memberi perlakuan pengeringan pada limbah tahu. Untuk *adsorbent* dari ampas tahu, diperoleh dengan terlebih dahulu mengumpulkan ampas tahu, ampas tahu dikeringanginkan selama beberapa hari, kemudian dioven pada suhu 40 °C selama 8 jam, setelah itu dihaluskan dan disaring untuk mendapatkan partikel dengan ukuran 100-200 mesh. Disiapkan dua jenis *adsorbent*: ampas tahu+bentonite dan ampas tahu+bentonite+silika.

Karakterisasi *adsorbent* sebelum berinteraksi dengan logam dilakukan dengan mengambil sejumlah sampel *adsorbent* yang telah siap dipakai untuk analisis FTIR dan SEM EDX. Luaran dari tahap ini adalah karakteristik fisika-kimia *adsorbent*.

Pada **adsorpsi logam dengan variasi pH** digunakan larutan logam berkonsentrasi 100 mg/L sebanyak 100 mL yang dimasukkan ke dalam botol berukuran 150 mL kemudian pada larutan ditambahkan *adsorbent* sebanyak 1 g. pH larutan diatur dengan HCl atau NaOH, pH bervariasi dari 2-7. Larutan kemudian digojok selama 90 menit, selanjutnya diambil sampel larutan untuk dianalisis dengan AAS (penentuan konsentrasi logam). Luaran dari tahap ini adalah efisiensi *adsorbent*.

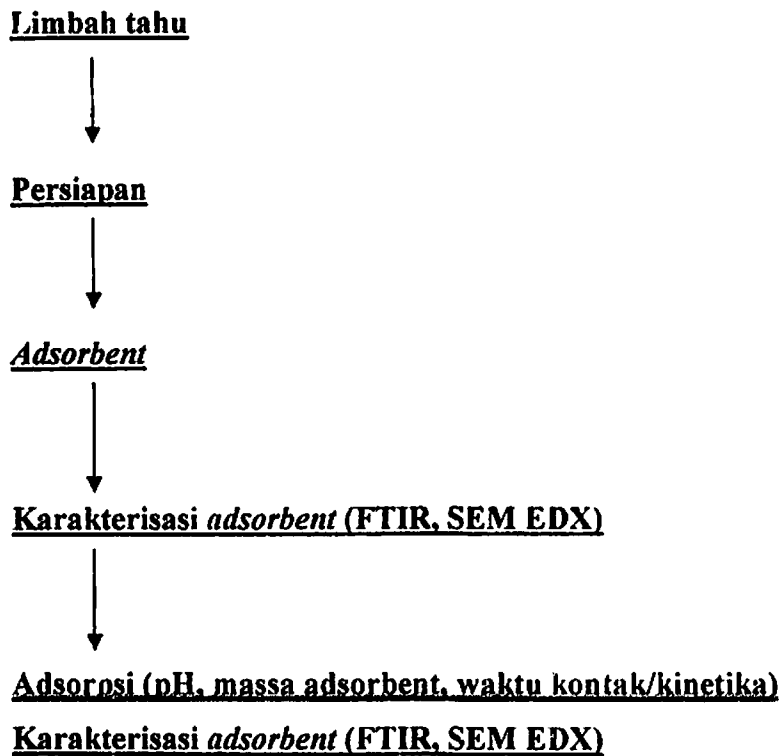
Pada **adsorpsi logam dengan variasi massa *adsorbent*** digunakan larutan logam 100 mg/L dan massa *adsorbent* 0.1; 0.25; 0.5; 0.75; 1; 1,25 g pada pH 5. Luaran dari tahap ini adalah efisiensi *adsorbent*.

Karakterisasi *adsorbent* setelah berinteraksi dengan logam dilakukan dengan mengambil sejumlah sampel *adsorbent* yang telah mengadsorpsi logam untuk dianalisis dengan FTIR dan SEM EDX. Luaran dari tahap ini adalah karakteristik fisika-kimia *adsorbent*.

Pada **kinetika adsorpsi** digunakan larutan logam 100 mg/L pada pH 5, 1 g *adsorbent*; larutan sebanyak 100 mL diletakkan pada botol berukuran 150 mL kemudian digojok. Selama

selang waktu tertentu (5, 10, 30, 45, 60, 90, 120 menit), diambil sampel larutan untuk dianalisis dengan AAS. Luaran dari tahap ini adalah laju adsorpsi.

Prosedur penelitian di atas terangkum pada bagan alir berikut (Gambar 3.1):



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian tahun II



BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Adsorpsi Pb, Cd, Cu, Zn dengan Ampas Tahu + Bentonit

Pada bagian pertama penelitian dilakukan percobaan dengan menggunakan *adsorbent* yang dipersiapkan dari ampas tahu + bentonit. Pada sub bab pertama disajikan hasil karakterisasi *adsorbent* dengan menggunakan analisis FTIR dan SEM EDX. Hasil analisis FTIR dan SEM EDX dapat digunakan untuk memeriksa adanya interaksi ion logam yang dipelajari dengan *adsorbent*. Pada sub bab kedua disajikan penyisihan ion logam yang dipelajari berdasarkan variasi pH, massa *adsorbent* dan waktu kontak yang merupakan parameter-parameter penting di dalam adsorpsi. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk optimasi nilai parameter-parameter proses adsorpsi.

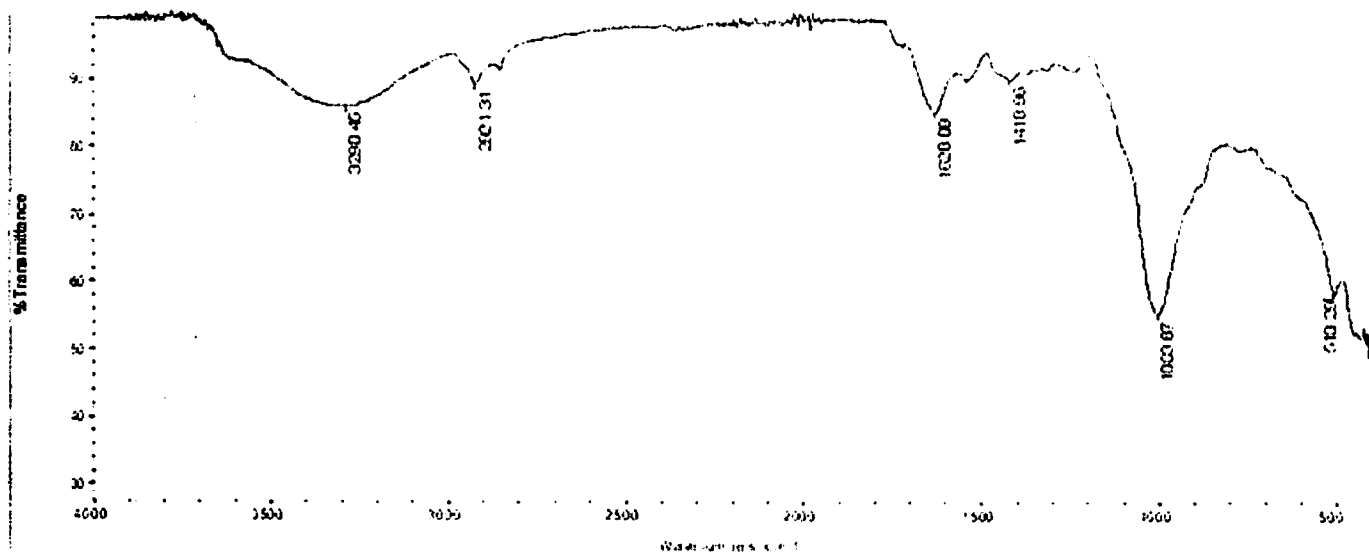
5.1.1 Karakteristik ampas tahu + Bentonit

Karakteristik fisika-kimia *adsorbent* dilakukan dengan beberapa analisis seperti analisis FTIR, SEM, dan EDX. Perbandingan hasil analisis karakteristik *adsorbent* sebelum dan sesudah berkontak dengan ion logam memberikan informasi tentang interaksi *adsorbent* dengan adsorbat.

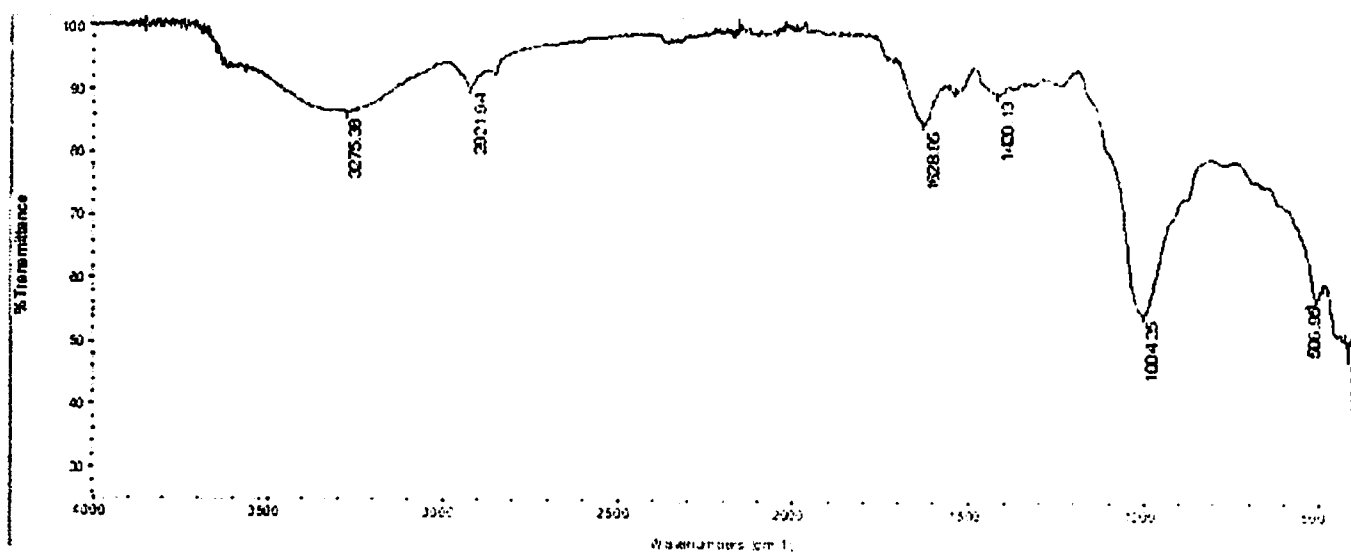
5.1.1.1 Analisis FTIR

Analisis FTIR diperlukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam *adsorbent* dan gugus fungsi yang terlibat di dalam pengikatan ion logam pada *adsorbent*. Analisis ini dilakukan pada *adsorbent* ampas tahu sebelum dan sesudah mengalami kontak dengan ion logam Pb, Cd, Cu, dan Zn.

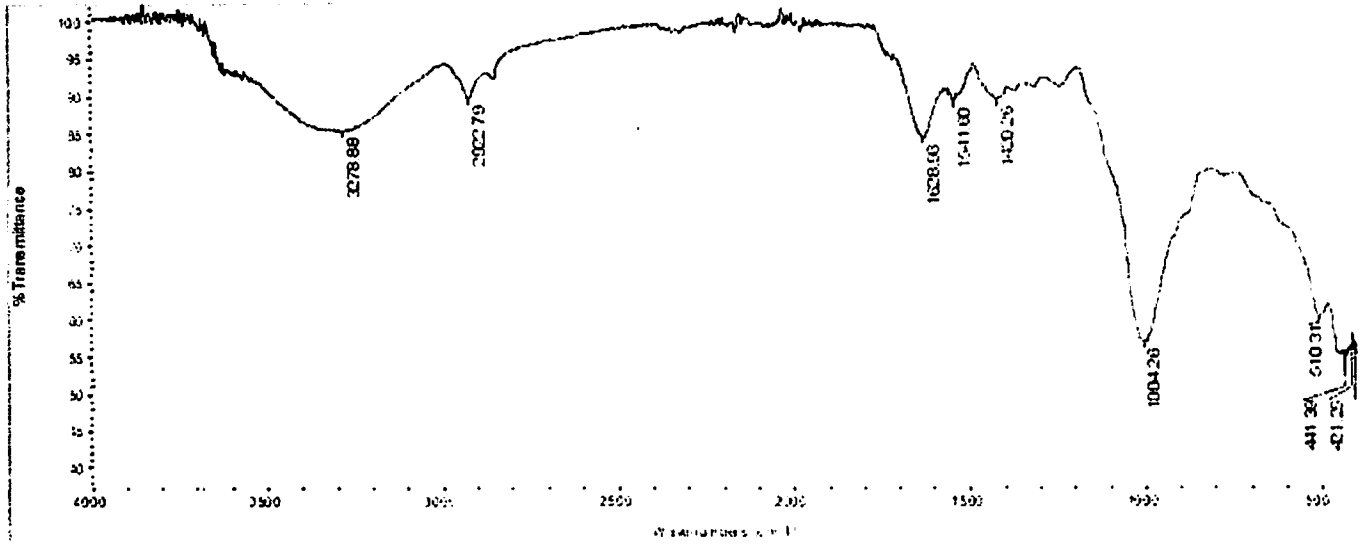
Gambar 5.1 sampai dengan 5.5 menunjukkan hasil analisis FTIR. Gambar 5.1 merupakan hasil analisis FTIR dari ampas tahu. Dari hasil analisis dapat diketahui adanya gugus OH pada 3290 cm^{-1} . Gambar 5.2 sampai dengan 5.2 merupakan hasil analisis FTIR dari ampas tahu setelah mengalami kontak dengan ion Pb, Cd, Cu dan Zn. Gambar 5.2 sampai dengan 5.5 menunjukkan adanya perbedaan nilai intensitas dan pergeseran bilangan gelombang dibandingkan dengan Gambar 5.1. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil yang serupa dengan penelitian adsorpsi ion logam yang dilakukan oleh Abdelwahab *et al.* (2014).



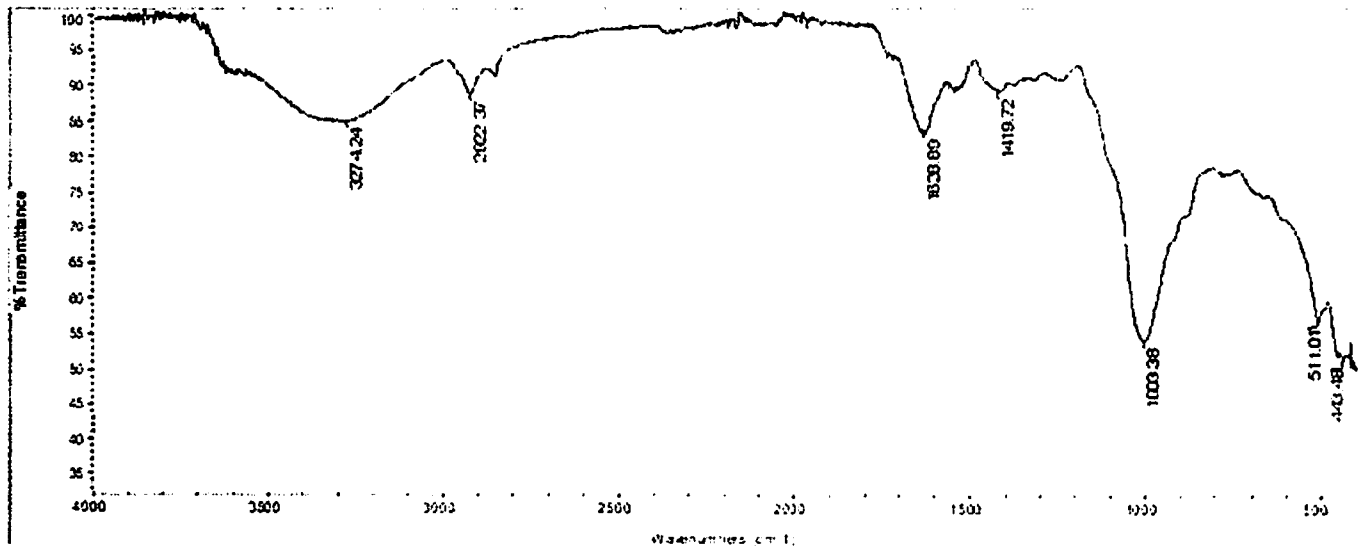
Gambar 5.1 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit sebelum kontak dengan ion logam



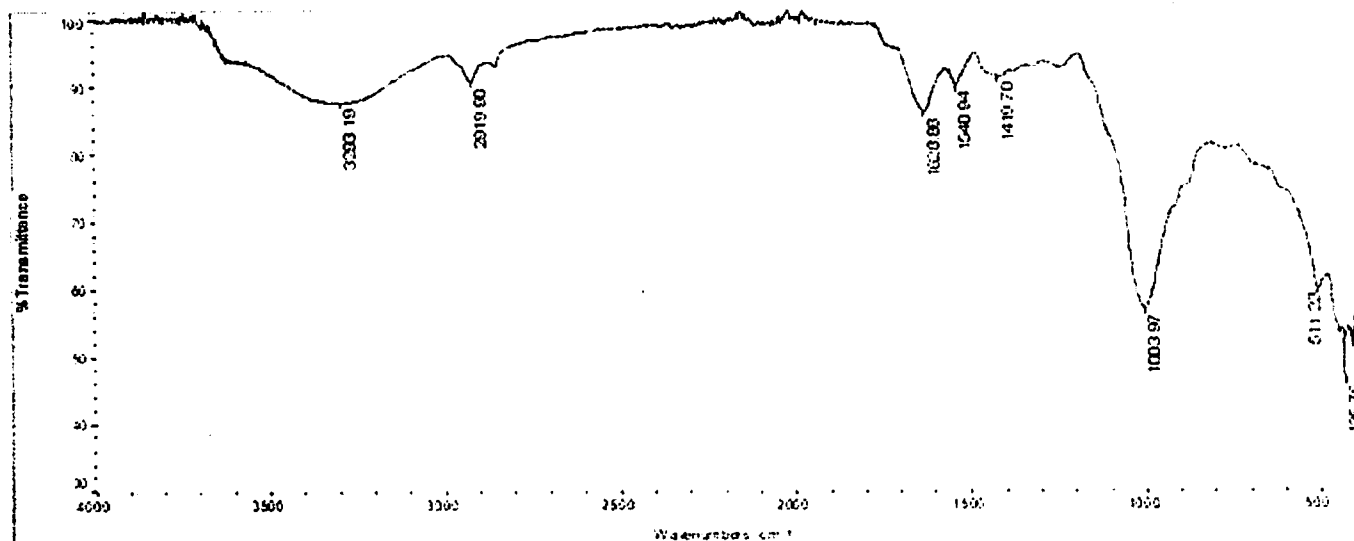
Gambar 5.2 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Pb



Gambar 5.3 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cd



Gambar 5.4 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cu



Gambar 5.5 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Zn

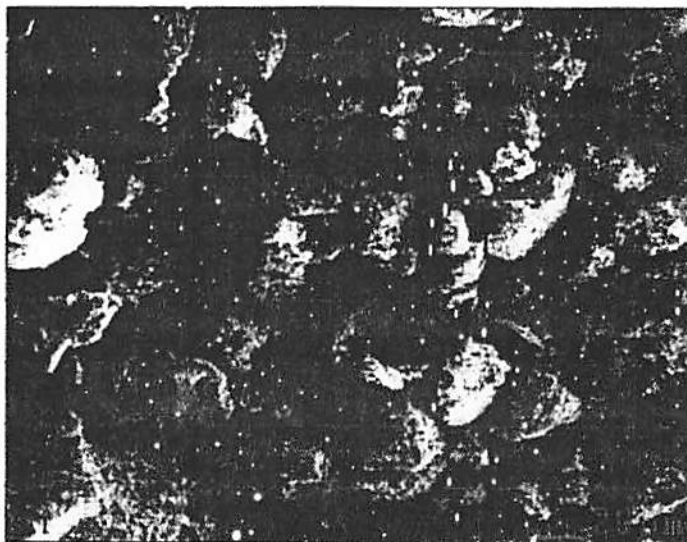
5.1.1.2 Analisis SEM EDX

Analisis SEM diperlukan untuk mengetahui karakteristik bentuk (morfologi) permukaan adsorbent. Analisis ini dilakukan pada *adsorbent* dari ampas tahu sebelum dan sesudah kontak dengan ion Pb, Cd, Cu dan Zn. *Adsorbent* memiliki permukaan yang tidak rata yang mungkin mendukung adsorpsi.

Analisis EDX diperlukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur/element-elemen yang terdapat pada adsorbent dari ampas tahu. Seperti halnya pada analisis SEM, analisis EDX dilakukan pada *adsorbent* sebelum dan sesudah kontak dengan ion Pb, Cd, Cu dan Zn. Dari hasil analisis dapat diamati keberadaan logam yang sebelumnya tidak ada menjadi ada setelah adsorpsi.



Gambar 5.6 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit sebelum kontak dengan ion logam



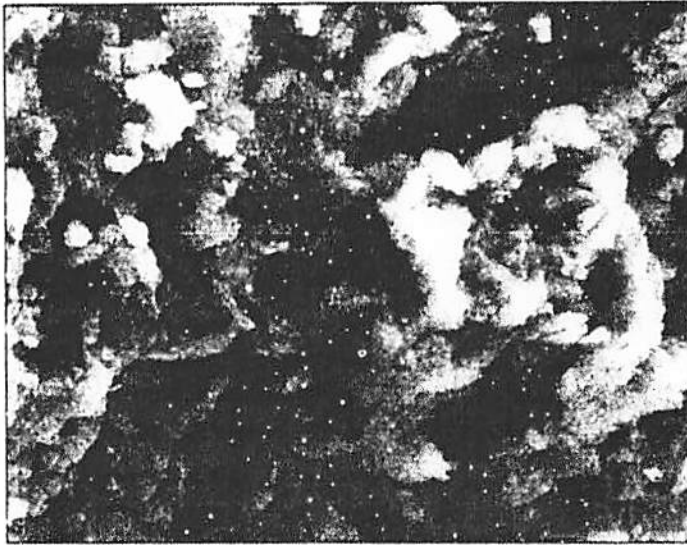
Gambar 5.7 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Pb



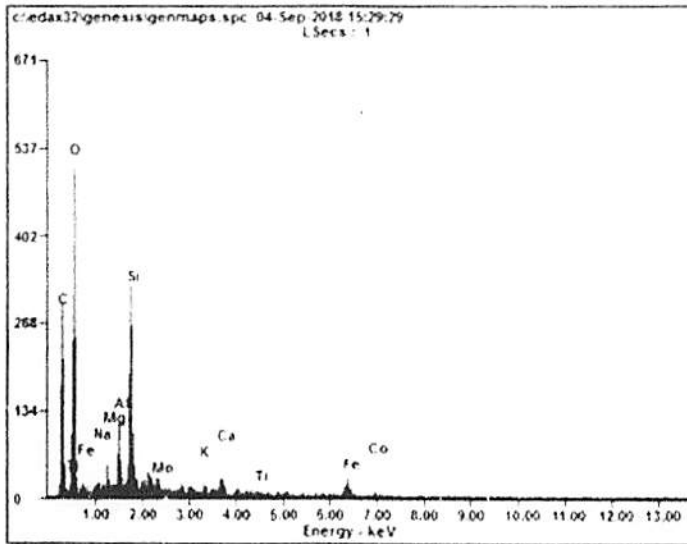
Gambar 5.8 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cd



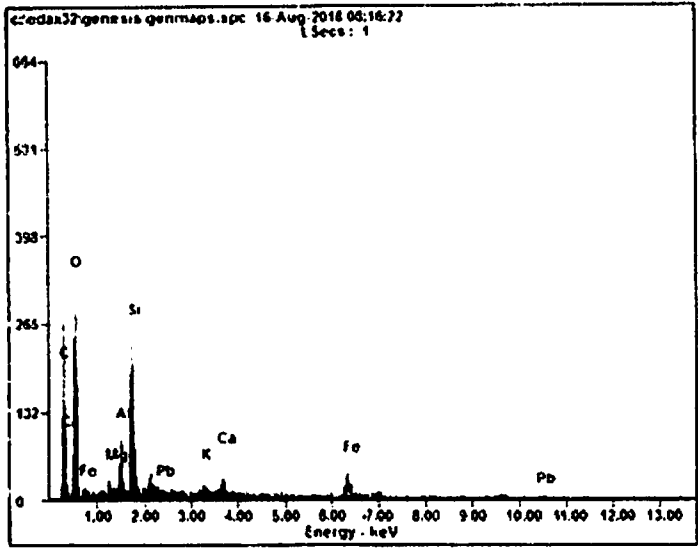
Gambar 5.9 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Cu



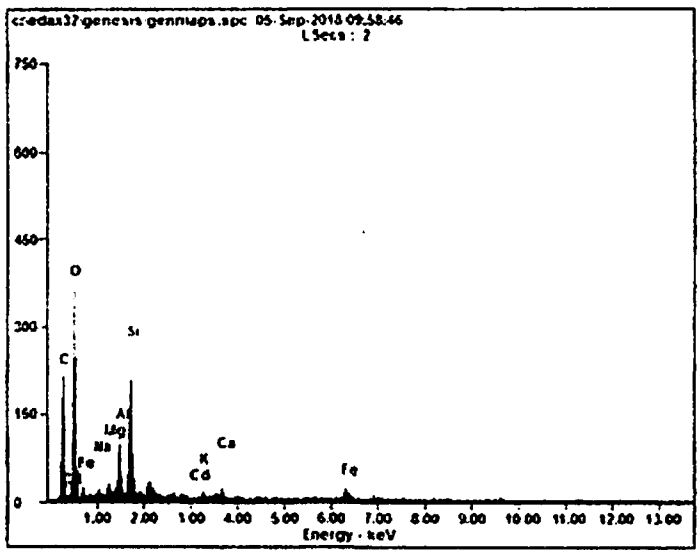
Gambar 5.10 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit setelah kontak dengan ion Zn



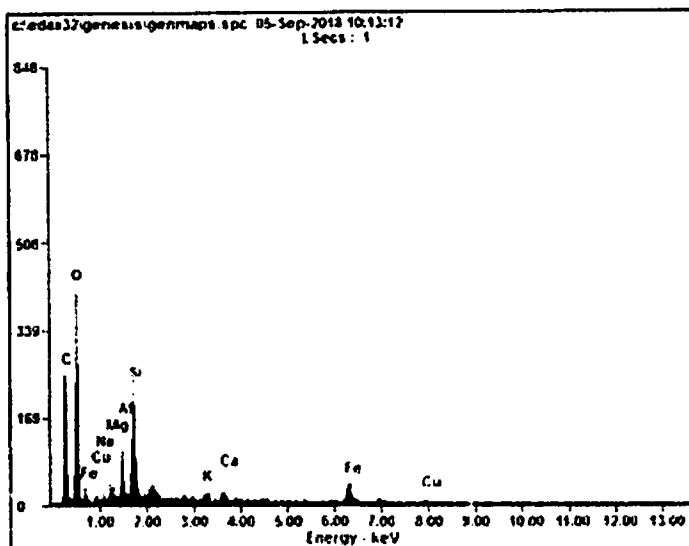
Gambar 5.11 Hasil analisis EDX ampas tahu sebelum kontak dengan ion logam



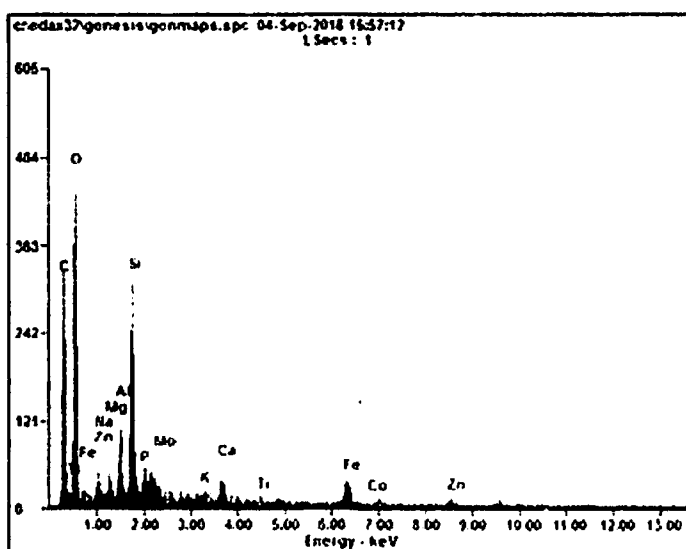
Gambar 5.12 Hasil analisis EDX ampas tahu setelah kontak dengan ion Pb



Gambar 5.13 Hasil analisis EDX ampas tahu setelah kontak dengan ion Cd



Gambar 5.14 Hasil analisis EDX ampas tahu setelah kontak dengan ion Cu



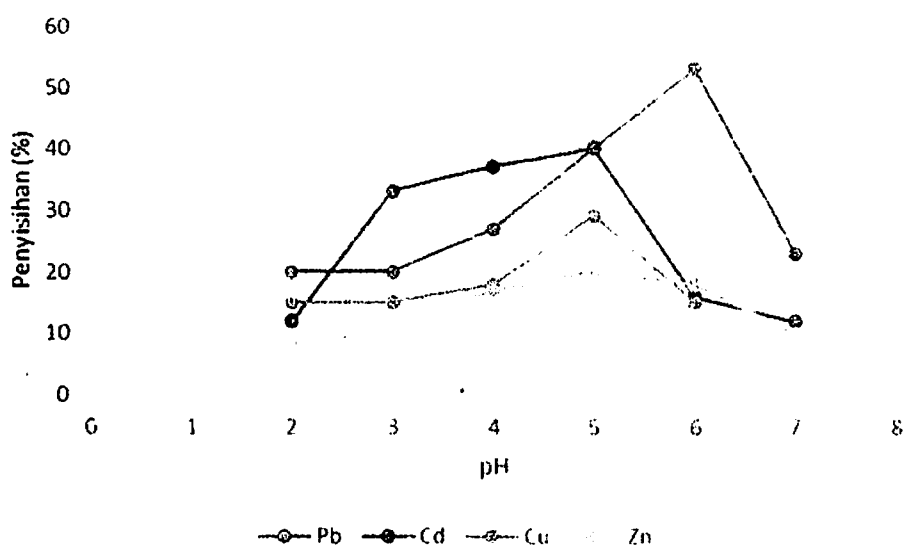
Gambar 5.15 Hasil analisis EDX ampas tahu setelah kontak dengan ion Zn

5.1.2 Efisiensi penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonit

5.1.2.1 Efisiensi penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonit berdasarkan variasi pH

Gambar 5.16 menunjukkan efisiensi penyisihan ion Pb, Cd, Cu dan Zn berdasarkan variasi pH.

Untuk keempat logam yang dipelajari, terdapat kesamaan pola atau *trend* efisiensi penyisihan: efisiensi penyisihan kecil didapatkan pada pH kerja asam/rendah dan efisiensi meningkat seiring dengan kenaikan pH kerja. Hal ini dapat diterangkan bahwa pada pH yang rendah, tingginya konsentrasi ion H^+ pada permukaan adsorbent menghalangi ion logam untuk teradsorb pada permukaan *adsorbent*, sedangkan pada pH yang lebih tinggi, pengurangan ion H^+ menaikkan adsorpsi ion logam pada permukaan *adsorbent*. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil yang serupa dengan penelitian adsorpsi ion logam yang dilakukan oleh Liang *et al.* (2016).

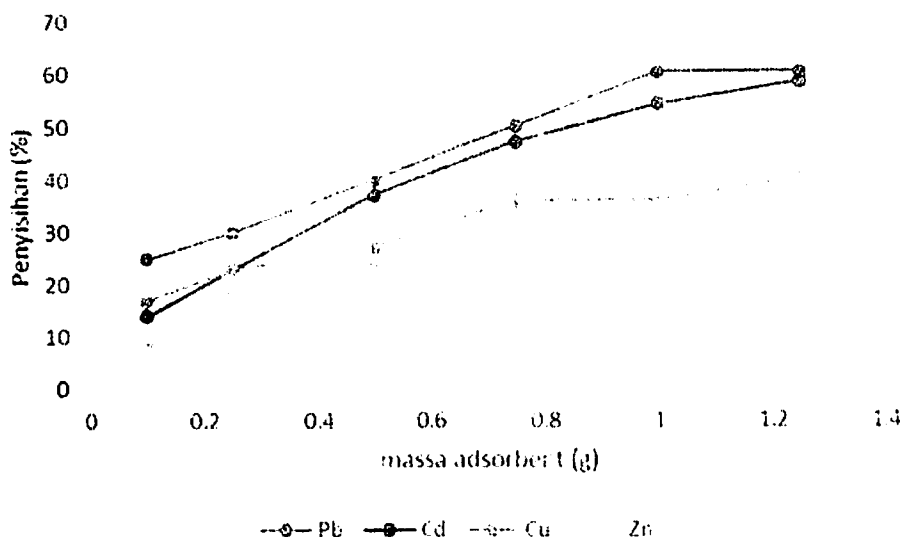


Gambar 5.16 Penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonit berdasarkan variasi pH

5.1.2.2 Efisiensi penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu berdasarkan variasi massa *adsorbent*

Gambar 5.17 menunjukkan efisiensi penyisihan ion Pb, Cd, Cu dan Zn berdasarkan variasi massa *adsorbent*.

Untuk keempat logam yang dipelajari, terdapat kesamaan pola atau *trend* efisiensi penyisihan: efisiensi penyisihan kecil didapatkan pada penggunaan massa *adsorbent* kecil dan efisiensi meningkat seiring dengan kenaikan jumlah massa *adsorbent* yang digunakan. Hal ini dapat diterangkan bahwa semakin besar massa *adsorbent* yang digunakan, semakin besar jumlah site aktif pada permukaan *adsorbent* yang berfungsi sebagai tempat untuk pengikatan ion logam pada *adsorbent*.



Gambar 5.17 Penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonit berdasarkan variasi massa *adsorbent*

5.2. Adsorpsi Pb, Cd, Cu, Zn dengan Ampas Tahu + Bentonit + Silika

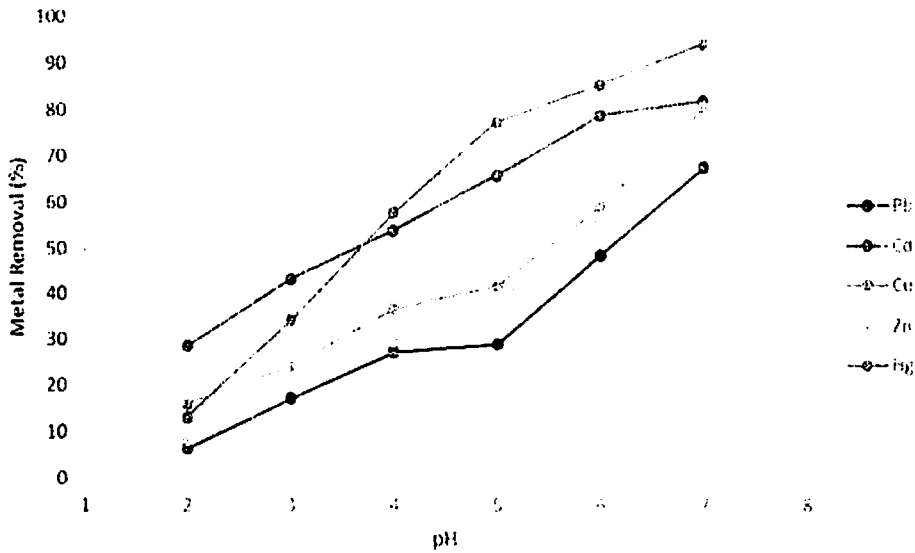
Gambar 5.18 menunjukkan efisiensi penyisihan ion Pb, Cd, Cu dan Zn berdasarkan variasi pH.

Untuk keempat logam yang dipelajari, terdapat kesamaan pola atau *trend* efisiensi penyisihan: efisiensi penyisihan kecil didapatkan pada pH kerja asam/rendah dan efisiensi meningkat seiring dengan kenaikan pH kerja. Hal ini dapat diterangkan bahwa pada pH yang rendah, tingginya konsentrasi ion H^+ pada permukaan adsorbent menghalangi ion logam untuk teradsorb pada permukaan *adsorbent*, sedangkan pada pH yang lebih tinggi, pengurangan ion H^+ menaikkan adsorpsi ion logam pada permukaan *adsorbent*. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil yang serupa dengan penelitian adsorpsi ion logam yang dilakukan oleh Liang *et al.* (2016).

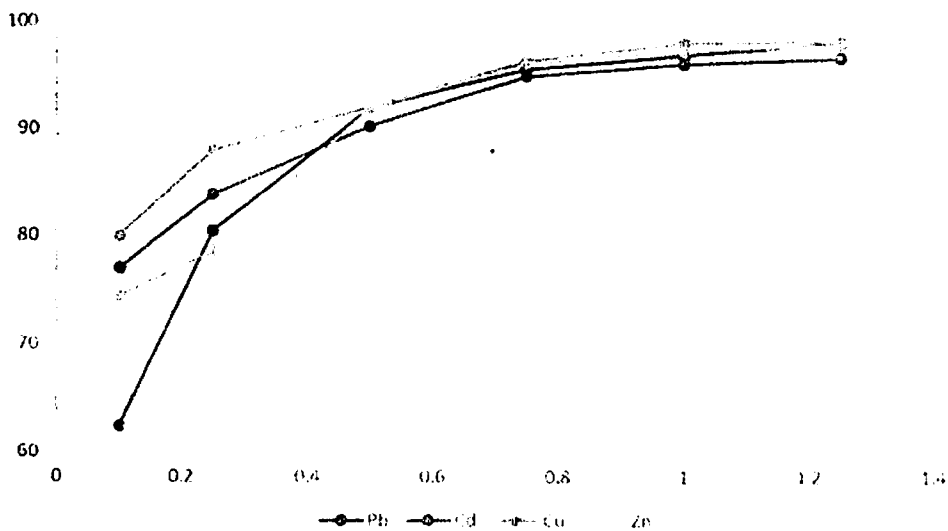
Gambar 5.19 menunjukkan efisiensi penyisihan ion Pb, Cd, Cu dan Zn berdasarkan variasi massa *adsorbent*.

Untuk keempat logam yang dipelajari, terdapat kesamaan pola atau *trend* efisiensi penyisihan: efisiensi penyisihan kecil didapatkan pada penggunaan massa *adsorbent* kecil dan efisiensi meningkat seiring dengan kenaikan jumlah massa *adsorbent* yang digunakan. Hal ini

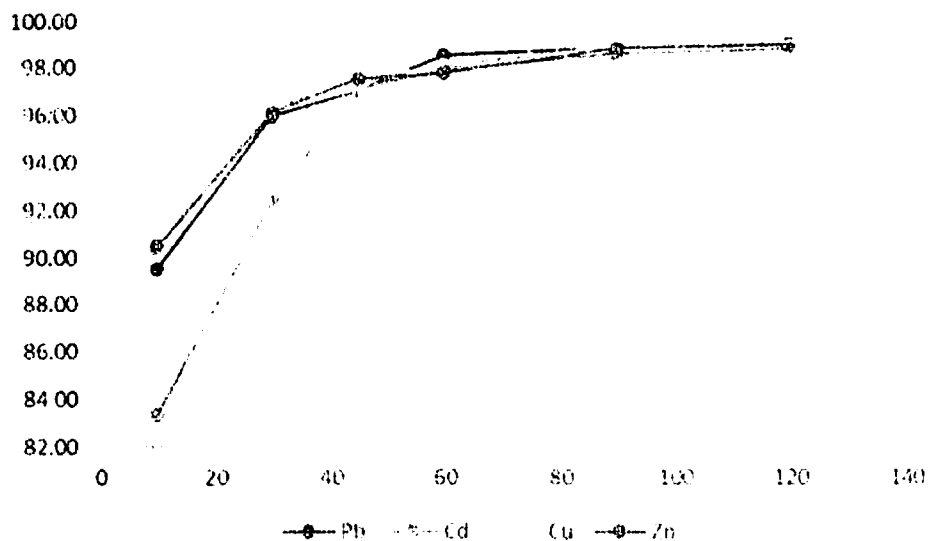
dapat diterangkan bahwa semakin besar massa *adsorbent* yang digunakan, semakin besar jumlah site aktif pada permukaan *adsorbent* yang berfungsi sebagai tempat untuk pengikatan ion logam pada *adsorbent*.



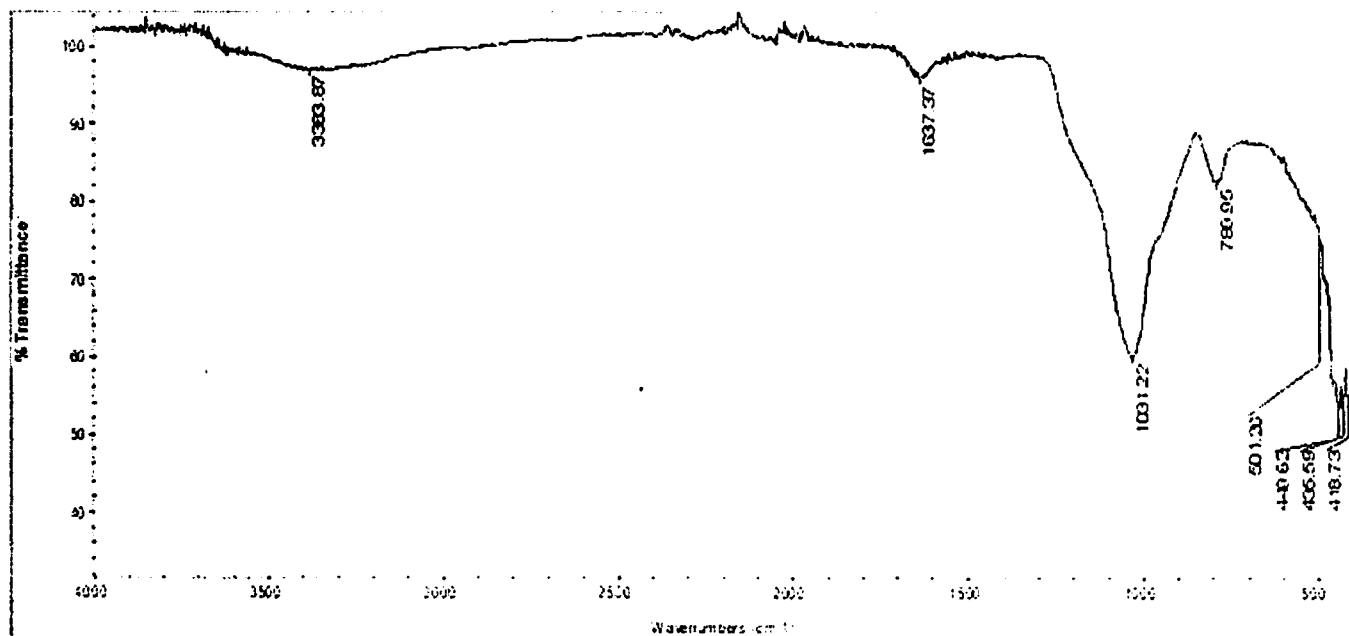
Gambar 5.18 Penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonite+silika berdasarkan variasi pH



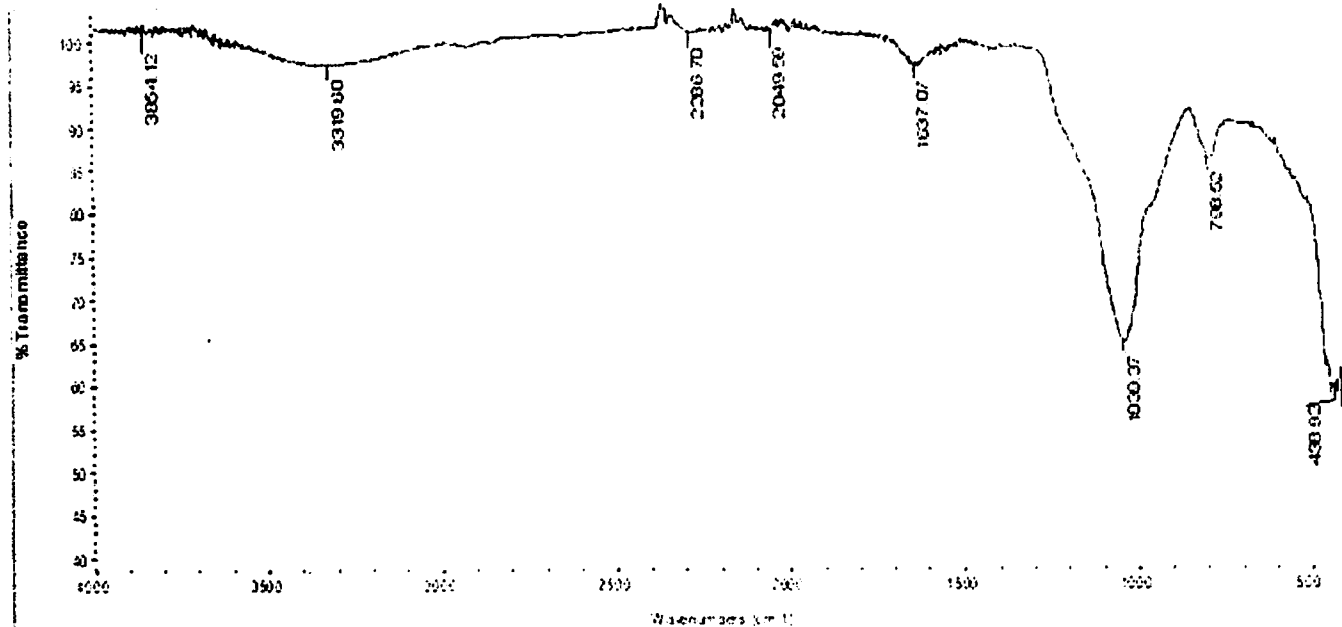
Gambar 5.19 Penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonite+silika berdasarkan variasi massa



Gambar 5.20 Penyisihan Pb, Cd, Cu, Zn dengan ampas tahu+bentonite+silika berdasarkan variasi waktu kontak



Gambar 5.21 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit+silika



Gambar 5.22 Hasil analisis FTIR ampas tahu+bentonit+silika+Cd

Analisis SEM diperlukan untuk mengetahui karakteristik bentuk (morfologi) permukaan adsorbent. Analisis ini dilakukan pada *adsorbent* dari ampas tahu sebelum dan sesudah kontak dengan ion Pb, Cd, Cu dan Zn. *Adsorbent* memiliki permukaan yang tidak rata yang mungkin mendukung adsorpsi.

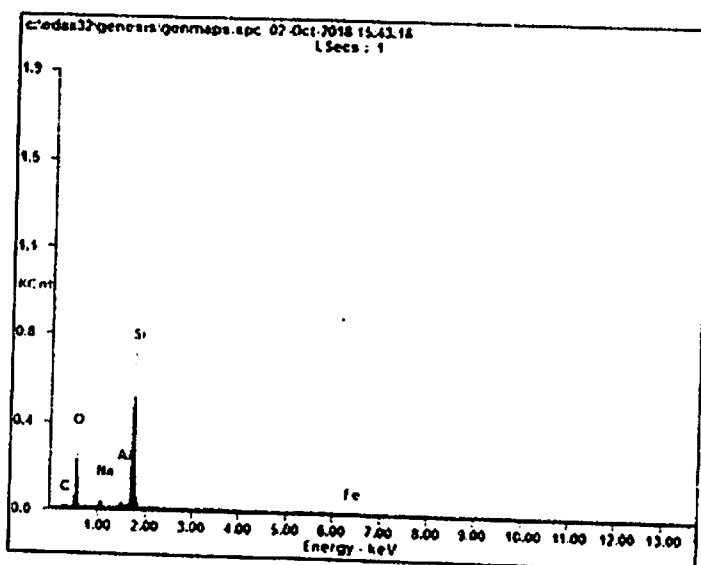
Analisis EDX diperlukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur/elemen-elemen yang terdapat pada adsorbent dari ampas tahu. Seperti halnya pada analisis SEM, analisis EDX dilakukan pada *adsorbent* sebelum dan sesudah kontak dengan ion Pb, Cd, Cu dan Zn. Dari hasil analisis dapat diamati keberadaan logam yang sebelumnya tidak ada menjadi ada setelah adsorpsi.



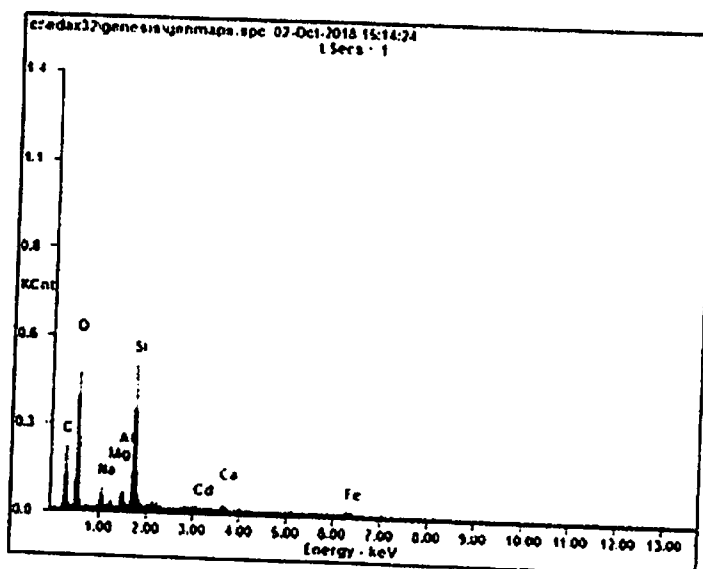
Gambar 5.23 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit+silika



Gambar 5.24 Hasil analisis SEM ampas tahu+bentonit+silika+Cd



Gambar 5.25 Hasil analisis EDX ampas tahu+bentonit+silika



Gambar 5.26 Hasil analisis EDX ampas tahu+bentonit+silika+Cd

5.3 Luaran yang Dicapai

Luaran yang dicapai adalah:

- Produk
- artikel yang telah diseminarkan pada konferensi ICST Universitas Airlangga, Agustus 2018 (terlampir)
- draft artikel untuk publikasi (terlampir)

- draft paten sederhana (terlampir)
- draft buku ajar (terlampir)

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik penelitian ini adalah:

1. Limbah tahu mampu mengadsorpsi ion logam Pb, Cd, Cu, Zn.
2. Efisiensi penyisihan ion logam bervariasi berdasarkan pH, massa *adsorbent* yang digunakan serta waktu kontak. Pada pH rendah, efisiensi penyisihan ion logam rendah dan efisiensi meningkat seiring kenaikan pH. Semakin tinggi massa adsorbent dan waktu kontak, semakin tinggi efisiensi.
3. Karakteristik fisika-kimia adsorbent berpengaruh terhadap adsorpsi ion logam, analisis FTIR menunjukkan *adsorbent* memiliki gugus fungsional yang berperan pada adsorpsi sedangkan analisis SEM EDX menunjukkan keberadaan logam pada adsorbent setelah adsorpsi.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdelwahab O., Fouad Y.O., Amin N.K., Mandor H., 2014, Kinetic and Thermodynamic Aspects of Cadmium Adsorption onto Raw and Activated Guava (*Psidium guajava*) Leaves, *Environmental Progress & Sustainable Energy*: 1-8.
- Ahamed M., Siddiqui M.H.J., 2007, Environmental lead toxicity and nutritional factors, *Clinical Nutrition* 26: 400-408.
- Carolin C.F., Kumar P.S., Saravanan A., Joshiba G.J., Naushad M., 2017, Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: review, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5: 2782-2799.
- Chen X., Zhu G., Jin T., Lei L., Liang Y., 2011, Bone mineral density is related with previous renal dysfunction caused by cadmium exposure, *Environmental Toxicology and Pharmacology* 32: 46-53.
- Chen X., Zhu G., Lei L., Jin T., 2013, The association between blood pressure and blood cadmium in a Chinese population living in cadmium polluted area, *Environmental Toxicology and Pharmacology* 36: 595-599.
- Chen X., Wang K., Wang Z., Gan C., He P., Liang Y., Jin T., Zhu G., 2014, Effects of lead and cadmium co-exposure on bone mineral density in a Chinese population, *Bone* 63: 76-80.
- Chen X., Zhou H., Li X., Wang Z., Zhu G., Jin T., 2015, Effects of lead and cadmium co-exposure on hemoglobin in a Chinese population, *Environmental Toxicology and Pharmacology* 39: 758-763.
- Gadd G.M., 2008, Bio sorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment, *J Chem Technol Biotechnol* 84: 13-28.
- Kuncoro E.P., Roussy J., Guibal E., 2005, Mercury Recovery by Polymer-Enhanced Ultrafiltration: Comparison of Chitosan and PEI Used as Macroligand, *Sep. Sci. Tech.* 40: 659-684.
- Kuncoro E.P., Fahmi M.Z., 2013, Removal of Pb and Hg in Aqueous Solution Using Coal Fly Ash Adsorbent, *Procedia Earth and Planetary Science* 6: 377-382.
- Kuncoro E.P., Darmokoesoemo H., Riandini R.O., Tiga S., 2014, Biosorption of Mercury Using Cassava Peel Waste, *Proceeding 2nd International Biology Conference*: 52-55.

- Kuncoro E.P., Soedarti T., Putranto T.W.L.C., Badriah U.L., Nisa S.Q.Z., 2015, Adsorption of Pb from Single and Binary System Using Algae Waste, Proceeding 6th International Conference on Green Technology: 177-i-177-viii.
- Liang S., Ye N., Hu Y., Shi Y., Zhang W., Yu W., Wu X., Yang J., 2016, Lead adsorption from aqueous solution by a granular adsorbent prepared from phoenix tree leaves, RSC Adv. 6: 25393-25400.
- Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Zhang J., Liang S., Tung K.L., 2013, Feasibility of iron loaded 'okara' for biosorption of phosphorous in aqueous solutions, Bioresource Technology 150: 42-49.
- Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Nguyen T.V., Zhang J., Liang S., Chen S.S., Nguyen N.C., 2014, A comparative study on different metal loaded soybean milk by-product 'okara' for biosorption of phosphorous from aqueous solution, Bioresource Technology 169: 291-298.
- Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Pham T.Q., Li F.M., Nguyen T.V., Bui X.T., 2015, Adsorption of phosphate from aqueous solutions and sewage using zirconium loaded okara (ZLO): fixed bed column study, Science of the Total Environment 523: 40-49.
- Nohong, 2011, Pemanfaatan Limbah Tahu Sebagai Bahan Penyerap Logam Krom, Kadmium dan Besi Dalam Air Lindi TPA, Jurnal Pembelajaran Sains Vol. 6 No. 2: 257-269.
- Palar H., 2008, Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.
- Rahayu E.S., Rahayu S., Sidar A., Purwadi T., Rochdyanto S., 2012, Teknologi Proses Produksi Tahu, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Rzymiski P., Tomczyk K., Rzymiski P., Poniedzialek B., Opala T., Wilczak M., 2015, Impact of heavy metals on the female reproductive system, Annals of Agricultural and Environmental Medicine Vol. 22 No. 2: 259-264.
- Suharso, Buhani, 2011, Bio sorption of Pb(II), Cu(II) and Cd(II) from Aqueous Solution Using Cassava Peel Waste Biomass, Asian Journal of Chemistry Vol. 3 No.3: 1112-1116.
- Sud D., Mahajan G., Kaur M.P., 2008, Agricultural waste material as potential for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions-A review, Bioresource Technology Vol 99: 6017-6027
- Vassallo D.V., Simoes M.R., Furieri I.B., Fioresi M., Fiorim J., Almeida E.A.S., Angeli J.K., Wiggers G.A., Pecanha F.M., Salaices M., 2011, Toxic effects of mercury lead and gadolinium on vascular reactivity, Brazilian Journal of Medical and Biological Research 44(9): 814-965.
- Yassa H.A., 2014, Autism: A form of lead and mercury toxicity, Environmental Toxicology and Environment 38: 1016-1024.

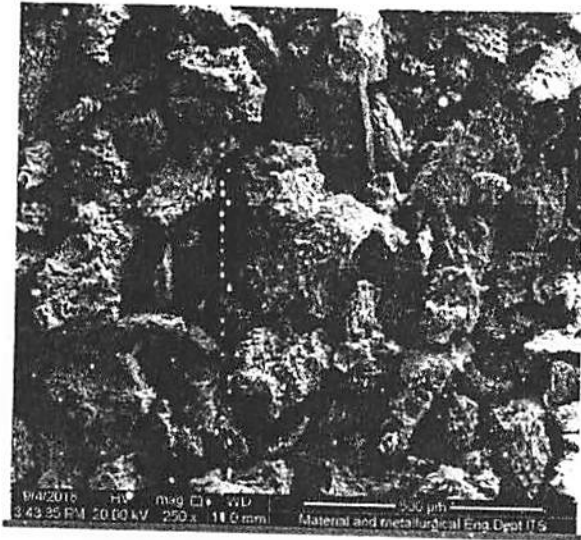
Lampiran 1 Instrumen dan Personalia

Instrumen utama yang digunakan: AAS, FTIR analyser, SEM EDX analyser

Personalia:

- Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, S.T., DEA (perencana, analisis fisik-kimia)
- Mochamad Zakki Fahmi, S.Si., M.Si., PhD (analisis fisik-kimia)
- Fadli Ama, S.T., M.T (analisis fisik-kimia)

Lampiran 2 Produk (*Adsorbent* dari ampas tahu+bentonit)



Lampiran 3 Artikel konferensi ICST Universitas Airlangga, Agustus 2018

Lead Ions Adsorption by Solid Waste of Tofu

Eko Prasetyo Kuncoro
Faculty of Science and Technology
Universitas Airlangga
Surabaya, Indonesia
eko-p-k@fst.unair.ac.id

Mochamad Zakki Fahmi, Fadli Ama
Faculty of Science and Technology
Universitas Airlangga
Surabaya, Indonesia

Abstract— The objective of this work was to investigate the adsorption of Pb ions from aqueous solution using solid waste of tofu. This materials was easy to be found and had low cost. This research contributed to control water pollution caused by lead in aquatic system. The parameters process studied were pH (in the range of 2-7), mass of adsorbent (in the range of 0.1-1g). The experiments of this work carried out in batch mode. The removal of lead ions values were increased by the increase of pH, mass of adsorbent. The removal lead ions was low in acidic pH. The removal of lead ions increased when more mass of adsorbent were added. The results showed that solid waste of tofu could remove lead ions from aqueous solution.

Keywords— lead, adsorption, solid waste of tofu

I. INTRODUCTION

Clean water is vital for life. Human cannot support the life without clean water. Actually human faced many problems concerning water. The water problems are encountered all over the world. It becomes human major concern. The problems vary from management of water use to prevention and control of water pollution.

Clean water that is ready to use becomes more difficult to find. One of the reasons is the raise of water pollution problem. Human activities are considered as the major causes that contribute to the water pollution. As the population is increase, more activities are needed to fulfill the need of products and services, these activities discharge wastewater in an important quantity to environment leading to water pollution.

Heavy metals are considered as toxic substances that can be found in water. The presence of heavy metals in water causes water quality degradation. In this condition water becomes toxic to organism living in the aquatic system and human. Lead heavy metals that can pollute water. This metal is widely used in everyday life. It is an obligation to control lead to a safe level before release to environment.

Several methods are used to control heavy metals [1]. Precipitation is favorite method for heavy metals treatment, it is used for high concentration of heavy metals and produces sludge. Ion exchange is a method having high selectivity of heavy metals removal but it is expensive. Reverse osmosis is an advance method resulting high quality of treated water but it poses also financial problem. Adsorption is an easy and relatively low cost method giving high removal of heavy metals.

There are numerous works of heavy metals adsorption. The major concern is to find alternative or new adsorbents since the use of active carbon as commercial adsorbent becomes expensive. The examples of low cost adsorbents are agricultural wastes such as tea waste, barley straw [2,3] and industrial wastes such as wastewater treatment sludge[4].

The use of solid waste of tofu as heavy metals adsorbent is interesting in a country where tofu is widely consumed. Solid waste of tofu is easily found and its quantity is abundant. This waste is needed to be managed since it can pose environmental problem. There was an important research of the use of solid waste of tofu as heavy metals adsorbent. This research reported the capability of solid waste of tofu to adsorb lead [5]. Solid waste of tofu has functional groups that can interact with heavy metals ions. With this interaction, heavy metals ions were removed from aqueous solution.

The objectives of this present work were to investigate the capability of solid waste of tofu to adsorb lead, to investigate the effect of pH, adsorbent dosage to the lead removal.

II. MATERIALS AND METHOD

Materials

Adsorbent was prepared from solid waste of tofu collected from home industry in Sidoarjo, East Java, Indonesia. Solid waste of tofu was dried under sun light for several days then it was dried in an oven at 40 C for eight hours. After this thermal treatment, the adsorbent was sieved to get particle size of 100-200 mesh then the adsorbent was mixed with bentonite and ready to be used. Lead solutions were prepared from the dilution of $Pb(NO_3)_2$ (Merck) in to desired concentration.

Batch experiments

To investigate the effect of pH, the concentration of heavy metals solution was fixed at 100 ppm, mass of adsorbent was fixed at 1 g, the range of pH was from 2 to 7, contact time was 90 minutes. To investigate the effect of adsorbent dosage, the concentration of heavy metals solution used was 100 ppm, pH was fixed at 5, the range of mass adsorbent was from 0.1 to 1 g, contact time was 90 minutes. Batch experiments were carried out by mixing the heavy metals solution and adsorbent in bottles for desired operational condition, the bottles then were placed in a shaker, after shaking the solution is filtered and analyzed using atomic absorption spectrophotometer.

The heavy metals removal was calculated using the following equation:

$$R(\%) = [(C_i - C_f)/C_i] \times 100$$

where R(%) is heavy metals removal, C_i dan C_f are the heavy metals initial and final concentrations.

III. RESULT AND DISCUSSION

Effect of pH

Figure 1 shows that the lead removal was low in acidic medium. pH is an important parameter process of adsorption. pH influences charge of the adsorbent surface. pH influences also the solubility and speciation of adsorbate.

The low heavy metals removal at low pH can be explained by the high concentration of H^+ , hydrogen ions are preferentially adsorbed at the surface of adsorbent. Moreover, pH values affects protonation and deprotonation of functional groups usually found on adsorbent such as carboxyl, hydroxyl, amino. At low pH, protonation of functional groups of adsorbent makes adsorbent surface positively charged, in this condition there is repulsion to heavy metals ions leading to the low heavy metals removal.

The increase of heavy metals removal at higher pH can be explained by the reduction concentration of H^+ , there is repulsion reduction to heavy metals ions leading to higher heavy metals ion sequestration. Deprotonation of functional groups of adsorbent takes place while the pH increases, in this condition functional groups of adsorbent becomes negatively charged and react to heavy metals ions.

The result obtained from this work is in the same trend with others works using *Cinnamomum camphora* as adsorbent for copper removal and *Terminalia catappa* leaf powder as adsorbent for zinc removal [6, 7].

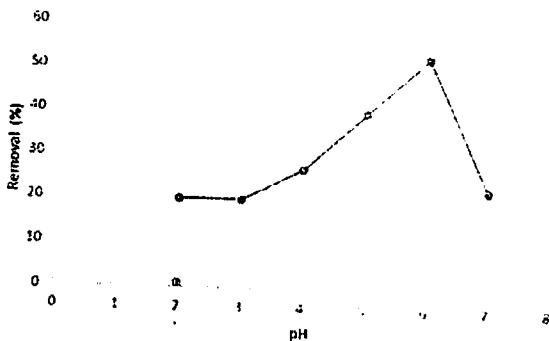


Figure 1. Effect of pH on lead adsorption onto solid waste of tofu

Effect of adsorbent dosage

Figure 2 shows that removal heavy metals studied is increase when more mass of adsorbent used are added. Adsorbent provides binding sites for heavy metals adsorption. Its dosage influences heavy metals sequestration from aqueous solution. More mass of adsorbent used resulted higher heavy metals removal. More mass of adsorbent provided more active sites for heavy metals adsorption.

The result obtained from this work is in line with other works using papaya leaf powder and paddy straw powder as adsorbent for copper removal and *Terminalia catappa* leaf powder as adsorbent for zinc removal [7]. The lead removal are increase when more mass of adsorbent are added

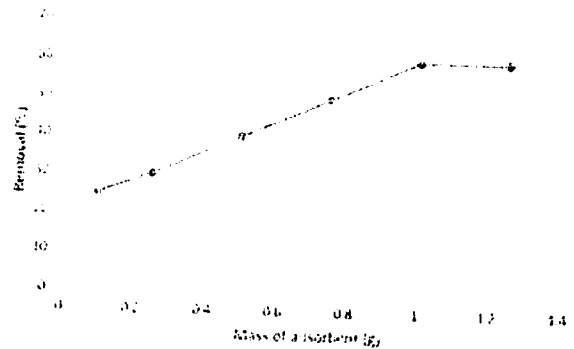


Figure 2. Effect of adsorbent dosage on lead adsorption onto solid waste of tofu.

IV. CONCLUSION

Adsorbent was prepared from solid waste of tofu to remove lead from aqueous solution. It was revealed that pH, adsorbent dosage influences metals removal. At low pH, metals removal was low. The increase of pH favored metals removal. The increase of adsorbent mass provided high metals removal. From the result obtained, solid waste of tofu can be used as adsorbent for lead.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Universitas Airlangga-Kementrian Riset Teknologi dan Perguruan Tinggi for the funding support through Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi 2018.

REFERENCES

- [1] G. Varma and A.K. Misra, "Copper contaminated wastewater-an evaluation of bioremedial options," *Indoor and Built Environment*, pp. 1-12, 2016
- [2] C.H. Weng, Y.T. Lin, D.Y. Hong, Y.C. Shrama, S.C. Chen and K. Tripathi, "Effective removal of copper ions from aqueous solution using base treated black tea waste," *Ecological Engineering*, vol. 67, pp. 127-133, 2014

- [3] M.Arshadi, M.J. Amiri and S.Mpusavi, "Kinetic, equilibrium and thermodynamic investigations of Ni(II), Cd(II), Cu(II) and Co(II) adsorption on barley straw ash," *Water Resources and Industry*, vol. 6, pp. 1-17, 2014
- [4] Y. Zhou, S. Xia, Z. Zhang, J. Zhang and S.W. Hermanowicz, "associated adsorption characteristics of Pb(II) and Zn(II) by a novel biosorbents extracted from waste-activated sludge," *J. Environ. Eng.* pp. 04016032-1-04016032-7, 2016
- [5] S. Hartati, D. Budiarta and Hermansyah, " Adsorption of lead content in leachate of Sukawinatan landfill using solid waste of tofu, " *Sriwijaya Journal of Environment*, vol. 1 no. 2, pp. 42-46, 2016
- [6] H. Chen, G. Dai, J. Zhao, A. Zhong, J. Wu, H. Yan, "Removal of copper(II) ions by a biosorbents-*Cinnamomum camphora* leaves powder," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 179, pp. 228-236, 2010
- [7] N. Rakesh, P. King and R. Suresh, " Kinetics and equilibrium studies on bisorption of zinc onto *Terminalia catappa* leaf powder," *Int. J. Res. Chem. Environ*, vol. 2, no. 4, pp. 107-114, 2012

Lampiran 4 Draft artikel

Adsorption of Cadmium by Using Solid Waste of Tofu as Adsorbent

Eko Prasetyo Kuncoro, Mochamad Zakki Fahmi, Fadli Ama

Biology Department

Universitas Airlangga

Abstract

The objective of this work was to investigate the adsorption of cadmium ions from aqueous solution using solid waste of tofu. This material was easy to be found and had low cost. This research contributed to control water pollution caused by cadmium in aquatic system. The parameters process studied were pH (in the range of 2-7), mass of adsorbent (in the range of 0.1-1g), and contact time (in the range of 5-120 minutes). The experiments of this work carried out in batch mode. The removal of cadmium ions values were increased by the increase of pH, mass of adsorbent, and contact time. The removal cadmium ion was low in acidic pH. The removal of cadmium ions increased when more mass of adsorbent were added. The removal of cadmium ion increased when the contact time were prolonged. The results showed that solid waste of tofu could remove cadmium ions from aqueous solution.

Key words: Cadmium, adsorption, solid waste of tofu

Introduction

Pollution of heavy metal waste of cadmium is an environmental problem that requires serious handling. Such heavy metal wastes due to their toxicity and the accumulated abilities of organisms in the environment can have a negative effect on the health of living things and humans.

Chen et al. (2015) reported an association between decreased hemoglobin levels in blood with lead and cadmium content. Chen et al. (2014) also reported an association between low bone mineral density with lead and cadmium content. Cadmium is a metal used in the manufacture of dyes and batteries. Cadmium can damage the kidneys, lungs, blood, and heart. Chen et al. (2011) reported an association of low bone mineral density with cadmium content. Chen et al. (2013) reported an association between increases in blood pressure and cadmium

content. The treatment of cadmium waste at low concentrations generally use the adsorption method.

Waste tofu is an interesting material to be used as an adsorbent. There are studies that utilize tofu waste as waste ads containing P (Nguyen et al., 2013; 2014; 2015) elements, whereas research on the utilization of tofu waste as heavy metal adsorbent is limited. Nohong (2011) reported the ability of tofu waste in adsorption heavy metals chromium, cadmium, and iron in landfill leachate (landfill).

Indonesia is one of the countries that produce large quantities of tofu. In Indonesia there are many tofu factories with abundant tofu waste. So far the utilization of tofu waste as an adsorbent is still considered less when developed will increase the economic value of the waste.

Based on the above background, research efforts of waste-based adsorbent know as heavy metal adsorbent is necessary, especially for the adsorption of cadmium. This on the one hand is an effort to increase the economic value of solid waste while on the other hand is the effort to control environmental pollution.

Materials and Method

The preparation of adsorbent is carried out by giving the drying treatment to the tofu waste. For the adsorbent of tofu dregs, obtained by first collecting the tofu, the tofu is removed for several days, then heated at 40 ° C for 8 hours, after which it is smoothed and filtered to obtain particles of 100-200 mesh size, it then was mixed with bentonite.

In metal adsorption with pH variation 100 mg solution of 100 mg / L concentration was inserted into 150 mL bottle then 1 mg of adsorbent added solution. The pH of the solution is regulated by HCl or NaOH, the pH varies from 2-7. The solution was then shaken for 90 minutes, then the solution sample was taken for analysis with AAS (determination of metal concentration). In metal adsorption with variation of adsorbent mass used 100 mg / L metal solution and adsorbent mass 0.1; 0.25; 0.5; 0.75; 1; 1.25 g at pH 5. In adsorption kinetics used 100 mg / L metal solution at pH 5, 1 g of adsorbent; a solution of 100 mL is placed on a 150 mL bottle then shaken. Over a certain time interval (5, 10, 30, 45, 60, 90, 120 min), samples of the solution were taken for analysis with AAS. The physical chemical analysis of adsorbent is done by FTIR.

Result and Discussion

FTIR analysis

FTIR analysis is required to find out the functional groups present in the adsorbent and the functional groups involved in bonding the metal ions in the adsorbent. This analysis is performed on the adsorbent of tofu waste before and after having contact with metal ions Cd.

Figures 1 and 2 show FTIR analysis results. Figure 1 is the result of FTIR analysis of the tofu waste. Figure 2 shows the difference in intensity value and shift of wave numbers compared with Fig. 1. The changes that occur indicate the binding of metal ions. The results of this study show results similar to those of metal ion adsorption conducted by Abdelwahab et al. (2014).

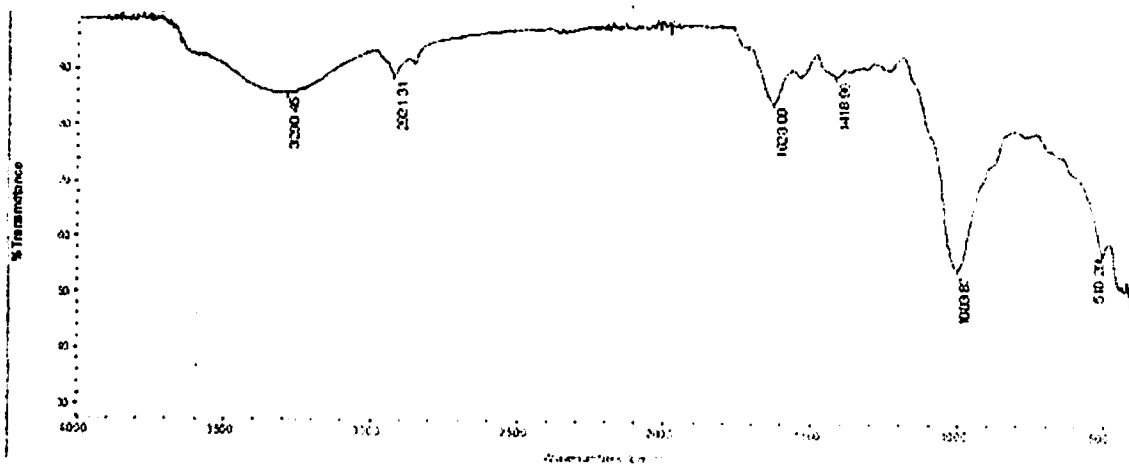


Figure 1. FTIR solid waste of tofu

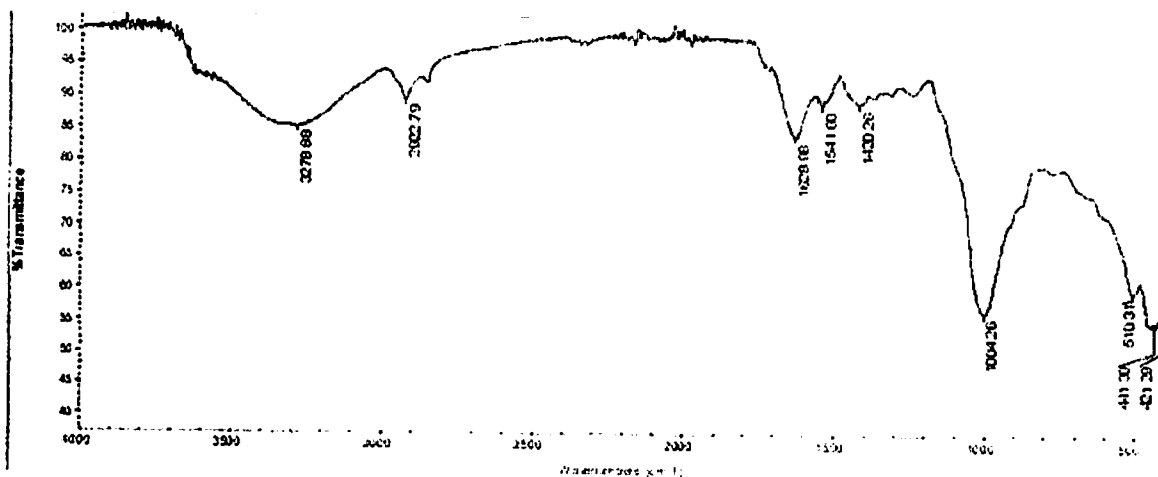


Figure 2. FTIR solid waste of tofu and cadmium

Effect of pH

Figure 3 shows the efficiency of the removal of Cd ions based on the pH variation. For the studied metal, the small allowance efficiency is obtained at the acid / low working pH and the efficiency increases as the pH increases. It can be explained that at low pH, the high concentration of H^+ ions on the adsorbent surface prevents the metal ions to adsorb on the surface of the adsorbent, while at higher pH, the reduction of H^+ ions increases the adsorption of the metal ions on the adsorbent surface. The results of this study show results similar to those of metal ion adsorption conducted by Liang et al. (2016).

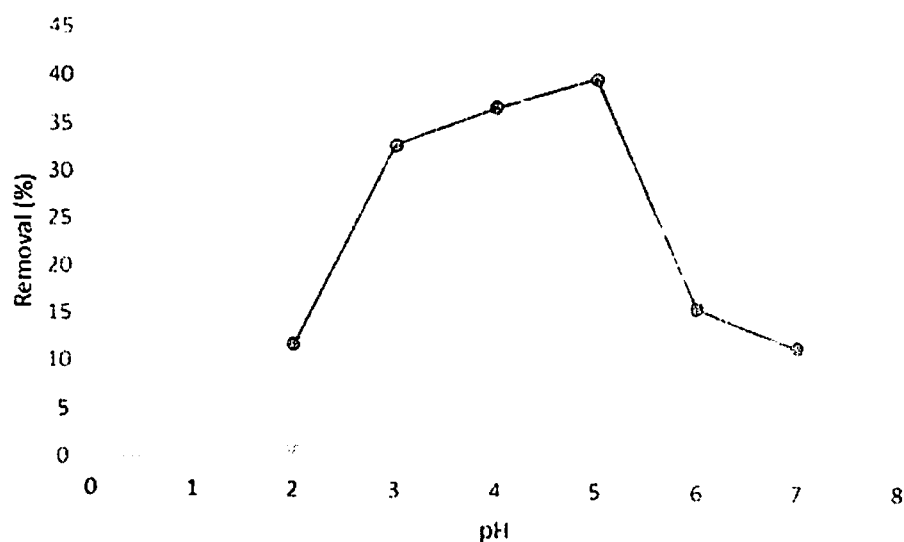


Figure 3. Effect of pH

Effect of adsorbent mass

Figure 4 shows the efficiency of the removal of Cd ions based on the adsorbent mass variation. For the studied metal, small allowance efficiency is obtained on the use of small adsorbent mass and the efficiency increases as the amount of adsorbent mass is used. It can be explained that the larger the adsorbent mass is used, the greater the number of active sites on the surface of the adsorbent which serves as a place for binding of metal ions to the adsorbent.

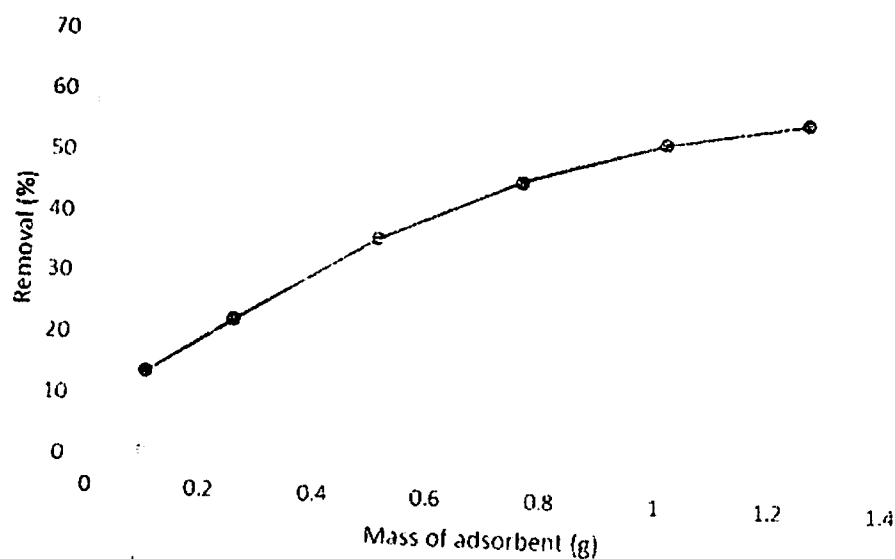


Figure 5. Effect of adsorbent mass

Conclusion

Adsorbent was prepared from solid waste of tofu to remove cadmium from aqueous solution. It was revealed that pH, adsorbent dosage and contact time influences metals removal. At low pH, metals removal was low. The increase of pH favored metals removal. The increase of adsorbent mass provided high metals removal. The increase of contact time gave high metals removal. From the result obtained, solid waste of tofu can be used as adsorbent for cadmium.

Acknowledgment

The authors would like to thank Universitas Airlangga-Kementrian Riset Teknologi dan Perguruan Tinggi for the funding support through Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi 2018.

References

Abdelwahab O., Fouad Y.O., Amin N.K., Mandor H., 2014, Kinetic and Thermodynamic Aspects of Cadmium Adsorption onto Raw and Activated Guava (*Psidium guajava*) Leaves, Environmental Progress & Sustainable Energy: 1-8.

Chen X., Zhu G., Jin T., Lei L., Liang Y., 2011, Bone mineral density is related with previous renal dysfunction caused by cadmium exposure, *Environmental Toxicology and Pharmacology* Vol.32: 46-53.

Chen X., Zhu G., Lei L., Jin T., 2013, The association between blood pressure and blood cadmium in a Chinese population living in cadmium polluted area, *Environmental Toxicology and Pharmacology* Vol 36: 595-599.

Chen X., Wang K., Wang Z., Gan C., He P., Liang Y., Jin T., Zhu G., 2014, Effects of lead and cadmium co-exposure on bone mineral density in a Chinese population, *Bone* Vol. 63: 76-80.

Chen X., Zhou H., Li X., Wang Z., Zhu G., Jin T., 2015, Effects of lead and cadmium co-exposure on hemoglobin in a Chinese population, *Environmental Toxicology and Pharmacology* Vol. 39: 758-763.

Liang S., Ye N., Hu Y., Shi Y., Zhang W., Yu W., Wu X., Yang J., 2016, Lead adsorption from aqueous solution by a granular adsorbent prepared from phoenix tree leaves, *RSC Adv.* Vol. 6: 25393-25400.

Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Zhang J., Liang S., Tung K.L., 2013, Feasibility of iron loaded 'okara' for biosorption of phosphorous in aqueous solutions, *Bioresource Technology* Vol. 150: 42-49.

Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Nguyen T.V., Zhang J., Liang S., Chen S.S., Nguyen N.C., 2014, A comparative study on different metal loaded soybean milk by-product 'okara' for biosorption of phosphorous from aqueous solution, *Bioresource Technology* Vol. 169: 291-298.

Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Pham T.Q., Li F.M., Nguyen T.V., Bui X.T., 2015, Adsorption of phosphate from aqueous solutions and sewage using zirconium loaded okara (ZLO): fixed bed column study, *Science of the Total Environment* Vol. 523: 40-49.

Nohong, 2011, Pemanfaatan Limbah Tahu Sebagai Bahan Penyerap Logam Krom, Kadmium dan Besi Dalam Air Lindi TPA, *Jurnal Pembelajaran Sains* Vol. 6 No. 2: 257-269.

Sud D., Mahajan G., Kaur M.P., 2008, Agricultural waste material as potential for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions-A review, *Bioresource Technology* Vol. 99: 6017-6027

Lampiran 5 Draft Paten

Deskripsi

LIMBAH TAHU SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT

Bidang Teknik Invensi

5 Invensi ini berhubungan dengan teknik penyiapan limbah tahu sebagai bahan penjerap (adsorben) logam berat.

Latar Belakang Invensi

10 Keberadaan limbah tahu tidak dapat dilepaskan dari konsumsi kedelai yang dimanfaatkan sebagai tahu. Pada tahun 2012, total kebutuhan kedelai nasional diperkirakan mencapai 2,2 juta ton dimana jumlah tersebut 83,7% diserap untuk pengrajin tahu dan tempe. Pada tahun 2016, konsumsi tahu diperkirakan mencapai 7,3 kg/kapita. Dari pembuatan
15 tahu dihasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah dari pembuatan tahu dapat dibedakan atas ampas tahu dan limbah cair tahu. Ampas tahu selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah cair tahu, sebgaiian besar komponennya terdiri dari bagian cair dan
20 bagian padatan yang merupakan sisa-sisa dari proses pembuatan tahu. Limbah cair tahu, umumnya dibuang langsung ke lingkungan. Dari kedua jenis limbah ini, yang dimanfaatkan sebagai adsorbent adalah bagian padatannya. Pada ampas tahu, padatan langsung dapat diperoleh tanpa
25 adanya suatu perlakuan tertentu sedangkan pada limbah cair tahu untuk mendapatkan padatan diperlukan penyaringan.

30 Karakteristik khusus limbah cair tahu adalah memiliki suhu melebihi suhu normal air, berwarna putih kekuningan dan keruh, nilai pH < 7, memiliki COD serta padatan tersuspensi atau padatan tak terlarut tinggi. Padatan

tersebut sebagian berupa protein, lemak, dan karbohidrat. Limbah cair ini berpotensi menimbulkan bau busuk karena degradasi atau perombakan protein, lemak, dan karbohidrat oleh mikroorganisme secara anaerob sehingga menyebabkan pencemaran air (Rahayu et al., 2012).

Penelitian yang memanfaatkan limbah tahu sebagai *adsorbent* masih sangat terbatas. Nohong (2010) melaporkan pemanfaatan limbah tahu untuk mengadsorpsi krom, kadmium, dan besi dari air lindi dari sebuah tempat pembuangan akhir sampah. Krom mampu teradsorpsi sepenuhnya sedangkan besi teradsorpsi 95%. Analisis eksperimental terkait mekanisme interaksi logam dengan *adsorbent*, tidak terdapat pada penelitian tersebut.

Limbah tahu sebagai *adsorbent* F, secara intensif telah diteliti dan dilaporkan . Nguyen et al. (2013, 2014, 2015) melaporkan kemampuan limbah tahu mengadsorpsi P. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *batch* dan kontinyu pada suatu reaktor. Kemampuan adsorpsi dikaitkan dengan karakteristik kimia (diperoleh melalui analisis FTIR) yang dimiliki oleh limbah tahu yaitu adanya gugus hidroksil dan karboksilat, gugus-gugus ini dilaporkan berinteraksi dengan *pollutant*. pH dilaporkan sebagai parameter yang penting di dalam adsorpsi. Nilai pH mempengaruhi spesiasi *pollutant* dan sifat *adsorbent*. Nguyen et al. (2013, 2104, 2015) melakukan modifikasi limbah tahu dengan FeCl₃, kombinasi *metal*. Modifikasi dilakukan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi P.

Uraian Singkat Invensi

Persiapan *adsorbent* dilakukan dengan memberi perlakuan pengeringan pada limbah tahu. Untuk *adsorbent* dari ampas tahu, diperoleh dengan terlebih dahulu
5 mengumpulkan ampas tahu, ampas tahu dikeringanginkan selama beberapa hari, kemudian dioven pada suhu 40 °C selama 8 jam, setelah itu dihaluskan dan disaring untuk mendapatkan partikel dengan ukuran 100-200 mesh. Sedangkan *adsorbent* dari limbah cair tahu diperoleh dengan terlebih dulu
10 mengumpulkan limbah cair tahu, selanjutnya disaring dan dikeringanginkan selama beberapa hari, kemudian pengovenan dan pengayakan dilakukan mengikuti prosedur yang sama dengan *adsorbent* dari ampas tahu.

15 Uraian Lengkap Invensi

Persiapan *adsorbent* dilakukan dengan memberi perlakuan pengeringan pada limbah tahu. Untuk *adsorbent* dari ampas tahu, diperoleh dengan terlebih dahulu
mengumpulkan ampas tahu, ampas tahu dikeringanginkan selama
20 beberapa hari (10 hari), kemudian dioven pada suhu 40 °C selama 8 jam (kondisi optimum untuk menghindari kerusakan), setelah itu dihaluskan dan disaring untuk mendapatkan partikel dengan ukuran 100-200 mesh (kondisi optimum untuk adsorpsi).

25 Sedangkan *adsorbent* dari limbah cair tahu diperoleh dengan terlebih dulu mengumpulkan limbah cair tahu, selanjutnya disaring (menggunakan kain) dan dikeringanginkan selama beberapa hari(10 hari), kemudian pengovenan dan pengayakan dilakukan mengikuti prosedur yang
30 sama dengan *adsorbent* dari ampas tahu.

Klaim

1. Metode pembuatan adsorbent dari limbah tahu:
 - a Pengumpulan ampas tahu.
 - b Pengeringan ampas tahu selama 10 hari.
 - 5 c Pengovenan ampas tahu selama 8 jam pada 40^o C
 - d Penghalusan
 - e Pengayakan untuk mendapatkan ukuran partikel 100-200 mesh
2. Metode pembuatan adsorbent dari limbah cair tahu:
 - 10 a. Pengumpulan limbah cair tahu.
 - b. Penyaringan dengan kain.
 - c. Pengeringan padatan selama 10 hari.
 - d. Pengovenan padatan selama 8 jam pada 40^o C
 - e. Penghalusan
 - 15 d. Pengayakan untuk mendapatkan ukuran partikel 100 - 200 mesh

Abstrak**LIMBAH TAHU SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT**

5 Invensi ini berhubungan dengan teknik penyiapan limbah tahu sebagai bahan penjerap (adsorben) logam berat.

 Persiapan *adsorbent* dilakukan dengan memberi perlakuan pengeringan pada limbah tahu. Untuk *adsorbent* dari ampas tahu, diperoleh dengan terlebih dahulu
10 mengumpulkan ampas tahu, ampas tahu dikeringanginkan selama beberapa hari, kemudian dioven pada suhu 40 °C selama 8 jam, setelah itu dihaluskan dan disaring untuk mendapatkan partikel dengan ukuran 100-200 mesh. Sedangkan *adsorbent* dari limbah cair tahu diperoleh dengan terlebih dulu
15 mengumpulkan limbah cair tahu, selanjutnya disaring dan dikeringanginkan selama beberapa hari, kemudian pengovenan dan pengayakan dilakukan mengikuti prosedur yang sama dengan *adsorbent* dari ampas tahu.

20

Lampiran 5 Draft Buku Ajar

ADSORPSI LOGAM BERAT

Dr. EKO PRASETYO KUNCORO, S.T., DEA

Program Studi Ilmu dan Teknologi Lingkungan, Universitas Airlangga

MOCHAMAD ZAKKI FAHMI, S.Si., M.Si., Ph.D.

Program Studi Kimia, Universitas Airlangga

FADLI AMA, S.T., M.T.

Program Studi Teknobiomedik, Universitas Airlangga

DAFTAR ISI

LOGAM BERAT

PENGOLAHAN LOGAM BERAT

ADSORPSI DAN PENERAPANNYA

ADSORBENT

KARAKTERISASI INTERAKSI ADSORBENT-ADSORBAT

MASA DEPAN ADSORPSI

BAB I LOGAM BERAT

Merkuri dan timbal bersama dengan kadmium dikenal sebagai trio toksik, bahan yang memiliki tingkat toksisitas yang tinggi terhadap makhluk hidup. Merkuri dan timbal sebagai limbah dapat dijumpai sebagai hasil dari kegiatan manusia seperti pada dok kapal dan industri baterai.

Merkuri merupakan logam dengan bobot atom 200,59 dan berwujud cair pada suhu ruang. Merkuri digunakan dalam industri klor-alkali, thermometer, lampu, fungisida, industri kertas (Palar, 2008). Merkuri dilaporkan sebagai logam yang memiliki pengaruh yang negatif terhadap makhluk hidup. Vasallo *et al.* (2011) mereview tentang adanya masalah *cardiovascular* yang disebabkan oleh merkuri. Merkuri dilaporkan menyebabkan masalah pada sistem reproduksi wanita (Rzymiski *et al.*, 2015). Merkuri juga dilaporkan sebagai penyebab autisme (Yassa, 2014). Penyakit Minamata di Jepang disebabkan oleh konsumsi produk laut yang mengandung merkuri yang berasal dari pembuangan limbah merkuri ke laut.

Timbal merupakan logam dengan bobot atom 207,2. Timbal digunakan pada industri baterai, pelapisan logam, industri keramik (Palar, 2008). Ahamed dan Siddiqui (2007) mereview tentang toksisitas timbal. Pengaruh pada kesehatan adalah kerusakan syaraf, resiko kanker, anemia, kelahiran yang tidak sempurna, pertumbuhan yang terlambat. Chen *et al.* (2015) melaporkan adanya hubungan antara penurunan kadar hemoglobin pada darah dengan kandungan timbal dan kadmium. Chen *et al.* (2014) juga melaporkan hubungan antara rendahnya densitas mineral tulang dengan kandungan timbal dan kadmium.

Kadmium merupakan logam yang digunakan pada pembuatan zat warna dan baterai. Kadmium dapat merusak ginjal, paru-paru, darah, dan jantung (Palar, 2008). Chen *et al.* (2011) melaporkan adanya hubungan rendahnya densitas mineral tulang dengan kandungan kadmium. Chen *et al.* (2013) melaporkan hubungan antara kenaikan tekanan darah dengan kandungan kadmium.

Tembaga merupakan logam dengan bobot atom 63,546. Tembaga digunakan sebagai bahan untuk *alloy* dan cat. Tembaga dapat menyebabkan penyakit Wilson dan Kinsky (Palar, 2008). Sedangkan seng digunakan pada industri elektroplating.

Tabel di bawah ini memberikan tingkat prioritas pengolahan logam.

Table 2
Ranking of metal interest priorities

| Relative priority | Environmental risk | Reserve depletion | Combined factors |
|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| High | Cd | Cd | Cd |
| | Pb | Pb | Pb |
| | Hg | Hg | Hg |
| | - | Zn | Zn |
| Medium | - | Al | - |
| | Cr | - | - |
| | Co | Co | Co |
| | Cu | Cu | Cu |
| | Ni | Ni | Ni |
| | Zn | - | (see High) |
| Low | Al | - | Al |
| | - | Cr | Cr |
| | Fe | Fe | Fe |

Table 3
Major target industrial sectors

| Industry | Metals | Possible interferences |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
| Mining operations | Cations: Cu, Zn, Pb, Mn, U, ... Anions: Cr, As, Se, V, ... | Fe, Al sulphates, phosphates |
| Electroplating operations | Cr, Ni, Cd, Zn | Fe, surfactants |
| Metal processing | Cu, Zn, Mn | Fe, Al, surfactants |
| Coal-fired power generation | Cu, Cd, Mn, Zn | Fe, Al |
| Nuclear industry | U, Th, Ra, Sr, Eu, Am, ... | Fe |
| Special operations | Hg, Au and precious metals | |

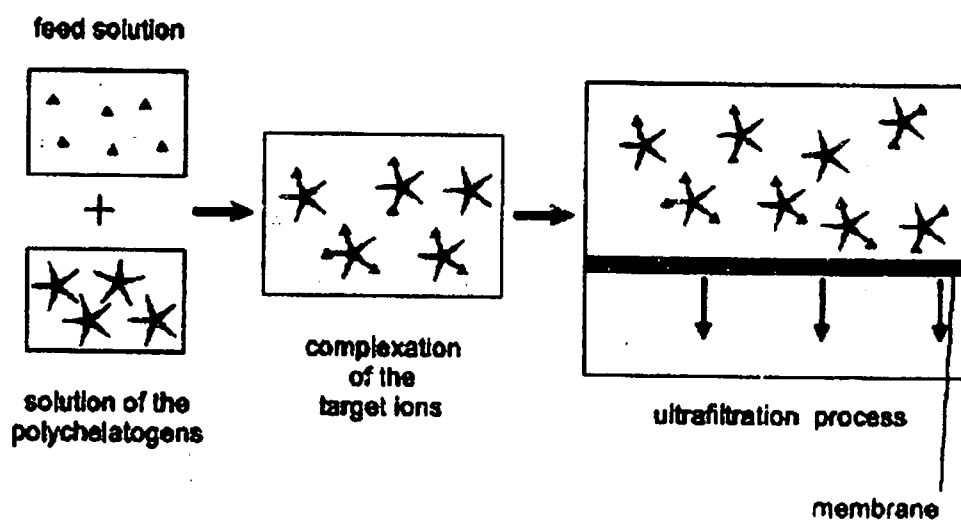
BAB II PENGOLAHAN LOGAM BERAT

Mengingat logam berat memiliki efek yang negatif terhadap lingkungan, maka sebelum dibuang ke lingkungan, logam berat perlu untuk diolah terlebih dahulu. Pengolahan logam berat bertujuan untuk menurunkan tingkat toksisitas logam berat ke tingkat yang aman sehingga apabila masuk ke lingkungan akan mengurangi dampak negatif yang dapat timbul.

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengolah limbah logam berat. Metode-metode tersebut adalah koagulasi/flokulasi, pertukaran ion, flotasi, filtrasi membran, presipitasi kimia, adsorpsi (Carolin *et al.*, 2017)

Metode yang umum digunakan adalah presipitasi. Metode ini cukup efektif untuk mengolah limbah logam berat dengan konsentrasi tinggi. Kekurangan dari metode ini adalah timbulnya lumpur hasil pengolahan yang berbahaya apabila dibuang ke lingkungan. Metode membran dikenal memiliki efisiensi yang tinggi tetapi biaya pengoperasiannya cukup mahal. Sedangkan adsorpsi merupakan metode yang mampu mengolah logam berat berkonsentrasi rendah serta mudah pengoperasiannya.

Berikut ini adalah salah satu metode yang digunakan yaitu penggunaan membran untuk menyaring logam berat.



BAB III ADSORPSI DAN PENERAPANNYA

Adsorpsi merupakan salah satu dari teknologi pengolahan limbah B3 yang telah banyak dipakai. Adsorpsi adalah akumulasi dari suatu substansi pada permukaan antara 2 fase seperti padatan-cairan atau padatan-gas. Substansi yang terakumulasi disebut *adsorbate* sedangkan padatan dimana adsorpsi terjadi disebut *adsorbent*.

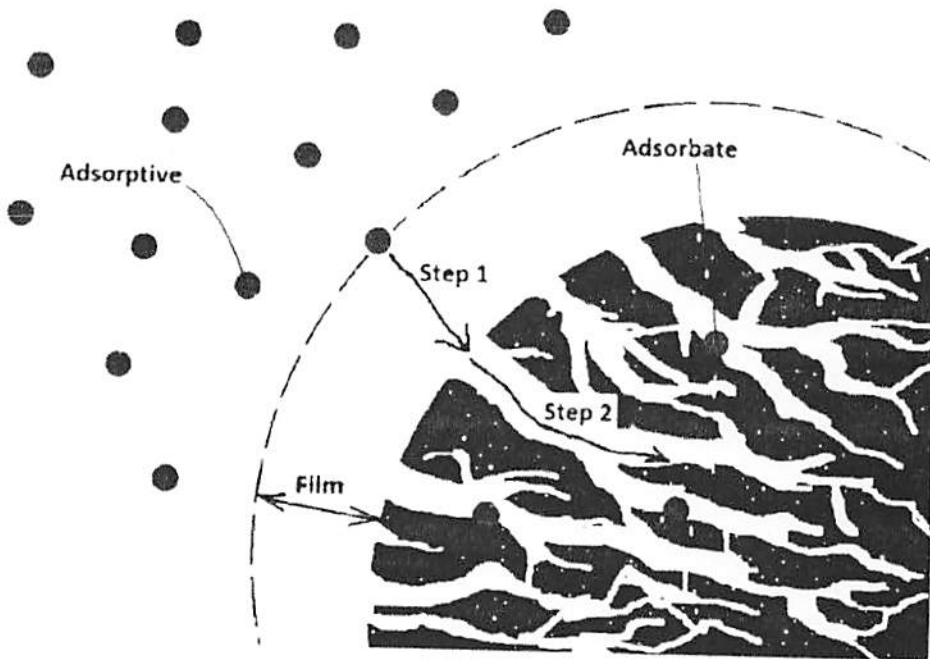
Kelebihan yang dimiliki adsorpsi dibandingkan dengan teknologi yang lain antara lain:

- pengoperasian mudah
- disain sederhana
- dapat menyisahkan berbagai macam *pollutant*
- minimisasi *sludge* (lumpur)
- kemungkinan regenerasi (penggunaan kembali) *adsorbent*

| Conventional metal removal technologies | | |
|---|---|---|
| Method | Disadvantages | Advantages |
| Chemical precipitation and filtration | for higher concentrations difficult separation NOT effective resulting sludges | simple cheap |
| Chemical oxidation or reduction | chemicals required (not universal) biological system (slow rates) climate sensitive | mineralization mineralization |
| Electrochemical treatment | for high concentrations | metal recovery |
| Reverse osmosis | EXPENSIVE high pressures membrane scaling | pure effluent (for recycle) |
| Ion exchange | sensitive to particles EXPENSIVE REGENS | effective pure effluent metal recovery possible |
| Adsorption | not for metals | conventional adsorbents for metals |
| Evaporation | energy intensive EXPENSIVE resulting sludges | pure effluent (for recycle) |

Adsorpsi dapat dibedakan menjadi *physical adsorption* dan *chemisorption*. Jenis adsorpsi yang pertama disebabkan oleh gaya-gaya van der Waals sedangkan jenis yang terakhir disebabkan oleh adanya ikatan antara *adsorbent* dan *adsorbate*.

Gambar berikut memberikan gambaran mekanisme adsorpsi beserta gugus fungsional yang terlibat.



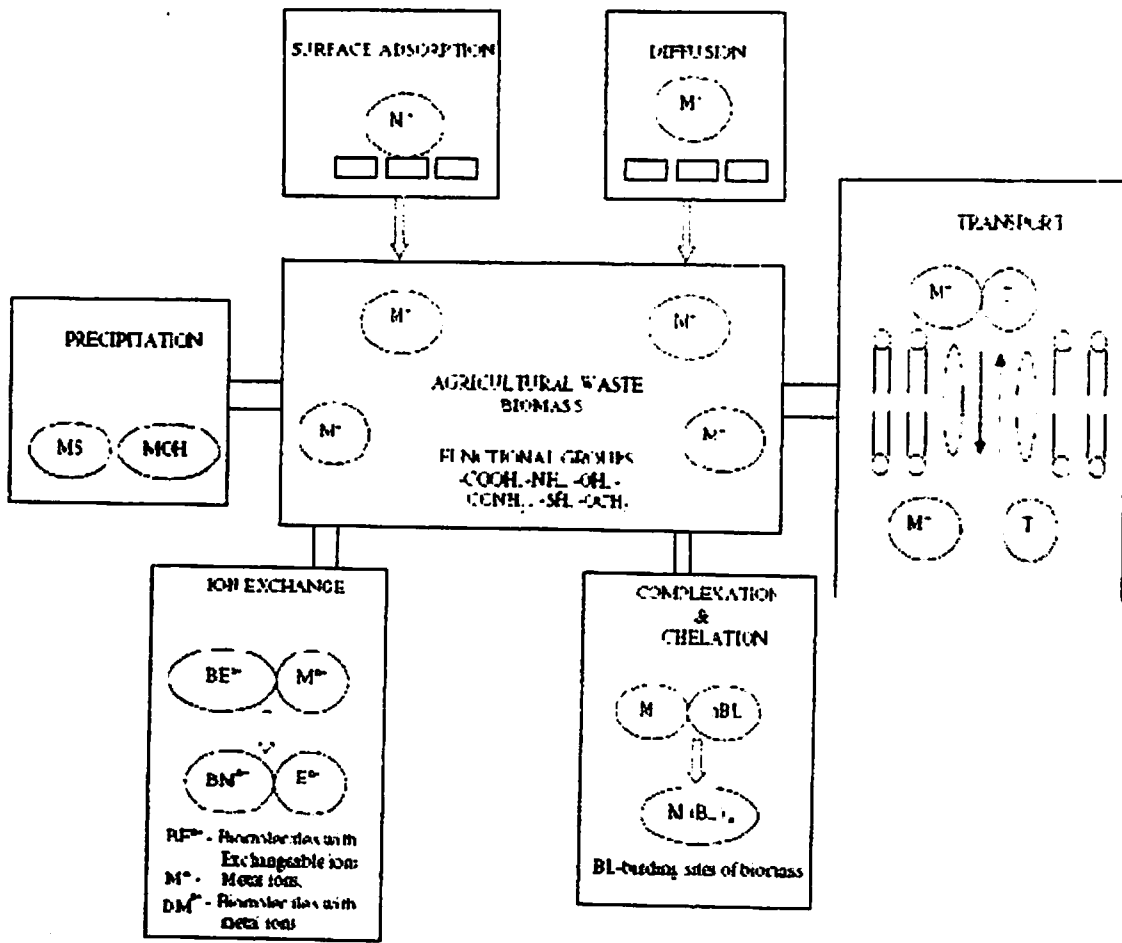
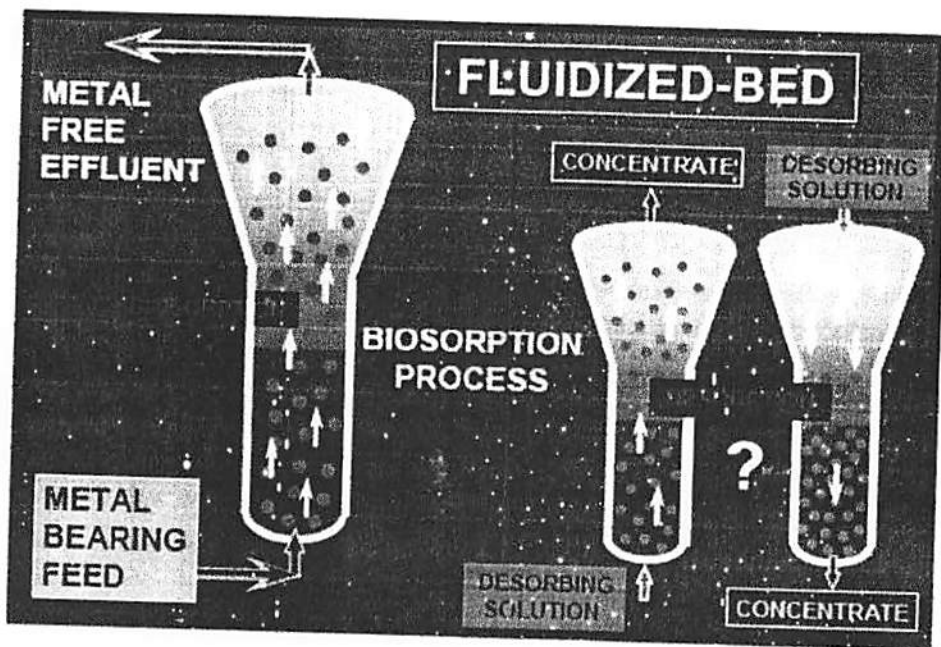
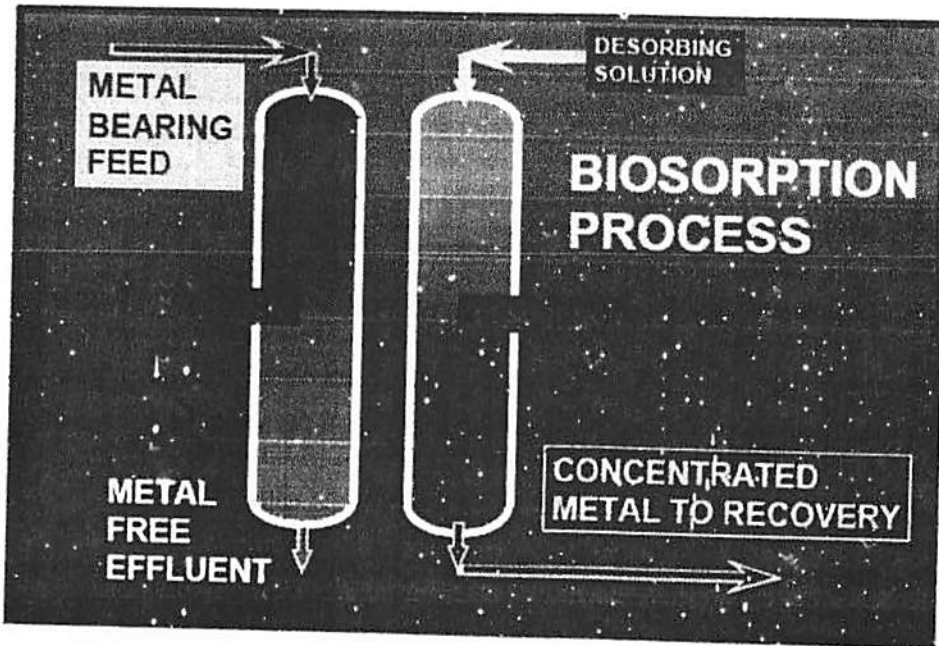


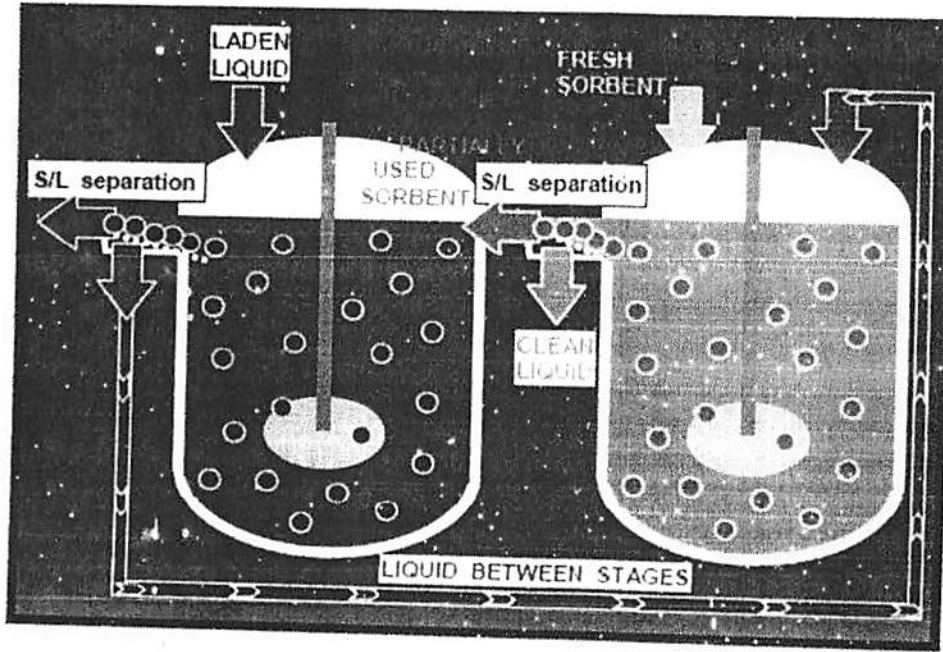
Table 1 - Major binding groups for biosorption

| Binding group | Structural formula | pK _a | HSAB classif. | Ligand atom | Occurrence in selected biomolecules |
|--------------------|--|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
| Hydroxyl | -OH | 9.5-13 | Hard | O | PS, UA, SPS, AA |
| Carbonyl (ketone) | >C=O | - | Hard | O | Peptide bond |
| Carboxyl | $\begin{array}{c} \text{-C(=O)} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ | 1.7-4.7 | Hard | O | UA, AA |
| Sulphydryl (thiol) | -SH | 8.3-10.8 | Soft | S | AA |
| Sulfonate | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-S(=O)} \\ \\ \text{O} \end{array}$ | 1.3 | Hard | O | SPS |
| Thioether | >S | - | Soft | S | AA |
| Amine | -NH ₂ | 8-11 | Int. | N | Cto, AA |
| Secondary amine | >NH | 13 | Int. | N | Cti, PG, peptide bond |
| Amide | $\begin{array}{c} \text{-C(=O)} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ | - | Int. | N | AA |
| Imine | =NH | 11.6-12.6 | Int. | N | AA |
| Imidazole | $\begin{array}{c} \text{-C-N-H} \\ \quad \\ \text{H-C-N} \end{array}$ | 6.0 | Soft | N | AA |
| Phosphonate | $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{-P=O} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ | 0.9-2.1 | Hard | O | PL |
| Phosphodiester | $\begin{array}{c} >P=O \\ \\ \text{OH} \end{array}$ | 1.5 | Hard | O | TA, LPS |

PS = polysaccharides; UA = uronic acids; SPS = sulfated PS; Cto = chitosan; PG = peptidoglycan; AA = amino acids; TA = tauric acid; PL = phospholipids; LPS = lipopolysaccharides.

- Di dalam pengoperasian sistem yang digunakan untuk adsorpsi, terdapat 3 buah sistem:
- *sorption column/fixed bed system*
 - *fluid bed system*
 - *completely mixed tank*





BAB IV ADSORBENT

Adsorbent yang ada dapat dibedakan menjadi *adsorbent* komersial dan *adsorbent* alternatif. Banyak penelitian dilakukan untuk menemukan *adsorbent* baru yang kompetitif; penelitian adsorpsi dengan menggunakan biomassa dimulai pada sekitar tahun 1980-an oleh Bohumil Volesky, selanjutnya banyak peneliti lain yang mengikuti trend ini. Secara garis besar pada tahap penelitian, biasanya dilakukan 2 eksperimen penting yaitu *isotherm adsorption* dan kinetika adsorpsi (dilakukan secara *batch*) serta adsorpsi pada *column reactor*. Selain itu, dilakukan juga pengembangan model adsorpsi dan karakterisasi *adsorbent*.

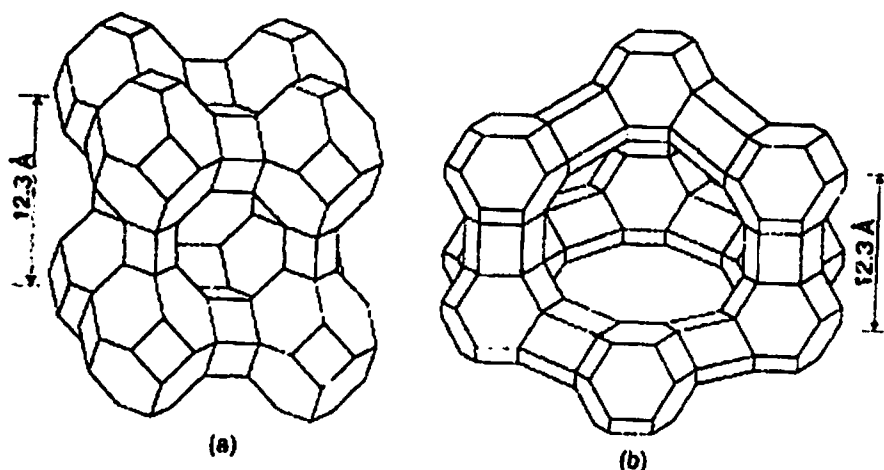
Adsorbent komersial

Silica gel

Silica gel dibedakan atas 3 tipe: *regular*, *intermediate*, dan *low density gel*. *Regular density gel* disiapkan dalam medium asam dan memiliki *surface area* tinggi ($750 \text{ m}^2/\text{g}$); *intermediate* dan *low density gel* memiliki *surface area* rendah ($300\text{-}350$ dan $100\text{-}200 \text{ m}^2/\text{g}$).

Zeolites

Zeolites merupakan *aluminosilicates* dengan perbandingan Si/Al antara 1 sampai dengan tidak terhingga. Terdapat 40 *zeolites* alami dan lebih dari 100 *zeolites* buatan.



Activated carbon (karbon aktif)

Karbon aktif merupakan *adsorbent* yang paling dikenal dan banyak digunakan di dalam pengolahan limbah. Karbon aktif memiliki *surface area* yang tinggi dari 600 sampai 2000 m^2/g . *Surface area* yang luas ini membuat karbon aktif istimewa (mampu mengadsorpsi banyak ion pencemar). Meskipun banyak digunakan, karbon aktif harganya cukup mahal, oleh karena itu pada saat ini banyak dilakukan upaya untuk menemukan bahan alternatif, bahan yang murah dan mudah didapat.

Adsorbent alternatif

Adsorbent alternatif meliputi *adsorbent* yang berasal dari limbah pertanian dan limbah industri. Di bawah ini dibahas sedikit contoh-contoh *adsorbent* alternatif.

Adsorbent dari limbah teh dan kopi

Limbah dari teh telah diteliti potensinya untuk menyisihkan Pb, Fe, Zn, Ni, Cu, Cr(VI), Cd; sedangkan limbah dari kopi telah diteliti potensinya untuk menyisihkan Cu, Cd, Pb.

Adsorbent dari limbah kelapa

Kelapa merupakan tumbuhan yang hampir semua bagiannya dapat dimanfaatkan. Limbahnya telah diketahui berpotensi untuk penyisihan Pb, Co, Cr, Ni.

Adsorbent dari kacang tanah

Kacang tanah merupakan spesies yang termasuk ke dalam *family* polong-polongan. Kulit kacang tanah telah diteliti potensinya untuk penyisihan Cd, Pb, Hg, Cu, Ni, Zn, Cr(VI).

Adsorbent dari limbah kulit buah

Kulit buah adalah bagian terluar dari buah yang melindungi daging buah. Potensi dari limbah jenis ini telah diteliti dan menunjukkan kemampuan menyisihkan logam berat. Sebagai contoh, limbah kulit jeruk mampu menyisihkan Ni, Zn, Cd. Selain kulit jeruk, banyak kulit buah yang lain yang dapat dimanfaatkan seperti kulit pisang dan kulit mangga.

Adsorbent dari biji buah

Biji buah yang telah diteliti potensi penyisihan limbah B3 antara lain biji pepaya dan biji asam.

Adsorbent dari limbah industri

Penggunaan *adsorbent* dari limbah industri memiliki keuntungan ganda yaitu mengurangi volume limbah dan mengurangi pencemaran.

Fly ash

Fly ash berasal dari *power plant* berbasis batubara. *Fly ash* dilaporkan dapat menyisihkan Cu, Hg, Pb.

Untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dari *adsorbent* dilakukan upaya-upaya modifikasi yang meliputi modifikasi fisik dan kimia.

Modifikasi fisik meliputi antara lain pengeringan, pemotongan, dan penghalusan. Sedangkan modifikasi kimia antara lain:

- pencucian (dengan asam dan alkali)
- penguatan grup pengikat (*amination of hydroxyl group, thiolation,...*)

Regenerasi *adsorbent* dapat dilakukan dengan *non-destruktif* seperti pemanasan, penambahan asam dan alkali; secara *destruktif* dilakukan dengan insinerasi.

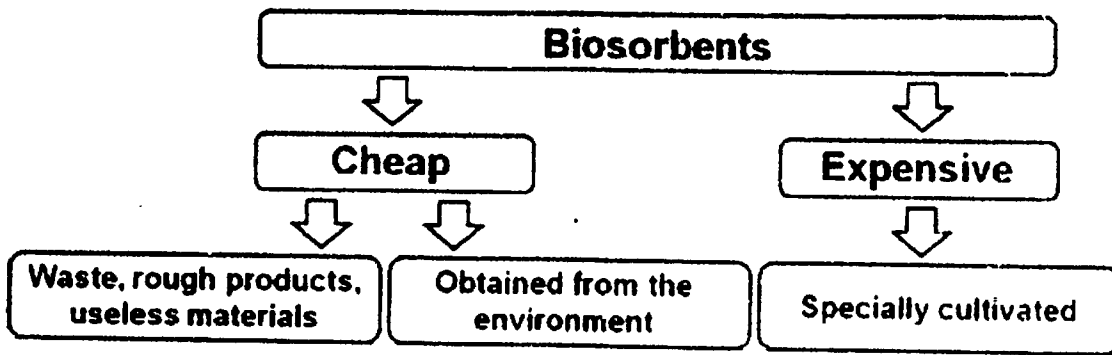
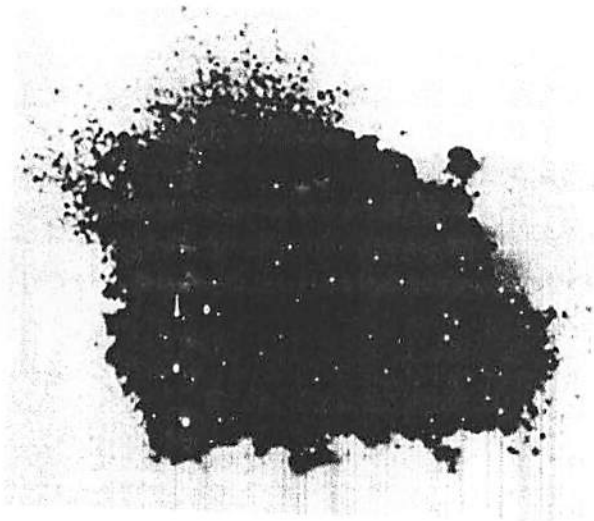


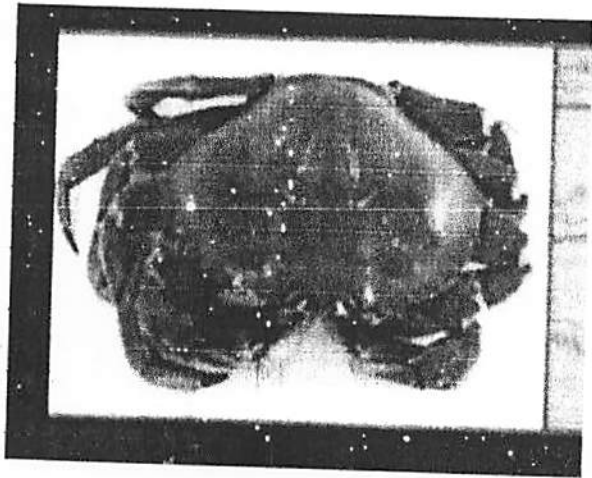
Table 1. Types of native biomass that have been used for preparing biosorbents

| Category | Examples |
|---------------------|---|
| Bacteria | Gram-positive bacteria (<i>Bacillus</i> sp., <i>Corynebacterium</i> sp., etc.), gram-negative bacteria (<i>Escherichia</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp., etc.), cyanobacteria (<i>Anabaena</i> sp., <i>Synechocystis</i> sp., etc.) |
| Fungi | Molds (<i>Aspergillus</i> sp., <i>Rhizopus</i> sp., etc.), mushrooms (<i>Agaricus</i> sp., <i>Trichaptum</i> sp., etc.), and yeast (<i>Saccharomyces</i> sp., <i>Candida</i> sp., etc.) |
| Algae | Micro-algae (<i>Chlorella</i> sp., <i>Chlamydomonas</i> sp., etc.), macro-algae (green seaweed (<i>Enteromorpha</i> sp., <i>Codium</i> sp., etc.), brown seaweed (<i>Sargassum</i> sp., <i>Ecklonia</i> sp., etc.), and red seaweed (<i>Geildium</i> sp., <i>Porphyra</i> sp., etc.)) |
| Industrial wastes | Fermentation wastes, food/beverage wastes, activated sludges, anaerobic sludges, etc. |
| Agricultural wastes | Fruit/vegetable wastes, rice straws, wheat bran, soybean hulls, etc. |
| Natural residues | Plant residues, sawdust, tree barks, weeds, etc. |
| Others | Chitosan-driven materials, cellulose-driven materials, etc. |

Table 8. Commercialized biosorbents

| Products | Remarks |
|------------------------|--|
| AlgaSORB™ | Biosorbent manufactured from a fresh water alga, <i>Chlorella vulgaris</i> , by being immobilized on silica |
| B.V. Sorbex Biosorbent | Biosorbent manufactured from a variety of sources including the algae <i>Sargassum natans</i> , <i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Halimeda opuntia</i> , <i>Palmyra pama-da</i> , <i>Chondrus crispus</i> , and <i>C. vulgaris</i> |
| AMT-Bioclaim™ | Biosorbent manufactured from <i>Bacillus</i> sp. by being immobilized with polyethyleneimine and glutaraldehyde |
| Bio-Fix | Biosorbent manufactured from a variety of sources including algae by being immobilized in porous polypropylene beads |
| RAHCO Bio-Beads | Biosorbent prepared from a variety of sources including peat moss by being immobilized within an organic polymer |



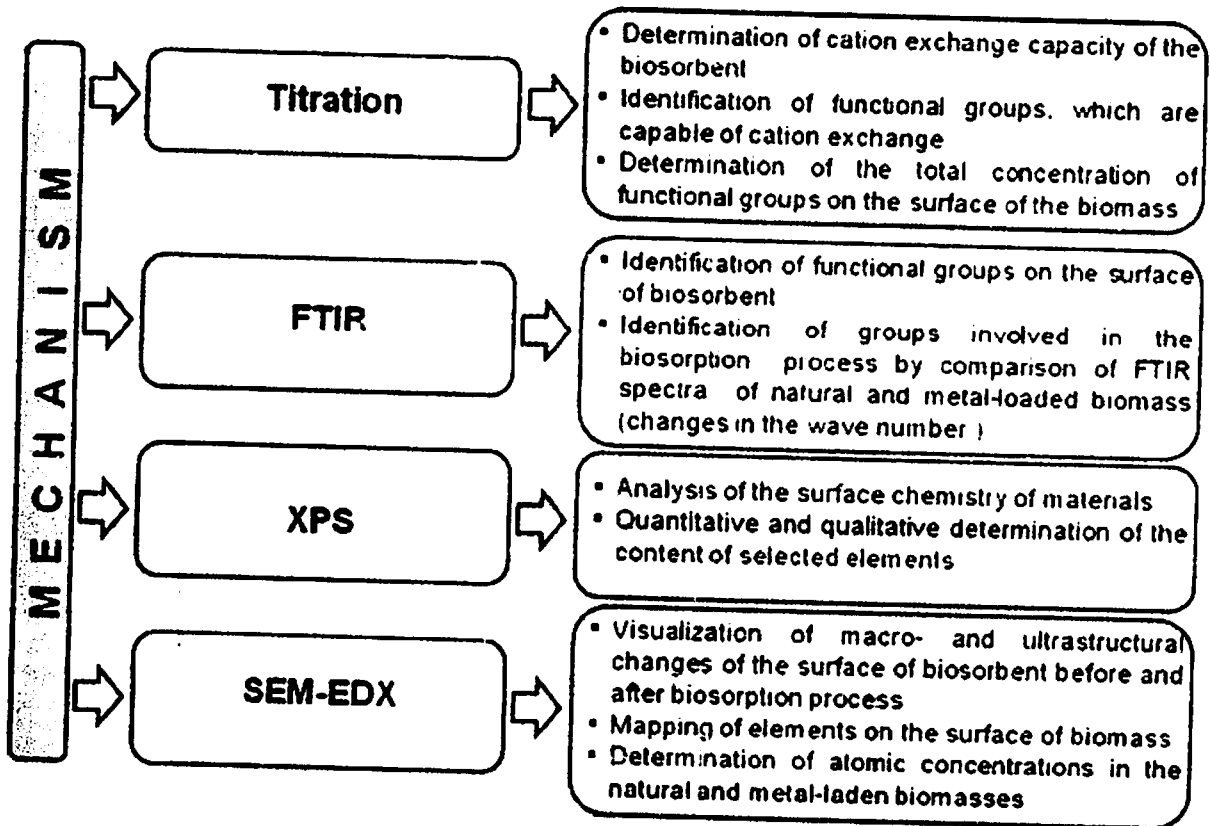


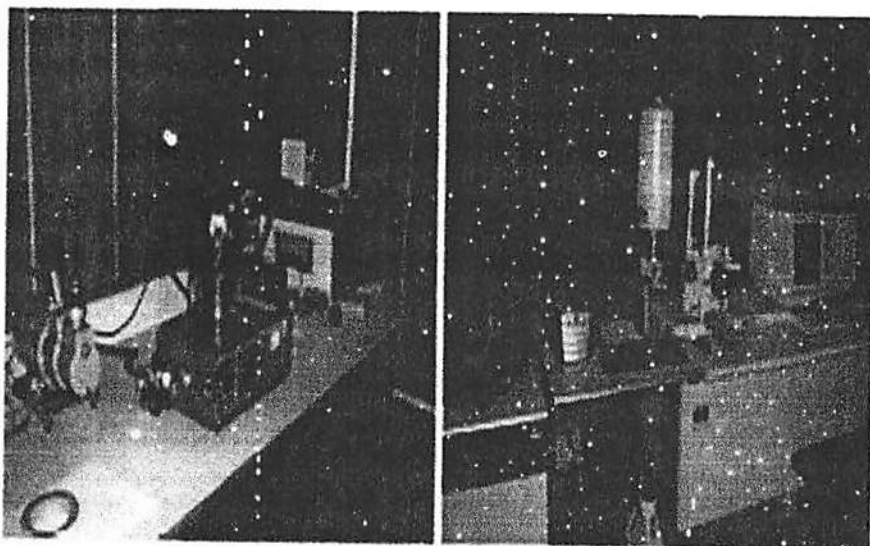
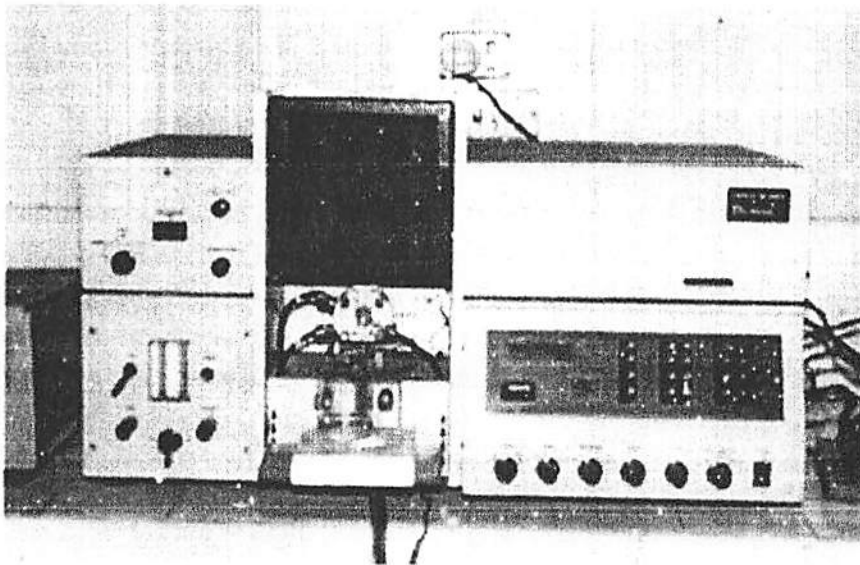
BAB V KARAKTERISASI INTERAKSI ADSORBENT-ADSORBAT

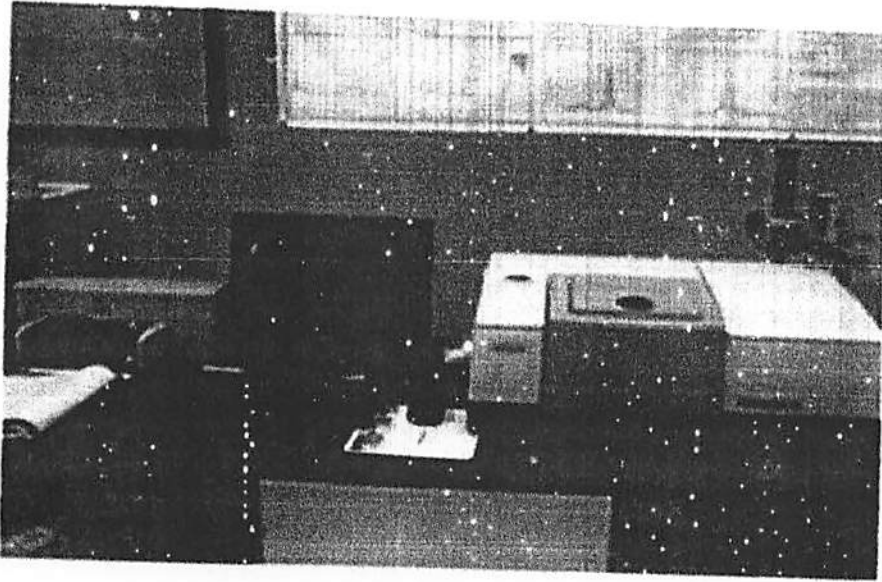
Beberapa teknik analitik yang digunakan dalam penelitian adsorpsi sistem padatan-cairan dapat dilihat dari tabel berikut ini:

Teknik analitik dalam penelitian adsorpsi sistem padatan-cairan

| Teknik analitik | Kegunaan |
|--|---|
| AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) | Menentukan konsentrasi logam (cair) |
| ICP (Inductively Coupled Plasma) | Menentukan konsentrasi logam (cair) |
| UV-vis Spectrophotometer | Menentukan konsentrasi logam dan pewarna (cair) |
| SEM (Scanning Electron Microscope) | Konfirmasi visual morfologi permukaan <i>adsorbent</i> |
| TEM (Transmission Electron Microscope) | Konfirmasi visual morfologi bagian dalam <i>adsorbent</i> (khususnya pada sel) |
| XRD (X-ray Diffraction) | Menentukan struktur kristal dan komposisi kimia dari logam yang terikat pada <i>adsorbent</i> |
| FTIR (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) | Menentukan <i>site</i> aktif dari <i>adsorbent</i> |







BAB VI MASA DEPAN ADSORPSI

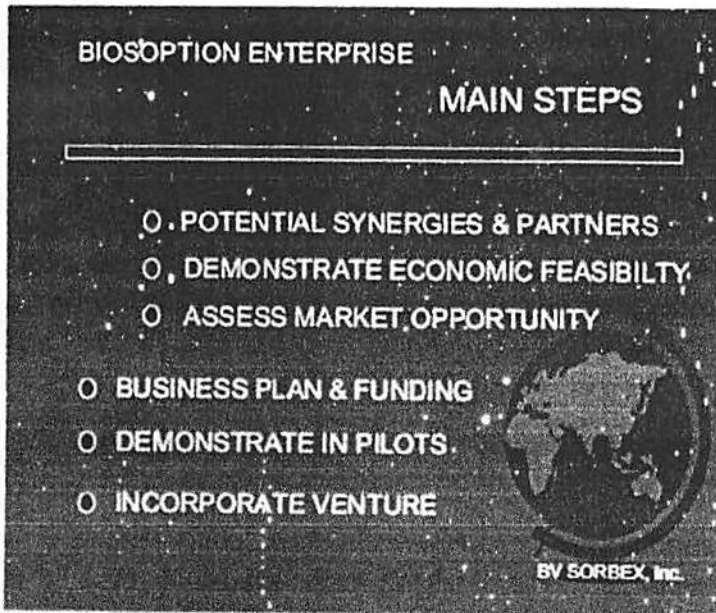


Table 9. Guiding questions to be considered for commercial application of biosorption

| Category | Remarks |
|------------|---|
| Effluent | Effluent volume, types of target pollutant and other contaminants, solution chemistry, pH, temperature, <i>etc.</i> |
| Biosorbent | Availability, overall manufacturing cost, regenerability and reusability, pollutant specificity, biosorptive capacity and rate, mechanical stability, <i>etc.</i> |
| Process | Types of process, connection with other processes, operator's skill, <i>etc.</i> |
| Capital | Land space, construction cost, operating cost, <i>etc.</i> |
| Others | Disposal of exhausted biosorbent, recovery/reuse of metals in eluants, <i>etc.</i> |