



PENURUNAN KADAR ION Pb^{2+} DAN Cd^{2+} PADA KERANG DENGAN MENGGUNAKAN FILTRAT KULIT NANAS

Anugrah Tri Ilyasa*), Eko Budi Susatyo dan Agung Tri Prasetya

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima September 2016
Disetujui Oktober 2016
Dipublikasikan November 2016

Kata Kunci:
kulit nanas
kerang
AAS

Abstrak

Adanya kandungan asam sitrat dalam kulit nanas digunakan untuk pelepasan ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi filtrat kulit nanas dan waktu perendaman terhadap penurunan Pb^{2+} dan Cd^{2+} dan mengetahui penurunan kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} dalam kerang. Kerang didestruksi menggunakan HNO_3 dan diberi perlakuan dengan konsentrasi filtrat kulit nanas (1x, 2,5x, 5x, 7,5x, dan 10x pengenceran) dan lama perendaman (15, 30, 45, 60, dan 90 menit). Kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} diukur menggunakan AAS. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi optimum kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} pada pengenceran 7,5x dan 5x sebesar 13,020 mg/kg/mL dan 5,915 mg/kg/mL. Hasil yang diperoleh untuk perendaman optimum untuk menurunkan kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} adalah 60 menit. Perlakuan pada kondisi optimum menunjukkan rata-rata penurunan kandungan Pb^{2+} dan Cd^{2+} sebesar $2,9960 \pm 0,3111$ mg/kg dan $2,008 \pm 0,5706$ mg/kg. Perbedaan konsentrasi dan lamanya perendaman dengan filtrat kulit nanas berpengaruh terhadap kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} .

Abstract

Citic acid in pineapple peel can be used to remove lead and cadmium. The aims of this research were to know the effect of concentration of pineapple peel's filtrate and dipping time to reduce the Pb^{2+} and Cd^{2+} content of shellfish and the reduction of Pb^{2+} and Cd^{2+} content. Shellfish was destructed using HNO_3 then treated using two treatments, which were various concentration of pineapple peel's filtrate (undiluted, 2.5x, 5x, 7.5x, and 10x dilution) and dipping time (15, 30, 45, 60, and 90 minutes). Pb^{2+} and Cd^{2+} content was measured by using AAS. The result showed that the optimum concentration content was in 7.5 times and 5 times dilution. It has reduced 13.020 mg/kg/mL Pb^{2+} and 5.915 mg/kg/mL Cd^{2+} content. Both Pb^{2+} and Cd^{2+} content showed the optimum reduction was after 60 minutes. In addition, the average of reduction of Pb^{2+} and Cd^{2+} content in optimum condition was $2,9960 \pm 0,3111$ mg/kg and $2,008 \pm 0,5706$ mg/kg. The differences concentration of pineapple peel's filtrate and dipping time have effect to the Pb^{2+} and Cd^{2+} content.

Pendahuluan

Perkembangan industri di kota Semarang yang pesat dapat meningkatkan jumlah limbah industri yang masuk perairan. Menurut laporan dari data statistik pada tahun 1981 di kota Semarang ada sekitar 85 buah industri yang digolongkan kedalam 7 kelompok industri tekstil, pertanian, perumahan, logam dan mesin, perhotelan, kimia dan farmasi, dan aneka industri. Industri logam dan mesin tekstil, serta kimia yang dalam produksinya sangat berpotensi untuk mengeluarkan limbah logam berat seperti Pb^{2+} dan Cd^{2+} .

Pencemaran yang terdapat di perairan akan menyebabkan organisme laut akan mudah terakumulasi oleh logam berat. Organisme yang banyak terpengaruh oleh adanya limbah diantaranya yaitu kerang. Kerang yang hidup dengan cara menyaring makanan, (*filter feeders*), dan hidupnya didasar serta sedikit bergerak akan terpengaruh oleh adanya logam berat yang ada di sekitarnya dapat masuk dalam tubuh kerang tersebut (Jalaluddin; 2005). Apabila manusia mengkonsumsi kerang yang mengandung kadar logam berat dalam jumlah yang cukup tinggi maka berdampak negatif atau membahayakan kesehatan.

Untuk melepas kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} dalam kerang dibutuhkan senyawa organik diantaranya yaitu asam sitrat. Asam sitrat mampu membentuk senyawa kompleks dengan logam. Asam sitrat bersifat mengikat logam (*chelating agent*) sehingga dapat membebaskan bahan makanan dari cemaran logam (Meidianasari; 2010). Asam sitrat sebagai *chelating agent* dengan tiga gugus fungsional karboksilnya ($-COOH$) yang dikondisikan pada konsentrasi dan waktu kontak tertentu, atom hidrogen (H) mengalami deprotonasi. Lepasnya ion H^+ yang potensial ionisasinya besar dapat masuk ke dalam kisi-kisi dan mampu menggantikan kedudukan dengan ion logam Cd^{2+} maupun Pb^{2+} dan terjadilah khelasi (Priyadi, *et al.*; 2013).

Selain jeruk, buah yang memiliki kandungan asam sitrat tinggi adalah buah nanas (Abdullah; 2010). Menurut Febriyanti dan Rufita (2011), kulit nanas yang tidak dimanfaatkan sekitar 50%. Padahal Menurut Senthikumar, *et al.* (2000) kulit nanas dapat digunakan untuk melepas logam berat seperti timbal dan kadmium. Kulit nanas dapat melepas logam berat dikarenakan adanya kandungan asam sitrat sebesar 78% dari total asam (Irfandi; 2005).

Untuk mengantisipasi pengaruh negatif yang ditimbulkan terhadap masyarakat sekitarnya, maka perlu dilakukan analisis kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} dalam kerang. Berdasarkan masalah di atas, maka peneliti memfokuskan kajian pada "Penurunan kadar ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} pada kerang dengan menggunakan filtrat kulit nanas". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui 1) pengaruh konsentrasi filtrat kulit nanas dan waktu perendaman terhadap penurunan ion Pb^{2+} dan ion Cd^{2+} dan 2) mengetahui penurunan kadar ion Pb^{2+} dan ion Cd^{2+} dalam kerang.

Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini neraca analitik, *hot plate magnetic stirrer SM22 termoline*, *Frontier FT-IR Perkin Elmer Spectrum 100*, *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) Perkin Elmer* dan alat-alat gelas. Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah kulit nanas yang didapat dari pasar Ungaran, kerang hijau yang didapat dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI), aquades, HNO_3 , $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, dan $Pb(NO_3)_2$ dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*.

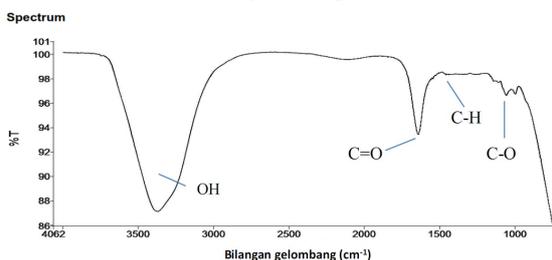
Penelitian ini diawali dengan preparasi kulit nanas untuk mendapatkan filtrat dengan konsentrasi 1x, 2,5x, 5x, 7,5x, dan 10x pengenceran. Selanjutnya kerang dibersihkan dan diblender hingga halus serta ditimbang 2 g untuk destruksi dan 5 g untuk perendaman filtrat kulit nanas. Kerang didestruksi menggunakan HNO_3 5 mL dan menambahkan aquades 10 mL. Setelah itu kerang diberi perlakuan untuk mendapatkan kadar optimum dengan menggunakan konsentrasi filtrat kulit nanas (tanpa pengenceran, 2,5x, 5x, 7,5x, dan 10x pengenceran) dan lama waktu perendaman (15, 30, 45, 60, dan 90 menit). Kadar Pb dan Cd sebelum dan sesudah diukur dengan menggunakan AAS.

Pengujian aplikasi dilakukan setelah diketahuinya konsentrasi filtrat kulit nanas optimum dan lama waktu perendaman optimum. Kerang diperlakukan dengan menggunakan konsentrasi optimum dan lama waktu perendaman optimum. Metode selanjutnya adalah pengujian senyawa dalam kulit nanas diidentifikasi menggunakan FT-IR.

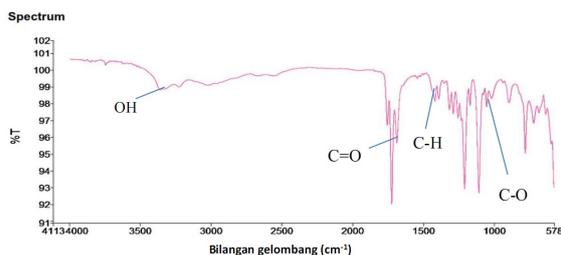
Hasil dan Pembahasan

Analisis dengan spektroskopi infra merah menggunakan metode tetes larutan. Larutan dianalisis dengan spektrofotometer infra merah dari bilangan gelombang $4000-500\text{ cm}^{-1}$. Identifikasi yang dihasilkan lebih bersifat kualitatif

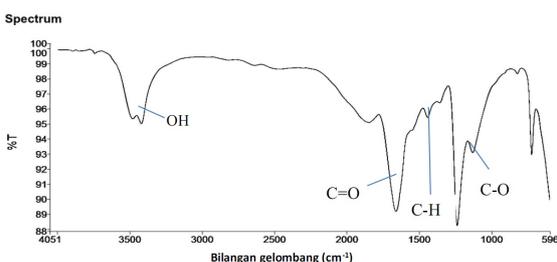
yakni pengenalan keberadaan gugus-gugus fungsional yang ada. Spektra infra merah filtrat kulit nanas, standar asam sitrat, asam oksalat, dan asam malat ditunjukkan pada Gambar 1-4.



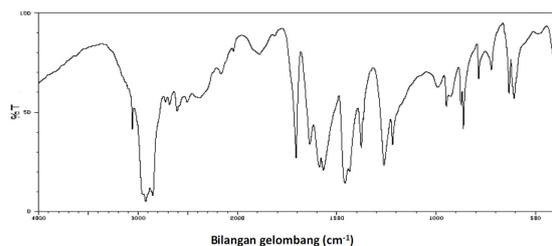
Gambar 1. Spektra infra merah filtrat kulit nanas



Gambar 2. Spektra infra merah standar asam sitrat



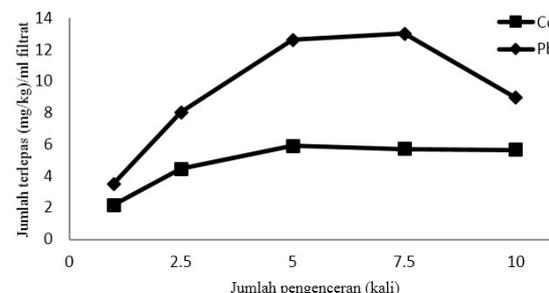
Gambar 3. Spektra infra merah standar asam oksalat



Gambar 4. Spektra infra merah standar asam malat (Anonim; 2011)

Berdasarkan Gambar 1. spektra infra merah filtrat kulit nanas terlihat pita serapan pada bilangan gelombang 3370 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus fungsional -OH, sedangkan pada bilangan gelombang 1638 cm⁻¹ menunjukkan gugus C=O. Pada gambar tersebut dapat dilihat juga pita serapan yang terdeteksi dalam filtrat kulit nanas pada bilangan 1457 cm⁻¹ merupakan gugus fungsi C-H dan terdapat bilangan gelombang 1055 cm⁻¹ yang

menunjukkan gugus fungsi C-O. Gugus-gugus fungsi yang terdapat pada filtrat kulit nanas terdapat juga pada larutan standar asam sitrat, asam oksalat dan asam malat. Hasil optimasi konsentrasi filtrat kulit nanas dengan jumlah pengenceran 1x, 2,5x, 5x, 7,5x dan 10x ditunjukkan pada Gambar 5.



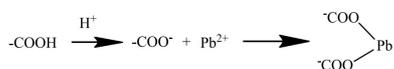
Gambar 5. Pengaruh kadar Pb²⁺ dan Cd²⁺ yang terlepas terhadap jumlah pengenceran

Berdasarkan Gambar 5. menunjukkan bahwa pada konsentrasi filtrat kulit nanas tanpa pengenceran, 2,5x, 5x dan 7,5x pengenceran terjadi kenaikan jumlah Pb²⁺ yang terlepas dalam filtrat seiring dengan bertambahnya jumlah pengenceran. Sedangkan pada 10x pengenceran filtrat terjadi penurunan jumlah Pb²⁺ yang terlepas dalam filtrat. Saat terjadi penurunan dapat diketahui titik optimum pada grafik tersebut. Kadar optimum ion Pb²⁺ terdapat pada perendaman filtrat kulit nanas 7,5x pengenceran dengan konsentrasi sebesar 13,020. Untuk Cd²⁺, dari konsentrasi filtrat kulit nanas tanpa pengenceran, 2,5x dan 5x pengenceran terjadi kenaikan Cd²⁺ yang terlepas dalam filtrat. Sedangkan pada 7,5x dan 10x pengenceran terjadi penurunan dan kenaikan jumlah Cd²⁺ yang terlepas dalam filtrat yang tidak signifikan. Saat terjadi penurunan dapat diketahui titik optimum pada grafik tersebut. Kadar konsentrasi optimum ion Cd²⁺ terdapat pada perendaman filtrat kulit nanas 5x pengenceran dengan konsentrasi sebesar 5,915.

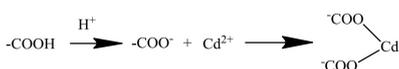
Menurut Ismail dan Hanudin (2005), pengaruh pH terhadap pelepasan proton dapat dikaitkan dengan nilai pKa-nya. Apabila pH lingkungan di atas nilai pKa-nya, maka proton dalam asam itu terlepas semua, sebaliknya apabila pH di bawah pKa-nya maka senyawa organik dalam bentuk asam dan tidak bermuatan. Kekuatan pertukaran kation dipengaruhi oleh berbagai faktor, semakin besar muatan semakin kuat kapasitas pertukaran. Jumlah kation total yang dipertukarkan akan sebanding dengan total ion hidrogen yang dilepas resin (Shofyan; 2010 dalam Priyadi, *et*

al.; 2013).

Gugus fungsional karboksil $-COOH$ yang terikat pada makromolekuler dalam filtrat kulit nanas akan terionisasi akibat adanya perubahan konsentrasi dan membentuk muatan negatif, yang menyebabkan gugus fungsional tersebut akan bersifat aktif. Atom hidrogen pada gugus karboksil $-COOH$ dapat dilepaskan sebagai ion H^+ atau mengalami deprotonasi, sehingga mempunyai peluang membentuk kompleks dengan ion logam yang disebut khelasi (Li, *et al.*; 2010). Oleh karena itu, ion logam Pb^{2+} dan Cd^{2+} dalam kerang dapat berikatan dengan gugus $-COO^-$ dari filtrat kulit nanas dan membentuk khelat. Reaksi gugus karboksil dengan Pb^{2+} dan Cd^{2+} disajikan sebagai berikut:

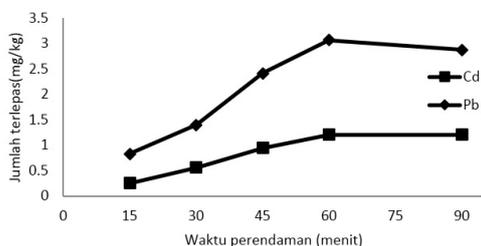


Reaksi gugus karboksil dengan Pb^{2+}



Reaksi gugus karboksil dengan Cd^{2+}

Hasil optimasi lama waktu perendaman menggunakan filtrat kulit nanas dengan lama waktu 15, 30, 45, 60, dan 90 menit ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh jumlah Pb^{2+} dan Cd^{2+} yang terlepas terhadap waktu perendaman filtrat kulit nanas

Dari hasil Gambar 6. menunjukkan bahwa untuk Pb^{2+} , konsentrasi pada waktu perendaman selama 15, 30, 45, dan 60 menit terjadi kenaikan jumlah Pb^{2+} yang terlepas dalam filtrat seiring dengan bertambahnya waktu perendaman. Sedangkan pada waktu perendaman 90 menit mengalami penurunan jumlah Pb^{2+} yang terlepas tetapi tidak signifikan. Saat penurunan jumlah Pb^{2+} ini terjadi desorpsi oleh filtrat kulit nanas. Desorpsi ini disebabkan gugus aktif yang terdapat dalam filtrat kulit nanas sudah terisi atau berikatan dengan ion logam. Hasil optimasi waktu perendaman pada Pb^{2+} sebesar 3,068 mg/kg pada waktu optimum 60 menit. Untuk Cd^{2+} , dari waktu perendaman selama 15, 30, 45 dan 60 menit terjadi kenaikan jumlah

Cd^{2+} yang terlepas dalam filtrat. Sedangkan pada waktu perendaman 60 hingga 90 menit mendekati konstan. Nilai dari waktu perendaman 60 menit sebesar 1,205 mg/kg dan 90 menit sebesar 1,207 mg/kg. Selisih 0,002 mg/kg untuk mendekati optimum. Oleh karena itu titik optimum pada lama perendaman yaitu 60 menit. Hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 6. dapat dinyatakan bahwa waktu perendaman optimum terhadap pelepasan Pb^{2+} dan Cd^{2+} yaitu 60 menit. Perihal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara ion logam $Pb(II)$ dan adsorben memungkinkan terjadi pengikatan penyerapan ion logam, namun jika terlalu lama, dapat menurunkan tingkat penyerapan. Hal ini disebabkan semakin lama waktu kontak dapat mengakibatkan desorpsi, yaitu lepasnya logam $Pb(II)$ yang sudah terikat pada gugus aktif adsorben (Ibrahim; 2015).

Terjadinya pelepasan Pb^{2+} dan Cd^{2+} pada kerang disebabkan oleh adanya asam sitrat sebagai *chelating agent* dengan tiga gugus fungsional karboksilnya yang dikondisikan pada konsentrasi dan waktu kontak tertentu, atom hidrogen (H) mengalami deprotonasi. Lepasnya ion H^+ yang potensial ionisasinya besar dapat masuk ke dalam kisi-kisi dan mampu menggantikan kedudukan dengan ion logam Cd^{2+} maupun Pb^{2+} dan terjadilah khelasi (Priyadi, *et al.*; 2013).

Hasil optimasi konsentrasi dan optimasi lama waktu perendaman menggunakan filtrat kulit nanas dengan konsentrasi 7,5x untuk Pb^{2+} dan 5x untuk Cd^{2+} , sedangkan lama waktu optimum Pb^{2+} dan Cd^{2+} 60 menit ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Mengaplikasikan titik optimum konsentrasi dan waktu perendaman

Jumlah pengenceran		Waktu perendaman (menit)		Jumlah terlepaskan (mg/kg)		Rata-rata jumlah terlepaskan (mg/kg) \pm Standar Deviasi		Rata-rata persentase terlepaskan (%)	
Pb^{2+}	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}	Pb	Cd
				2,517	1,562				
				3,044	1,647				
7,5x	5x	60		2,905	1,642	$2,994 \pm 0,3143$	$2,010 \pm 0,5696$	40,16	36,17
				3,361	2,338				
				3,142	2,860				

Berdasarkan Tabel 1. bahwa kandungan Pb^{2+} dengan jumlah pengenceran optimum 7,5x dan waktu perendaman optimum 60 menit didapatkan nilai sebesar $2,994 \pm 0,3143$ mg/kg. Sedangkan kandungan Cd^{2+} dengan jumlah pengenceran optimum 5x dan waktu perendaman optimum 60 menit didapatkan nilai sebesar $2,010 \pm 0,5696$ mg/kg. Berdasarkan hasil analisis data, diperoleh kadar kerang mula-mula pada Pb^{2+} sebesar ± 7 mg/kg dan kadar untuk

Cd^{2+} sebesar ± 5 mg/kg. Banyaknya kadar Pb^{2+} dalam kerang tersebut diperkuat oleh adanya penelitian dari Rositari (2010) yang menyebutkan bahwa pada sedimen di pesisir perairan Semarang memiliki kadar Pb^{2+} 14,65 mg/kg. Menurut Taftazani (1999), kadar Cd^{2+} dalam sedimen di lokasi Tanjung Mas sebesar 7,898 $\mu\text{g/g}$. Menurut Departemen Kesehatan RI dan FAO batas maksimal kadar Pb^{2+} dalam kerang sebesar 1,5 mg/kg. Sedangkan batas maksimal kadar Cd^{2+} dalam kerang menurut Departemen Kesehatan RI dan FAO Indonesia sebesar 1 mg/kg. Besarnya kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} menyebabkan kerang sampel dilarang untuk dikonsumsi karena melebihi batas maksimum dari FAO Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan setelah perlakuan uji konsentrasi optimum dan waktu perendaman optimum, kadar Pb^{2+} dan Cd^{2+} masih melebihi ambang batas yang telah ditentukan oleh Departemen Kesehatan RI dan FAO Indonesia.

Penurunan kandungan logam timbal dan kadmium disebabkan larutan asam pada kulit nanas dapat merusak ikatan kompleks logam protein. Ion logam yang terdapat dalam tubuh organisme hampir semuanya berikatan dengan protein (Setiawan; 2012). Menurut Izza (2014), penurunan kadar ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} dapat disebabkan karena lepasnya ikatan kompleks logam protein sehingga ion-ion logam tersebut keluar dari dalam daging kupang. Interaksi kompleks antara ion logam dengan protein secara metaloenzim dan metal protein. Metaloenzim adalah protein yang berikatan dengan logam dalam tubuh atau protein berikatan secara kuat dengan ion logam membentuk ikatan yang stabil. Metal protein adalah protein yang berikatan di dalam tubuh dan ion logamnya mudah saling bertukar dengan protein lain.

Asam sitrat sebagai *chelating agent* dengan tiga gugus fungsional karboksilnya yang dikondisikan dengan konsentrasi dan waktu kontak tertentu akan mengalami deprotonasi. Lepasnya ion H^+ yang potensial ionisasinya besar dapat masuk ke dalam kisi-kisi dan mampu menggantikan kedudukan dengan ion logam Cd^{2+} maupun Pb^{2+} dan terjadilah khelasi. Khelasi adalah reaksi kesetimbangan antara ion logam dengan agen pengikat (pengkhelat) yang dicirikan dengan terbentuknya lebih dari satu ikatan antara logam tersebut dengan molekul agen pengkhelat dan menyebabkan terbentuknya struktur cincin yang mengelilingi logam tersebut (Priyadi, *et al.*; 2013).

Menurut Marina (2008), asam sitrat memiliki 3 gugus karboksilat sehingga daya ikatnya terhadap Pb dan Cd sangatlah kuat dibanding dengan asam oksalat dan malat. Gugus karboksil ini melepas proton dan menghasilkan ion sitrat. Kemudian ion sitrat bereaksi dengan ion logam membentuk ikatan kompleks. Sedangkan asam oksalat dan asam malat memiliki gugus karboksilat sebanyak dua. Gugus yang dimiliki kedua asam tersebut lebih sedikit daripada asam sitrat.

Simpulan

Pelepasan Pb^{2+} dan Cd^{2+} optimum pada kerang terjadi pada konsentrasi pengenceran filtrat kulit nanas sebesar 5 dan 7,5 kali. Pelepasan Pb^{2+} dan Cd^{2+} optimum pada kerang terjadi pada lama waktu perendaman 60 menit menggunakan filtrat kulit nanas. Sedangkan Penurunan kadar Pb^{2+} terlepas pada konsentrasi optimum dengan waktu perendaman optimum yaitu 2,994 mg/kg (40,16%). Penurunan kadar Cd^{2+} pada konsentrasi optimum dengan waktu perendaman optimum yaitu 2,010 mg/kg (36,17%).

Daftar Pustaka

- Abdullah, M.M. 2010. Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Sitrat melalui Proses Fermentasi dari Kulit Nanas dengan Kapasitas Produksi 9 Ton/Hari. *Tugas Akhir*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara
- Anonim. 2011. *Distinguish Intramolecular and Intermolecular Hydrogen Bonding*. Tersedia www.albany.edu/news/13133.php [diakses 28-01-2016]
- Febriyanti, L. & R. Elena. 2011. Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas (*Ananas comosus*) dengan Proses Enzimasi dan Fermentasi. *Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya
- Irfandi. 2005. Karakterisasi Morfologi Lima Populasi Nanas (*Ananas comosus*). *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Izza, T.A.N.H. 2014. Penurunan Kandungan Timbal (Pb) pada Kupang Merah (*Musculitas senhausia*) dengan Perebusan Asam Pada Kajian dan Konsentrasi Asam. Malang: Universitas Brawijaya
- Jalaluddin, M.N. & Ambeng. 2005. Analisa logam Berat (Pb, Cd, dan Cr) pada Kerang Laut (*Hiatula chinensis*, *Anandara granosa*, dan *Marcia optima*). *Jurusan Kimia FMIPA*, 6(2)
- Li, Q., Chai, L., Wang, Q., Yang, Z., Yan, H. dan Wang, Y. 2010. Fast Esterifikasi of Spent Grain for Enhanced Heavy Metal Ions Adsorption. *Bioresource Technology*, 101: 3796-3799

- Marina, P.E. 2008. Removal of Cadmium from Aqueous Solution by Dried Water Hyacinth, (*Eichornia Crassipes*). Thesis. Universiti Malaysia. Pahang
- Meidianasari, F. 2010. Pembuatan Saus Kupang Merah (*Musculita senhausia*) dengan Perlakuan Konsentrasi Asam Sitrat dan Lama Perendaman. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Surabaya
- Priyadi, S., Purnama, D., Umar, S. & Pudji, H. 2013. Kelasi Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) Menggunakan Asam Sitrat pada Biji Kedelai. *AgriTech.*, 33(4): 407-413
- Rositara, R. 2010. *Kajian terhadap Lingkungan Pesisir Semarang Berdasarkan Karakteristik Sedimen, Oseanografi Logam Berat Kontaminasi dan Toksisitasnya*. Laporan Insentif Peneliti dan Perekayasa LIPI
- Senthilkumaar, S., Bharathi, S., Nithyanandhi, D. & Subburam, V. 2000. Biosorption of Toxic Heavy Metals from Aqueous Solutions. *Bioresource Tech.*, 75: 163-165
- Setiawan, T.S., Rachmawati, F., Raharjo. 2012. Efektivitas Berbagai Jenis Jeruk (*Citrus Sp.*) untuk Menurunkan Logam Berat Kadar Pb dan Cd pada Udang Putih (*Panaeus Marguiensis*). *Lentera Bio.*, 1(1): 35-40
- Taftazani, A., Sumining, Muzakky. 1999. Studi Sebaran Logam Berat (Hg, Cd, Fe, Co) dalam Kerang Bukur (*Cardium unedo*) dan Sedimen dari Perairan Pantai Semarang dengan Metode AAN. *Puslitbang Teknologi Maju Batan*, 2162: 0216-3128