

EFEKTIVITAS KOAGULAN DAN ADSORBEN ALAMI DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR ELEKTROPLATING TERCEMAR LOGAM BERAT KARSINOGENIK

D. Nursyamsi¹⁾, R. Artanti²⁾, A. Kurnia³⁾, Y. Hindarwati⁴⁾

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
Jl. Raya Jakenan-Jaken Km 05 PO Box 05, Jakenan, Pati 59182.
E-mail: ddnursyamsi@yahoo.com

Diterima: 15 Desember 2010; Disetujui: 21 April 2011

ABSTRAK

Penggunaan koagulan dan adsorben alami merupakan pilihan yang tepat dalam pengolahan limbah cair industri elektroplating karena selain efektif, juga mudah dan murah. Percobaan laboratorium yang bertujuan untuk mempelajari efektifitas bahan koagulan dan adsorben alami dalam menurunkan konsentrasi logam berat karsinogenik (Cr, Ni, Cu, dan Zn) limbah cair elektroplating untuk air irigasi telah dilaksanakan di Laboratorium Terpadu, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Jakenan menggunakan rancangan faktorial dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah koagulan, sedangkan faktor kedua adalah adsorben yang diberikan masing-masing dengan takaran 0.5 g/l. Faktor pertama meliputi: resin, khitosan, biji kelor, enceng gondok diaktivasi, azolla diaktivasi, dan tanpa koagulan. Faktor kedua meliputi: arang aktif, kulit kacang diaktivasi, zeolit, limbah teh, dan tanpa adsorben. Resin dan zeolit digunakan sebagai pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas bahan koagulan (khitosan, biji kelor, enceng gondok diaktivasi dan azolla diaktivasi) dan adsorben alami (arang aktif, kulit kacang diaktivasi, dan limbah teh) serta kombinasi keduanya dalam menurunkan konsentrasi logam berat karsinogenik limbah cair cukup tinggi, yaitu > 40 %. Bahan tersebut mampu meremediasi limbah cair elektroplating hingga mencapai konsentrasi logam berat Ni, Cu, dan Zn di bawah ambang batas kriteria mutu air limbah elektroplating menurut Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995.

Kata kunci: Adsorben, alami, efektivitas, koagulan, logam berat

ABSTRACT

Liquid waste treatment using a natural coagulant and adsorbent is the proper choice in the treatment of waste water from electroplating because it is not only effective, but also easy and cheap. Laboratory experiments aimed at studying the effectiveness of natural coagulant and adsorbent materials in decreasing concentration of liquid waste carcinogenic heavy metals (Cr, Ni, Cu, and Zn) for irrigation water was conducted at the Integrated Laboratory, Indonesian Agricultural Environmental Research Institute, Jakenan. Laboratory experiments were prepared using factorial design in randomized completely block design with three replications. The first factor included: resin, chitosan, seeds of kelor (Moringa oleifera), activated water hyacinth (Eichhornia crassipes), activated azolla (Azolla sp.), and without the coagulant. The second factor included: activated carbon, activated peanut (Arachis hypogaea) shell, zeolite, tea (Camellia sinensis) waste, and without the adsorbent. Resin and zeolite were used as comparison. Results showed that effectiveness of natural coagulant and adsorbent materials as well as its combination in decreasing the concentration of carcinogenic metals (Cr, Ni, Cu, and Zn) in liquid waste were sufficiently high, up to > 40%. The materials were able to remediate electroplating liquid waste lower than the water quality criteria for electroplating liquid waste based on Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995.

Keywords: Adsorbent, natural, effectiveness, koagulant, heavy metals

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan dapat terjadi akibat aktivitas industri yang dalam prosesnya menggunakan logam berat dan senyawa berbahaya lain. Aktivitas industri di sekitar lahan pertanian

seperti industri elektroplating di Tegal, Pati, dan Purbalingga berpotensi mencemari lingkungan pertanian (tanah, air, dan tanaman) dengan logam berat (Hardiyanto dan De Guzman 2008). Hasil penelitian pendahuluan di Kabupaten Tegal menunjukkan bahwa kandungan Cr air irigasi

mencapai 2.55 ppm (baku mutu 0.5 ppm) dan Cr tanah sawah mencapai 140 ppm serta di Kabupaten Purbalingga Cr tanah sawah mencapai 116 ppm (baku mutu 75-100 ppm). Demikian pula limbah industri elektroplating di Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati telah mencemari tanah sawah di sekitarnya. Luas lahan sawah tercemar Co mencapai 2.100 ha (76%), Cr 595 ha (21%), Mn 297 ha(10%), dan Ni 131 ha (4%) (Mulyadi *et al.* 2007).

Industri elektroplating menggunakan bahan baku berupa logam berat dan senyawa-senyawa lain. Limbah cair industri elektroplating dapat berupa limbah organik (benzena, trikloroetilin, metil klorida, toluena, karbon tetraklorida), limbah yang bersifat asam (H_2SO_4 , HCl) atau basa (kaustik, boraks, sodium karbonat, sabun), dan limbah yang mengandung garam logam yang beracun (Cu, Cr, Ni, Zn, Cd, Pb, Au, Ag, Pt). Beberapa logam seperti Cr, Ni, Cu, dan Zn bersifat karsinogenik atau menyebabkan kanker (Young *et al.* 1992 dalam Notodarmojo 2005).

Pengolahan limbah cair yang tepat dapat dilakukan dengan teknologi yang mudah, murah, dan ramah lingkungan. Teknologi *biosorption* merupakan salah satu alternatif teknologi ramah lingkungan untuk meremediasi air yang tercemar logam berat. Teknologi ini memanfaatkan berbagai macam biomas untuk menyerap logam berat melalui proses *pretreatment*, granulasi, dan imobilisasi (Alluri *et al.* 2007). Fitoremediasi yang memanfaatkan tanaman untuk meremediasi tanah dan air tercemar logam berat juga merupakan salah satu alternatif teknologi ramah lingkungan yang dapat dipertimbangkan (Suresh dan Ravishankar 2004). Selain itu teknologi pengolahan limbah cair dengan menggunakan koagulan dan adsorben merupakan salah satu pilihan. Koagulasi adalah penggumpalan partikel koloid akibat penggabungan partikel koloid yang bermuatan sehingga membentuk partikel yang lebih besar. Dalam proses koagulasi biasanya digunakan koagulan alum (Eckenfelder 1989). Penggunaan teknologi koagulan alami merupakan pilihan yang tepat, karena biaya yang relatif lebih murah.

Koagulan alami yang dimaksud adalah khitin/khitosan, biji kelor, enceng gondok, dan azolla. Khitin merupakan polisakarida terbesar kedua setelah selulosa yang mempunyai rumus kimia poli (2-asetamida-2-dioksi- β -D-Glukosa) dengan ikatan β -glikosidik (1,4) yang menghubungkan antarunit ulangnya. Struktur kimia khitin mirip dengan selulosa, hanya dibedakan oleh gugus yang terikat pada atom C2. Jika pada selulosa gugus yang terikat pada atom C2 adalah OH, maka pada khitin yang terikat adalah

gugus asetamida (Muzzarelli 1985). Khitin mempunyai rumus molekul $C_{18}H_{26}N_2O_{10}$ (Hirano 1986) merupakan zat padat yang tak berbentuk (*amorphous*), tak larut dalam air, asam anorganik encer, alkali encer dan pekat, alkohol, dan pelarut organik lainnya tetapi larut dalam asam-asam mineral yang pekat.

Khitosan merupakan salah satu senyawa turunan khitin, dengan rumus kimia poli(2-amino-2-dioksi- β -D-Glukosa) yang dapat dihasilkan dengan proses hidrolisis khitin menggunakan basa kuat. Saat ini terdapat lebih dari 200 aplikasi dari khitin dan khitosan serta turunannya di industri makanan, pemrosesan makanan, bioteknologi, pertanian, farmasi, kesehatan, dan lingkungan (Balley dan Ollis 1977). Khitosan juga merupakan suatu polimer multifungsi karena mengandung tiga jenis gugus fungsi yaitu asam amino, gugus hidroksil primer dan sekunder. Adanya gugus fungsi ini menyebabkan khitosan mempunyai kreatifitas kimia yang tinggi (Tokura dan Nishi 1995).

Biji kelor (*Moringa oleifera*) dalam taksonomi tumbuhan masuk dalam Divisi *Magnoliophyta*; Kelas *Magnoliopsida*; Subkelas *Dilleniidae*; Ordo *Capparidales*; dan Famili *Moringa oleiferaceae*. Biji kelor adalah suatu koagulan organik alami yang mengandung bahan aktif suatu polipeptida yang bertindak sebagai kationik. Bahan aktif dalam biji kelor mengandung protein *dimeric* dengan berat molekul sekitar 13.000 Dalton dan nilai iso-electrik antara 10 sampai 11 (Ndabigengesere *et al.* 1995). Mekanisme koagulasi dengan menggunakan biji kelor terdapat pada kemampuan adsorpsi dan netralisasi muatan koloid.

Biomassa tanaman yang sesuai, baik dalam keadaan hidup maupun mati efektif digunakan untuk pembersihan logam berat dari limbah sungai (Niu, *et al.*,1993 dan Muraleedharan, *et al.* 1995). Misalnya Azolla yang merupakan genus dari paku air mengapung suku *Azollaceae* berperan sebagai pembersih logam berat baik secara aktif maupun pasif. Dalam bentuk pasif, limbah cair dilewatkan melalui biomassa kering *Azolla* yang dikemas di dalam filter (Ghazvini dan Mashkani 2007).

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) juga termasuk jenis tumbuhan air mengapung. Hasil penelitian Ingeniero dan Perez (2011) menunjukkan bahwa biomassa kering dari eceng gondok memiliki potensi untuk membersihkan air limbah. Kapasitas penyerapan limbah oleh akar kering dari eceng gondok lebih tinggi daripada oleh biomasa bagian atas.

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair. Bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan sorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang bekerja pada

permukaan tersebut. Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam butir adsorben. Transfer massa logam dari cairan ke dalam pori-pori butir adsorben tersebut akan mengalami proses-proses sebagai berikut: (a) perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir, (b) difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori, (c) perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori, dan (d) adsorpsi pada dinding pori (Kwartiningsih dan Setiarini 2005). Adsorben alami yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair, antara lain adalah: zeolit, arang aktif, limbah teh, dan kulit kacang.

Zeolit digunakan dalam proses-proses kimia di industri kimia sebagai katalis, *ion exchanger*, dan adsorben dalam pengolahan limbah. Hal ini karena kerangka struktur zeolit mengandung saluran yang diisi oleh kation dan molekul air. Selain zeolit, bahan yang mempunyai fungsi yang baik sebagai adsorben adalah arang aktif. Arang aktif mempunyai luas permukaan antara 300-3.500 m²/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat menyerap gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif bervariasi sangat besar, yaitu 25-1.000% terhadap berat arang aktif (Sembiring dan Sinaga 2003). Tempurung kelapa merupakan bahan terbaik yang dapat dibuat menjadi karbon aktif karena karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa memiliki mikropori yang banyak, konsentrasi abu yang rendah, dan reaktivitas yang tinggi (Subadra *et al.* 2005).

Kulit kacang tanah yang mengandung selulosa dapat digunakan juga sebagai adsorben. Aktivasi dapat dilakukan dengan cara ekstraksi soxlet menggunakan pelarut campuran etanol-toluena (1:1). Penggunaan campuran senyawa tersebut bertujuan untuk menghilangkan zat ekstraktif seperti lemak dan lilin yang dapat menghalangi kontak antara adsorbat (ion logam) dengan permukaan penjerap (adsorben).

Bertitik tolak dari pemikiran di atas, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efektifitas bahan koagulan (khitosan, eceng gondok dan azolla) dan adsorben (arang aktif, kulit kacang, dan limbah teh) alami dalam menurunkan konsentrasi logam berat karsinogenik (Cr, Ni, Cu, dan Zn) limbah cair elektroplating untuk digunakan sebagai air irigasi.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Terpadu, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Jakenan, mulai bulan Juni hingga Desember 2010 dengan menggunakan contoh limbah cair elektroplating yang diambil dari Kabupaten Tegal. Percobaan terdiri dari 4 (empat) tahap kegiatan, yaitu: (1) Pengambilan contoh limbah cair elektroplating, (2) Preparasi bahan koagulan dan adsorben alami, (3) Aplikasi perlakuan contoh limbah cair menggunakan *jarrest* di laboratorium, dan (4) Analisis contoh air.

Percobaan laboratorium disusun dengan menggunakan rancangan faktorial dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Faktor I adalah bahan koagulan, sedangkan faktor II adalah bahan adsorben. Faktor pertama meliputi: resin, khitosan, biji kelor (*Moringa oleifera*), eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) diaktivasi, azolla (*Azolla sp.*) diaktivasi, dan tanpa koagulan. Faktor kedua meliputi: arang aktif, kulit kacang tanah diaktivasi, zeolit, limbah teh, dan tanpa adsorben. Resin dan zeolit digunakan sebagai pembanding (standar). Perlakuan kombinasi dari kedua faktor tersebut adalah: resin-arang aktif, resin-kulit kacang diaktivasi, resin-zeolit, resin-limbah teh, khitosan-arang aktif, khitosan-kulit kacang diaktivasi, khitosan-zeolit, khitosan-limbah teh, biji kelor-arang aktif, biji kelor-kulit kacang diaktivasi, biji kelor-zeolit, biji kelor-limbah teh, eceng gondok diaktivasi-arang aktif, eceng gondok diaktivasi-kulit kacang diaktivasi, eceng gondok diaktivasi-zeolit, eceng gondok diaktivasi-limbah teh, azolla diaktivasi-arang aktif, azolla diaktivasi-kulit kacang diaktivasi, azolla diaktivasi-zeolit, dan azolla diaktivasi-limbah teh.

1 Pengambilan Contoh Limbah Cair Elektroplating

Contoh limbah cair elektroplating diambil dari bak kontrol limbah cair yang siap dibuang ke saluran air menuju saluran irigasi. Limbah cair industri adalah limbah yang dihasilkan pada setiap tahap produksi yang berupa air sisa, air bekas proses produksi, atau air bekas pencucian peralatan industri (Hadi 2005). Contoh limbah cair diambil di industri rumah tangga elektroplating di Desa Langen, Kecamatan Talang, Kabupaten Tegal dengan posisi koordinat $x = 1090825,5$ dan $y = 065527,0$. Pengambilan contoh limbah cair dilakukan pada saat industri elektroplating sedang beroperasi, sehingga bisa menunjukkan keadaan kualitas limbah cair yang sebenarnya. Contoh limbah cair dimasukkan ke dalam jerigen 20 liter sebanyak 40 jerigen, lalu diangkut segera ke laboratorium di Jakenan.

2 Preparasi Bahan

1) Pembuatan khitosan

Isolasi khitin dari limbah kulit udang/kepiting dilakukan secara bertahap, yaitu: pemisahan protein (deproteinasi) dengan larutan basa, demineralisasi, dan pemutihan (*bleaching*) dengan aseton dan natrium hipoklorit. Selanjutnya transformasi khitin menjadi khitosan dilakukan pada tahap deasetilasi dengan menggunakan basa berkonsentrasi tinggi (Ferrer *et al.* 1996; Arreneuz 1996; Fahmi 1997; dan Marganof 2003).

2) Aktivasi

Bahan yang diaktivasi meliputi: eceng gondok, azolla, dan kulit kacang tanah. Aktivasi eceng gondok dan azolla dilakukan secara kimia, yaitu melalui proses pengeringan 50 °C dan perendaman dengan HNO₃ 0.1 M selama 8 jam (Mahamadi dan Nharingo 2009). Aktivasi kulit kacang tanah juga dilakukan secara kimia, yaitu melalui proses pengadukan bahan tersebut dalam 0.6 M asam sitrat selama 90 menit pada suhu 90°C (Marshall *et al.* 1999).

3) Pengeringan

Biji kelor dikupas terlebih dahulu dan dibersihkan hingga menyisakan biji yang berwarna putih. Selanjutnya bersama-sama dengan bahan koagulan dan adsorben lainnya (khitosan, resin, eceng gondok diaktivasi, azolla diaktivasi, arang aktif, limbah teh, dan kulit kacang tanah diaktivasi) dikeringudarkan, ditumbuk, lalu diayak dengan menggunakan ayakan 2 mm.

3 Aplikasi Perlakuan

Contoh limbah cair elektroplating masing-masing diambil sebanyak 1.000 ml dan dimasukkan ke dalam gelas beker volume 1 liter. Bahan koagulan dan adsorben ditimbang, lalu dimasukkan ke dalam gelas beker yang berisi contoh limbah cair sesuai perlakuan, masing-masing dengan takaran 0.5 g/l. Gelas beker yang berisi contoh limbah cair dan bahan koagulan dan adsorben sesuai kombinasi perlakuan diletakkan pada *jarrest*. Baling-baling *jarrest* diletakkan tepat pada posisi tengah gelas beker agar bahan koagulan dan adsorben teraduk optimal. Kecepatan putaran baling-baling terdiri dari dua tahap, yaitu: tahap I kecepatan cepat dengan kecepatan 200 rpm selama 2 menit, kemudian tahap II kecepatan lambat dengan kecepatan 20 rpm selama 10 menit. Setelah flok diendapkan selama 30 menit, pH dan DHLnya diukur lalu contoh air disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman 42 untuk diukur konsentrasi logam beratnya.

4 Analisis Contoh

Contoh limbah cair elektroplating yang telah disaring baik sebelum maupun setelah aplikasi perlakuan, diambil sekitar 20 ml untuk analisis konsentrasi logam-logam karsinogenik (Cr, Ni, Cu dan Zn) dengan menggunakan AAS AA240FS Varian. Sebelumnya contoh tersebut diukur pH-nya dengan menggunakan pH meter Schott dan DHL dengan menggunakan EC meter. Selain itu semua bahan koagulan dan adsorben yang diuji dianalisis terlebih dahulu untuk penetapan kapasitas tukar kation (KTK) dengan metode pencucian dan menggunakan larutan NH₄OAc 1 M pH 7,0 (Eviati dan Sulaeman 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Konsentrasi Cr, Ni, Cu, dan Zn Limbah

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri elektroplating. Elektroplating merupakan salah satu proses pelapisan bahan padat dengan lapisan logam dengan menggunakan bantuan arus listrik melalui medium larutan elektrolit. Logam-logam yang biasa digunakan untuk pelapis adalah khrom (Cr), nikel (Ni), tembaga (Cu), seng (Zn) dan logam-logam sejenis. Proses ini melibatkan perlakuan pendahuluan (pencucian, pembersihan), pelapisan, pembilasan, dan pengeringan. Air yang berasal dari pencucian, pembersihan dan pelapisan menjadi limbah cair, karena mengandung logam berat.

Hasil analisis limbah cair elektroplating disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995, konsentrasi logam berat dalam limbah cair industri elektroplating ini sudah melewati ambang batas yang diperbolehkan, sehingga perlu berbagai upaya untuk meremediasinya. Konsentrasi Ni dan Cu sekitar 1-2 kali lipat baku mutunya, bahkan Cr, dan Zn lebih dari 2 (dua) kali lipat baku mutunya. Berdasarkan pengamatan di lapangan, limbah cair ini umumnya langsung dibuang melalui saluran pembuangan yang akhirnya masuk ke saluran irigasi untuk pengairan sawah sehingga air irigasi juga menjadi tercemar. Sementara itu air irigasi untuk pertanian harus memenuhi kriteria mutu air untuk air irigasi, yaitu Cr = 0,01 ppm, Ni belum ditetapkan, Cu = 0,2 ppm, dan Zn = 0,2 ppm (PP No. 82 Tahun 2001).

Tabel 1 Konsentrasi logam berat dalam limbah cair *elektroplating*

Logam berat	Kode	Konsentrasi (ppm)	Baku mutu (ppm) ¹⁾
Khrom	Cr	2.01**	0.5
Nikel	Ni	1.61*	1.0
Tembaga	Cu	1.05*	0.6
Seng	Zn	3.65**	1.0

¹⁾ 1 – 2 kali lipat, ^{**} > 2 kali lipat, ¹⁾Baku mutu limbah cair industri pelapisan logam menurut Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995

2 Kapasitas Tukar Kation Bahan Koagulan dan Adsorben

Bahan koagulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: khitosan, biji kelor, eceng gondok diaktivasi, resin, dan azolla diaktivasi. Sementara itu bahan adsorben yang digunakan meliputi: arang aktif, zeolit, limbah the, dan kulit kacang tanah diaktivasi. Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan salah satu variabel yang menunjukkan kemampuan suatu bahan dalam menyerap logam berat, semakin tinggi nilai KTK maka semakin tinggi pula kemampuan menjerap logam.

Hasil analisis KTK bahan koagulan dan adsorben sebelum diaplikasikan disajikan pada Tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan bahwa zeolit memiliki KTK yang paling tinggi, diikuti berturut-turut oleh eceng gondok diaktivasi, limbah teh, kulit kacang, khitosan, azolla diaktivasi, biji kelor, resin, dan arang aktif. Urutan tersebut menunjukkan tingkat kemampuan bahan koagulan dan adsorben dalam menjerap logam berat dalam air. Diantara bahan yang dicoba, ternyata eceng gondok diaktivasi, limbah teh, kulit kacang tanah diaktivasi, dan khitosan mempunyai prospek yang cukup baik untuk digunakan sebagai remediator karena memiliki KTK yang relatif tinggi atau > 55% KTK zeolit.

Tabel 2 Kapasitas tukar kation (KTK) bahan koagulan dan adsorben

Bahan koagulan/adsorben	KTK (cmol(+) kg ⁻¹)
Khitosan	49,83
Biji kelor	25,91
Resin	15,94
Enceng gondok diaktivasi	76,73
Azolla diaktivasi	35,88
Arang aktif	13,95
Zeolit	89,69
Limbah teh	71,75
Kulit kacang tanah diaktivasi	57,80

3 Efektivitas Bahan Koagulan dan Adsorben

Pengaruh pemberian bahan koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya terhadap konsentrasi logam berat karsinogenik Cr, Ni, Cu dan Zn masing-masing disajikan pada Gambar 1, 2, dan 3. Sementara itu persentase penurunan konsentrasi keempat logam tersebut akibat perlakuan pemberian bahan koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya berturut-turut disajikan pada Tabel 3, 4, dan 5.

Bahan-bahan koagulan yang dicoba (khitosan, biji kelor, eceng gondok diaktivasi, dan azolla diaktivasi) efektif menurunkan konsentrasi empat logam berat (Gambar 1). Tingkat efektivitas bahan koagulan dalam meremediasi Cr dari tinggi ke rendah adalah resin > azolla diaktivasi > khitosan > biji kelor > eceng gondok diaktivasi; Ni adalah eceng gondok diaktivasi > azolla diaktivasi > khitosan > biji kelor > resin; Cu adalah resin = khitosan > biji kelor = azolla diaktivasi > eceng gondok diaktivasi; Zn adalah eceng gondok diaktivasi > azolla diaktivasi > biji kelor > khitosan. Bahan-bahan tersebut diatas masing-masing dapat menurunkan konsentrasi logam berat Cr, Ni, Cu, dan Zn hingga di bawah ambang batas yang diperbolehkan berdasarkan kriteria limbah cair industri pelapisan logam menurut Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995, kecuali khitosan, biji kelor, dan eceng gondok diaktivasi masing-masing menurunkan konsentrasi Cr tapi tidak mencapai ambang batas.

Bahan-bahan koagulan tersebut di atas masing-masing mampu menurunkan konsentrasi Cr, Ni, Cu, dan Zn > 50% kecuali khitosan, biji kelor, dan azolla diaktivasi; dan biji kelor masing-masing menurunkan konsentrasi Cr dan Ni < 50%. Azolla diaktivasi mampu menurunkan konsentrasi Cr sebesar 71%; eceng gondok diaktivasi, azolla diaktivasi, dan khitosan menurunkan konsentrasi Ni masing-masing sebesar 68%, 64%, dan 62%; khitosan, biji kelor, azolla diaktivasi, dan eceng gondok diaktivasi menurunkan konsentrasi Cu masing-masing sebesar 92%, 89%, 89%, dan 62%; serta eceng gondok diaktivasi, azolla diaktivasi, biji kelor dan khitosan masing-masing menurunkan konsentrasi Zn sebesar 94%, 84%, 80%, dan 77% (Tabel 3). Beberapa mekanisme bahan koagulan

dalam menurunkan konsentrasi logam berat limbah cair diuraikan berikut ini.

Air yang mengandung logam berat jika dilewatkan dalam resin penukar anion maka ion logam berat akan bertukar dengan ion penukar yang terikat pada gugus fungsional resin. Setelah air melewati resin maka ion logam berat terikat dalam resin dan air yang dihasilkan dari proses tersebut adalah air bebas ion logam berat (Roth 1988). Limbah cair yang mengandung logam berat apabila direaksikan dengan reagen seperti khitosan dan biji kelor yang mengandung gugus amina, akan berubah menjadi koloid yang disebut flok yang membentuk ikatan gugus amina-logam (Inoue *et al.* 1994; Muyibi dan Evison 1995).

Tingkat efektivitas dalam menurunkan konsentrasi logam berat berbeda antara bahan koagulan satu dengan yang lainnya (spesifik). Resin paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Cr dan Cu; eceng gondok diaktivasi paling efektif menurunkan konsentrasi logam berat Ni dan Zn; dan khitosan paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Cu. Hal ini diduga berkaitan erat dengan kadar dan komposisi senyawa organik yang terkandung dalam bahan koagulan tersebut. Sutherland *et al.* (1990) melaporkan bahwa efektifitas koagulasi oleh bahan koagulan ditentukan oleh kandungan protein kationik bertegangan rapat dengan berat molekul sekitar 6,5 kdalton.

Bahan adsorben yang dicoba (arang aktif, kulit kacang diaktivasi, dan limbah teh) efektif menurunkan konsentrasi empat logam berat yang dicoba. Tingkat efektivitas bahan koagulan dalam meremediasi Cr dari tinggi ke rendah adalah limbah teh > kulit kacang diaktivasi > arang aktif > zeolit; Ni adalah limbah teh > kulit kacang diaktivasi > zeolit > arang aktif; Cu adalah kulit kacang diaktivasi > limbah teh > arang aktif > zeolit; Zn adalah zeolit > kulit kacang diaktivasi > limbah teh > arang aktif (Gambar 2). Bahan-bahan tersebut diatas masing-masing dapat menurunkan konsentrasi logam berat Cr, Ni, Cu, dan Zn hingga di bawah ambang batas yang diperbolehkan berdasarkan kriteria limbah cair industri pelapisan logam menurut Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995, kecuali arang aktif, kulit kacang diaktivasi, dan zeolit; serta zeolit masing-masing menurunkan konsentrasi Cr dan Cu tapi tidak mencapai ambang batas.

Bahan-bahan adsorben tersebut di atas mampu menurunkan konsentrasi Cr, Ni, Cu, dan Zn > 50% kecuali arang aktif dan kulit kacang diaktivasi mampu menurunkan konsentrasi Cr < 50%. Limbah teh mampu menurunkan konsentrasi Cr sebesar 65%; limbah teh, kulit kacang diaktivasi, dan zeolit menurunkan konsentrasi Ni masing-

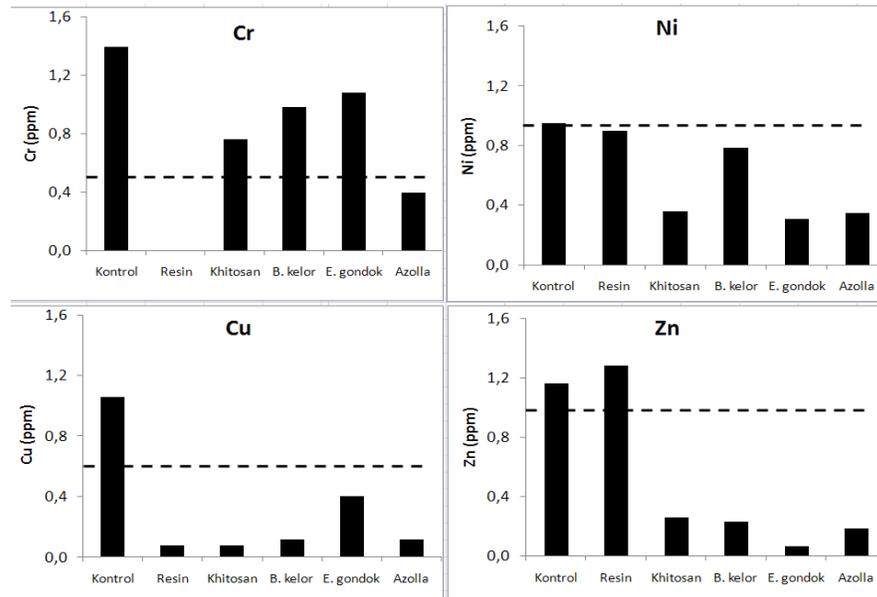
masing sebesar 69%, 63%, dan 61%; kulit kacang diaktivasi, limbah teh, dan arang aktif menurunkan konsentrasi Cu masing-masing sebesar 89%, 87%, dan 61%; serta zeolit, kulit kacang diaktivasi, limbah teh dan arang aktif masing-masing menurunkan konsentrasi Zn sebesar 88%, 85%, 83% dan 53% (Tabel 4).

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan sorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang bekerja pada permukaan tersebut (tipe *Van der Waals*). Atom pada suatu permukaan padatan sejenis arang aktif mempunyai kekuatan tidak seimbang (*imbalance*) dibandingkan dengan yang berada di dalam padatan, sehingga molekul asing tertarik kepada molekul *imbalance* tersebut. Molekul ini (adsorbat) berbentuk lapisan tunggal (*monolayer*) di permukaan padatan (*adsorben*). Kapasitas jerapan arang aktif tergantung pada tipe pori-pori dan total luas permukaan yang tersedia untuk jerapan. Arang aktif mempunyai kapasitas jerapan hingga mencapai 0,6 - 0,8 cm³/g yang terjadi umumnya dalam rongga mikropori (Manocha 2003).

Seperti halnya pada bahan koagulan, tingkat efektivitas dalam menurunkan konsentrasi logam berat berbeda antara bahan adsorben satu dengan yang lainnya (spesifik). Limbah teh paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Cr dan Ni; kulit kacang diaktivasi paling efektif menurunkan konsentrasi logam berat Cu; dan zeolit paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Zn. Hal ini juga diduga berkaitan erat dengan konsentrasi dan komposisi senyawa organik yang terkandung dalam bahan koagulan tersebut.

Kombinasi antara koagulan dengan adsorben juga efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Cr, Ni, Cu, dan Zn dalam limbah cair. Kombinasi kedua jenis bahan tersebut lebih efektif dibandingkan dengan pengaruh tunggal masing-masing koagulan dan adsorben dalam menurunkan konsentrasi keempat logam berat tersebut dalam limbah cair. Kombinasi resin dengan semua bahan adsorben efektif menurunkan konsentrasi Cr; semua kombinasi bahan koagulan-adsorben (kecuali biji kelor-adsorben) efektif menurunkan konsentrasi Ni dan Cu; serta semua kombinasi bahan koagulan-adsorben (kecuali resin-arang aktif dan resin-kulit kacang diaktivasi) efektif menurunkan konsentrasi Zn (Gambar 3).

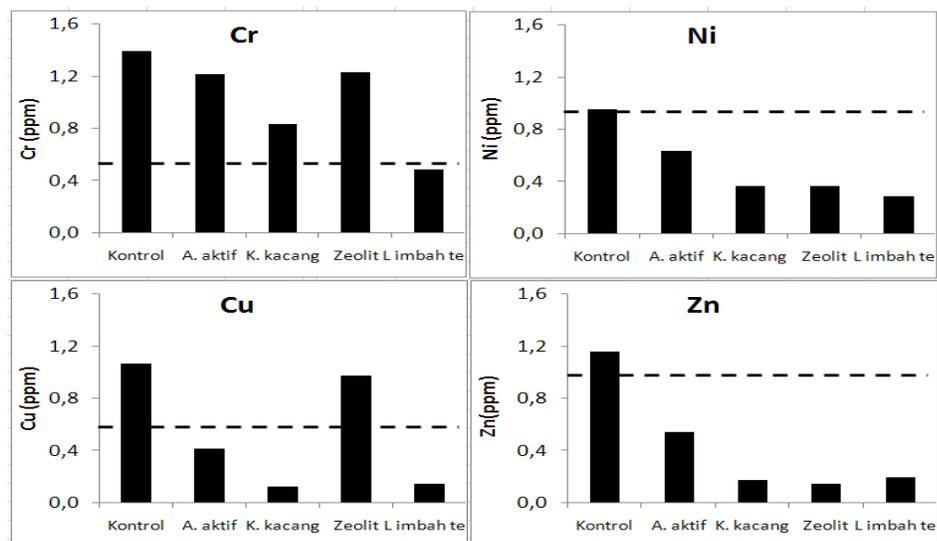
Beberapa kombinasi bahan-bahan tersebut diatas dapat menurunkan konsentrasi logam berat Cr, Ni, Cu, dan Zn hingga di bawah ambang batas yang diperbolehkan berdasarkan kriteria limbah cair industri pelapisan logam menurut Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995.



Gambar 1 Pengaruh bahan koagulan terhadap konsentrasi logam berat Cr, Ni, Cu, dan Zn limbah cair elektroplating

Tabel 3 Penurunan konsentrasi logam berat karsinogenik Cr, Ni, Cu, dan Zn limbah cair *elektroplating* akibat penambahan bahan koagulan

Koagulan	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)
Resin	100	5	92	-10
Khitosan	45	62	92	77
Biji kelor	29	18	89	80
Enceng gondok diaktivasi	22	68	62	94
Azolla diaktivasi	71	64	89	84



Gambar 2 Pengaruh bahan adsorben terhadap konsentrasi logam berat Cr, Ni, Cu, dan Zn limbah cair elektroplating

Bahkan, kombinasi resin-kulit kacang diaktivasi dan resin-limbah teh mampu menurunkan konsentrasi Cr, Cu, dan Zn limbah cair elektroplating hingga memenuhi syarat untuk air irigasi menurut PP No. 82 tahun 2001.

Beberapa kombinasi bahan koagulan-adsorben mampu menurunkan konsentrasi Cr, Ni, Cu, dan Zn > 40%. Kombinasi resin-adsorben mampu menurunkan konsentrasi Cr sebesar 98-99%; kombinasi resin-kulit kacang diaktivasi dan resin-limbah teh; kombinasi khitosan-adsorben; kombinasi eceng gondok diaktivasi-adsorben; dan azolla diaktivasi-adsorben masing-masing mampu menurunkan konsentrasi Ni sebesar 92%, 67-82%, 67-69%, dan 64-66%; semua kombinasi koagulan-adsorben (kecuali khitosan-kulit kacang diaktivasi, biji kelor diaktivasi-zeolit, dan azolla-limbah teh) mampu menurunkan konsentrasi Cu sebesar 47-94%; serta semua kombinasi koagulan adsorben (kecuali resin-arang aktif dan resin-zeolit) mampu

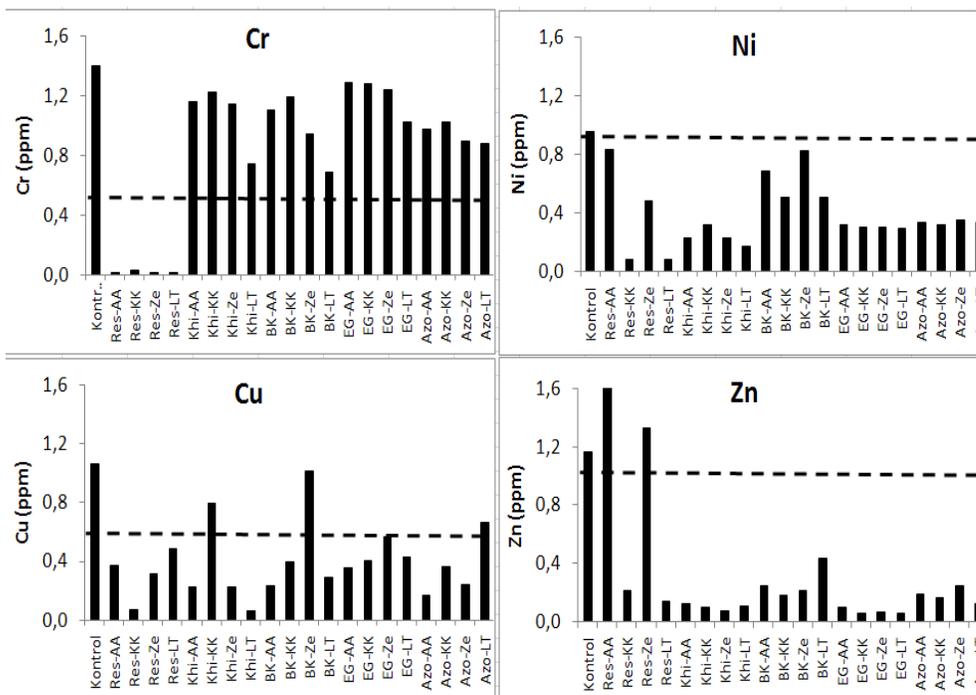
menurunkan konsentrasi Zn sebesar 63-95% (Tabel 5).

pH dan DHL Limbah

Pengaruh koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya terhadap pH limbah cair elektroplating disajikan pada Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa bahan koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya relatif tidak berpengaruh terhadap pH limbah cair karena perubahan pH akibat perlakuan < 1.0 unit baik sebelum maupun setelah pengadukan kecuali azolla diaktivasi menurunkan pH limbah cair dari 6.98 menjadi 5.39. Dengan demikian maka penggunaan azolla diaktivasi perlu hati-hati karena dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap kualitas air, yaitu penurunan pH air. Namun demikian kisaran pH akibat perlakuan masih berada dalam kisaran yang masih diperbolehkan menurut PP No. 20/1990.

Tabel 4 Penurunan konsentrasi logam berat karsinogenik Cr, Ni, Cu, dan Zn limbah cair *elektroplating* akibat perlakuan bahan adsorben

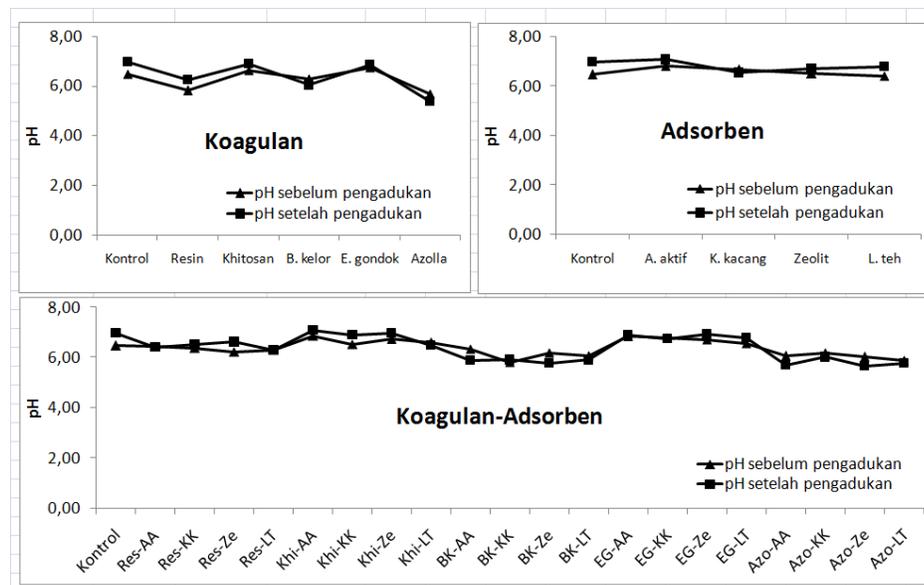
Adsorben	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)
Arang aktif	12	33	61	53
Kulit kacang diaktivasi	40	62	89	85
Zeolit	12	61	8	88
Limbah teh	65	69	87	83



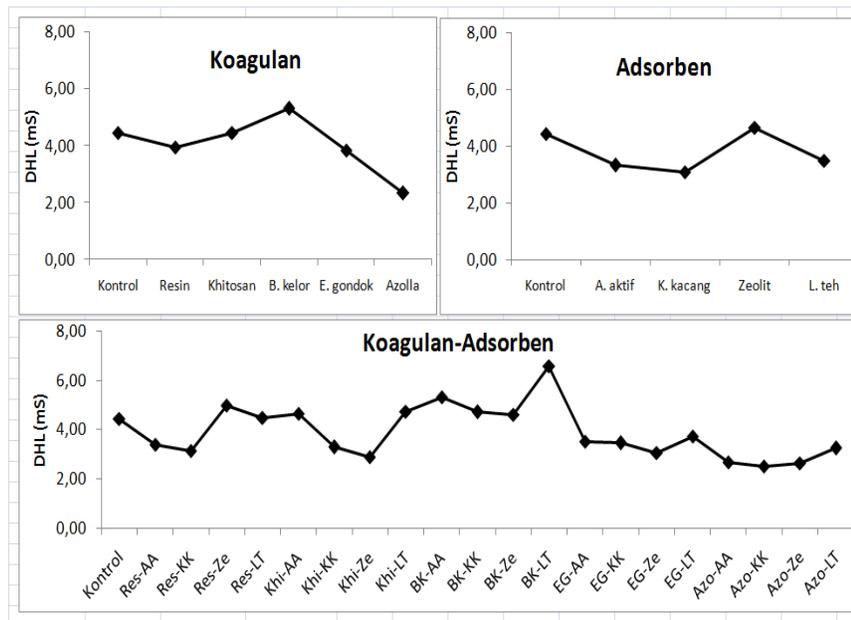
Gambar 3 Pengaruh kombinasi bahan koagulan dan adsorben terhadap konsentrasi logam berat Cr, Ni, Cu, dan Zn limbah cair *elektroplating*

Tabel 5 Penurunan kadar logam berat karsinogenik Cr, Ni, Cu, dan Zn limbah cair *elektroplating* akibat kombinasi perlakuan bahan koagulan dan adsorben

Perlakuan	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)
Resin-arang aktif	99	12	65	-22
Resin-kulit kacang diaktivasi	98	92	93	82
Resin-zeolit	99	50	71	-14
Resin-limbah teh	99	92	54	88
Khitosan-arang aktif	17	76	79	89
Khitosan-kulit kacang diaktivasi	12	67	25	91
Khitosan-zeolit	18	76	79	93
Khitosan-limbah teh	47	82	94	91
Biji kelor-arang aktif	21	28	78	79
Biji kelor-kulit kacang diaktivasi	15	47	63	84
Biji kelor-zeolit	32	14	5	82
Biji kelor-limbah teh	51	47	73	63
Eceng gondok diaktivasi-arang aktif	8	67	66	91
Eceng gondok diaktivasi-kulit kacang diaktivasi	8	68	62	95
Eceng gondok diaktivasi-zeolit	11	68	47	95
Eceng gondok diaktivasi-limbah teh	27	69	60	95
Azolla diaktivasi-arang aktif	30	65	84	83
Azolla diaktivasi-kulit kacang diaktivasi	27	66	66	86
Azolla diaktivasi-zeolit	36	64	77	79
Azolla diaktivasi-limbah teh	37	65	37	89



Gambar 4 Pengaruh bahan koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya terhadap pH limbah cair *elektroplating*



Gambar 5 Pengaruh bahan koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya terhadap DHL limbah cair elektroplating

Pengaruh bahan koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya terhadap DHL limbah cair *elektroplating* disajikan pada Gambar 5. Gambar tersebut menunjukkan bahwa biji kelor dan azolla diaktivasi menurunkan DHL limbah cair. Demikian pula arang aktif, kulit kacang diaktivasi, dan limbah teh menurunkan DHL limbah cair. Selanjutnya kombinasi antara masing-masing bahan koagulan dan adsorben tersebut juga menurunkan DHL limbah cair. Limbah cair *elektroplating* ini tidak mempunyai masalah DHL karena nilainya masih di bawah ambang batas yang diperbolehkan menurut PP No. 20/1990, yaitu 2.250 mS. Penurunan DHL limbah cair berarti peningkatan kualitas limbah cair, karena tanaman pertanian umumnya tumbuh dengan baik bila diberi air irigasi dengan DHL rendah.

KESIMPULAN

Efektivitas bahan koagulan (khitosan, biji kelor, eceng gondok diaktivasi, dan azolla diaktivasi) dan adsorben alami (arang aktif, kulit kacang diaktivasi, dan limbah teh) serta kombinasi keduanya dalam menurunkan konsentrasi logam berat karsinogenik (Cr, Ni, Cu, dan Zn) limbah cair cukup tinggi, yaitu > 40%.

Bahan tersebut mampu meremediasi limbah cair *elektroplating* hingga mencapai nilai konsentrasi logam berat Ni, Cu, dan Zn di bawah ambang batas kriteria mutu air limbah industri

pelapisan logam menurut Kepmen LH No. 51/MENLH/10/1995.

Tingkat efektivitas dalam menurunkan konsentrasi logam berat berbeda antara bahan koagulan atau adsorben satu dengan yang lainnya.

Bahan koagulan, adsorben, dan kombinasi keduanya umumnya tidak berpengaruh terhadap pH dan DHL limbah cair kecuali azolla diaktivasi menurunkan pH serta azolla diaktivasi dan kulit kacang diaktivasi menurunkan DHL limbah cair.

DAFTAR PUSTAKA

- Alluri, H.K., S.R. Ronda, V.S. Settalluri, J.S. Bondili, Suryanarayana, and Venkateshwar. 2007. Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal. *African Journal of Biotechnology* 6 (25): 2924-2931.
- Arreneuz, S. 1996. Isolasi Khitin dan Transformasinya menjadi Khitosan dari Limbah Kepiting Bakau (Seylla Serrata). *Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jendral Ahmad Yani, Bandung.*
- Balley, J.E., and Ollis, D.F. 1977. *Biochemical Engineering Fundamental*. Mc. Graw Hill Kogakusha Ltd. Tokyo.
- Eckenfelder, W.W. 1989. *Industrial Water Pollution Control 2nd edition*. McGraw Hill Inc. New York.

- Eviati dan Sulaeman. 2009. *Petunjuk Teknis Edisi 2. Analisis Kimia tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Fahmi, R. 1997. Isolasi dan Transformasi khitin menjadi khitosan. *Jurnal Kimia Andalas* 3 (1): 61 – 68.
- Ferrer, J., G. Paez, Z. Marmol, E. Ramons, H. Garcia and C.F. Forster. 1996. Acid hydrolysis of shrimp shell wastes and the production of single chell protein from the hydrolysate. *Journal Bioresource Technology* 57 (1): 55-60.
- Ghazvini, P.T.M., and S.G., Mashkani. 2007. Phytoremediation of aqueous solutions polluted by Cr (VI) and Pb (II) by Azolla: A new bioseparation process for wastewater treatment. <http://mms.technologynetworks.net/posters/0797.pdf>.
- Hadi, A. 2005. *Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyanto dan C.C. De Guzman. 2008. Identification of lead and cadmium levels in white cabbage (*Brassica rapa* L.), soil, and irrigation water of urban agricultural sites in the Philippines. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 9(1): 1-6.
- Hirano, S. 1986. Chitin and Chitosan. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Republicka of Germany.
- Ingeniero, R.C.O. and T.R. Perez. 2011. Isothermal equilibrium and kinetics study on the adsorption of copper (ii) ions by dried water hyacinth (*Eichhornia crassipes* linn.)biomass. <http://mms.technologynetworks.net/posters/0797.pdf>. Dalam "The Online Journal Od The Scientific Poster" ISSN: 1754-1417.
- Inoue, K., Kazuharu, Y., dan Baba, Y. 1994. *Adsorbition of Metal Ion on Chitosan and Chemically Modified Chitosan and Their Application to Hidrometalurgy*. *Biotechnology and Bioactive Polymers*. Gebelein, C., Carraher (Edd). Plenum Publishing. New York.
- Kwartiningsih, E., dan N, Setiarini. 2005. *Adsorbsi logam Cu dari limbah elektroplating menggunakan karbon aktif dalam kolom fixed bed*. *Ekuilibrium* 4 (2): 78 – 84.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1995. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri*. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Mahamadi, C., and T. Nharingo. 2010. Competitive adsorption of Pb^{2+} , Cd^{2+} and Zn^{2+} ions onto *Eichhornia crassipes* in binary and ternary systems. *Bioresource Technology* 3 (101): 859-864.
- Marshall, W.E., L.H. Wartelle, D.E. Boler, M.M. Johns, and C.A. Toles. 1999. Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid. *Bioresource Technology* 69: 263-268.
- Manocha, S.M. 2003. Porous Carbons. *Sadhana Part 1&2*. 28:335-348. <http://www.ias.ac.in/sadhana/Pdf2003Apr/Pe1070.pdf>. (accessed 26 Agustus 2008).
- Marganof. 2003. Potensi Limbah Udang sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan. *Tesis Sekolah Pasca Sarjana*, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Mulyadi, S.Y. Jatmiko, dan A.N. Ardiwinata. 2007. Pencemaran limbah industri di lahan pertanian dan teknologi penanggulangannya. *Pengelolaan Lingkungan Pertanian Menuju Mekanisme Pembangunan Bersih*. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Muraleedharan TR, Iyengar L, Venkobachar C 1991. Biosorption: an attractive alternative for metal removal and recovery. *Curr. Sci*. 61:379-385.
- Muyibi, S.A. dan Evison, L.M. 1995. Moringa Oleifera Seeds for Softening Hardwater. *J. Water Research* 29(4): 1099-1105.
- Muzzarelli, R.A.A. 1985. *Chitin in the Polysaccharides*. Aspinall (ed) Academic Press Inc. Orlando, San Diego 3: 417-450.
- Ndabigengesere, A.K., S. Narasiah. and B.G. Talbot. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using moringa oleifera. *Water Research* 29 (2): 703-710.
- Niu, H., X. S. Xu and J. H. Wang. 1993. Removal of lead from aqueous solutions by *Penicillium* biomass. *Biotechnol. Bioeng.* 42: 785-787.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Institut Teknologi Bandung.
- Presiden Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Presiden Republik Indonesia.

- Presiden Republik Indonesia. 1990. *Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air*. Presiden Republik Indonesia.
- Roth, H. J. 1988. *Analisis Farmasi*. Penerbit Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sembiring, M.T. dan T.S. Sinaga. 2003. *Arang Aktif Pengalasan dan Proses Pembuatannya*. Universitas Sumatera Utara Digital Library.
- Subadra, I., B. Setiaji, and I. Tahir. 2005. Activated carbon production from coconut shell with $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ activator as an adsorbent in virgin coconut oil purification. Hal. 1-8 dalam *Prosiding Seminar Nasional DIES ke 50 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, Universitas Gadjah Mada.
- Sutherland, J.P., Folkard, G.K. dan Grant W.D. 1990. Natural coagulants for appropriate water treatment: a novel approach. *J. Waterlines* 8(4): 30-32.
- Suresh, B. and G.A. Ravishankar. 2004. Phytoremediation-a novel and promising approach for environmental clean-up. *Critical Reviews in Biotechnology* 24(2-3): 97-124.
- Tokura, S. and N. Nishi. 1995. Specification and characterization of chitin and chitosan. *collection of working papers*. Univesiti Kebangsaan Malaysia 8: 67 – 78.