



SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA V  
“Kontribusi Kimia dan Pendidikan Kimia dalam  
Pembangunan Bangsa yang Berkarakter”  
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS  
Surakarta, 6 April 2013



MAKALAH  
PENDAMPING

KIMIA FISIKA  
(Kode : F-09)

ISBN : 979363167-8

## ADSORBSI Cr(III) OLEH BIOSORBEN SISTEM KOLOM DENGAN Matriks Pengisi Kombinasi Limbah Aren (*Arenga pinnata Merr*) DAN ZEOLIT ALAM TERAKTIVASI

**Ashadi, Kus Sri Martini, M. Masykuri, dan Nur Aliffah**

Program Studi Pendidikan Kimia PMIPA FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta

\*Keperluan korespondensi, email: ashadi\_uns@yahoo.com

### ABSTRAK

Peneitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan biomassa limbah aren (LA) kombinasi zeolit alam (ZA) sebagai adsorben ion logam Cr(III) pada sistem kolom. Pembuatan adsorben zeolit dan limbah aren dilakukan dengan pengayakan, pencucian, pengeringan, aktivasi, penetralan, dan pengeringan kembali. Aktivasi zeolit menggunakan larutan  $H_2SO_4$  2M dan limbah aren menggunakan  $HNO_3$  1 M. Karakterisasi biosorben dilakukan dengan FTIR, XRD, dan SEM-EDAX. Analisis kadar Cr(III) teradsorpsi ditentukan dengan AAS. Hasil penelitian menunjukkan limbah aren dan zeolit alam mempunyai pori-pori dan permukaan yang luas sehingga mampu berfungsi mengadsorpsi ion logam Cr(III). Komposisi limbah aren dan zeolit alam yang efektif dalam mengadsorpsi ion logam yaitu pada pH = 5, ZA/LA = 100/0%, dengan kadar teradsorpsi sebesar 100%; pH = 6, ZA/LA = 0/100%, dengan kadar teradsorpsi sebesar 99,8%; dan pH = 7, ZA/LA = 60/40% serta 20/80%, dengan kadar teradsorpsi sebesar 100% dari konsentrasi 80 ppm ion logam Cr(III).

**Kata Kunci:** ion logam Cr(III), zeolit alam, limbah aren, adsorpsi, sistem kolom

### PENDAHULUAN

Isu pencemaran oleh logam berat terutama dari limbah industri tekstil dan pelapisan logam akhir-akhir ini semakin mengemuka. Kasus pencemaran limbah tailing di Teluk Buyat oleh PT. Newmont Minahasa Raya (Agustus 2004) serta kasus ribuan ekor ikan mati di Teluk Jakarta (2002) merupakan ilustrasi nyata betapa berbahayanya akibat yang ditimbulkan polutan logam berat. US-EPA (U.S. Environmental Agency) mendata ada 13

elemen logam berat dan polutan organik yang merupakan elemen utama pencemaran air. Berbagai jenis logam berat dalam konsentrasi rendah, mencakup krom (Cr), seng (Zn), timbal (Pb), kadmium (Cd) dan kobalt (Co) yang berasal dari limbah industri dan pertanian. Oleh karena itu sangat mendesak diperlukan pengembangan sistem pengolahan limbah yang efektif dan efisien.

Beberapa riset yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa sangat

sukar melakukan remediasi terhadap logam berat yang berada dalam bentuk anion, misalnya kromat ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) dan selenat ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ). Aplikasi beberapa adsorben tunggal (karbon aktif dan berbagai jenis *clay*) kurang efektif, karena afinitasnya yang rendah terhadap anion. Sedangkan aplikasi metode lain, misalnya penggunaan asam kuat dan *chelating agent* justru menimbulkan dampak samping adanya pencemaran lebih lanjut [1]. Berdasarkan fakta tersebut, riset lanjut untuk mengembangkan metode pengolahan limbah logam berat dari industri tekstil dan pelapisan logam memiliki nilai yang sangat strategis.

Kondisi tingkat pencemaran yang terjadi pada sungai Premulung, salah satu sungai penting yang melintas di tengah kota Surakarta, ditinjau dari parameter BOD dan COD serta pengaruhnya terhadap air sumur di sekitarnya. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa kandungan kontaminan BOD dan COD dalam air sungai Premulung di daerah Laweyan sepanjang aliran sungai dari Pasar Jongke sampai Tipes tidak mempengaruhi air sumur di sekitarnya. Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa meskipun masih terletak di bawah ambang baku mutu dilihat dari parameter BOD dan COD, namun kondisi sungai Premulung serta kondisi-kondisi sungai lain di Surakarta mulai mengkhawatirkan [7].

Penelitian ini menitikberatkan pada ion logam Cr(III) yang banyak dihasilkan oleh industri tekstil dan pelapisan logam. Ion-ion logam  $\text{Cr}^{3+}$  dapat menyebabkan kanker paru-paru, kerusakan hati dan ginjal, serta

dapat menyebabkan iritasi pada kulit [4] dan mempunyai sifat mudah terakumulasi, yaitu apabila ion-ion  $\text{Cr}^{3+}$  ada dalam tubuh makhluk hidup akan mengalami penumpukan dan pada konsentrasi tertentu dapat menimbulkan keracunan. Nilai ambang ion  $\text{Cr}^{3+}$  dalam air adalah 0,05 ppm. Dengan demikian, keberadaan ion  $\text{Cr}^{3+}$  dalam air harus diupayakan dengan cara dijera atau diadsorpsi agar tidak melebihi ambang yang diperbolehkan [5].

Usaha-usaha penanganan limbah yang mengandung ion-ion logam khususnya ion-ion  $\text{Cr}^{3+}$  telah banyak dilakukan dan dikembangkan. Pendekatan yang telah banyak dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah melalui imobilisasi dengan teknik pengendapan, pertukaran ion, maupun menggunakan adsorben (zat penjerap). Metode-metode yang telah dikembangkan pada umumnya mempunyai efektifitas yang masih rendah.

Metode adsorpsi ion logam ada 2 yaitu metode *batch* dan metode kolom. Namun, metode adsorpsi dengan metode *batch* ternyata kurang efektif. Hal ini disebabkan oleh banyaknya penggunaan energi dan memakan waktu yang lama serta dalam prosesnya ada pengocokan yang dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan permukaan adsorben, sehingga muncul metode adsorpsi yang dipandang lebih baik dari *batch* yaitu metode kolom.

Apabila dikaitkan dengan potensi industri, industri tepung aren di Dukuh Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, merupakan industri andalan penduduk daerah setempat. Setelah industri jamur yang memanfaatkan

limbah padat pati aren mengalami kebangkrutan, pihak industri mengalami kesulitan membuang limbah, sehingga limbah dibuang di bantaran sungai juga di jalan-jalan. Selain mengganggu estetika, limbah juga mulai mengganggu kualitas udara setempat karena berbau yang tidak enak. Jumlah limbah padat yang dihasilkan mencapai 20-50 ton/hari [2].

Dalam Tesis berjudul "Pemanfaatan Zeolit Alam dan Limbah Kayu Aren (*Arenga pinnata*) untuk Menurunkan Logam Cr(VI) pada Limbah Cair Batik", menyatakan bahwa limbah kayu aren (*Arenga pinnata*) dapat menurunkan kadar logam Cr(VI) pada limbah cair batik dengan sistem kolom sehingga limbah cair batik yang diolah telah memenuhi kriteria baku mutu air limbah ditinjau dari kandungan logam Cr(VI). Dari sudut pandang ini maka pemanfaatan limbah padat pati aren ini disamping memberi nilai tambah produk yang dihasilkan sekaligus sebagai alternatif solusi untuk menyelesaikan permasalahan limbah industri tekstil dan pelapisan logam [6].

Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi bahan alam yang bisa dimanfaatkan dalam proses pengolahan limbah cair, antara lain zeolit. Potensi bahan tambang zeolit di Indonesia sangat melimpah. Kebanyakan zeolit di Indonesia didominasi oleh jenis mineral mordenit dan klinoptilolit, misalnya untuk Jawa Tengah bagian selatan terdapat di Kabupaten Wonogiri sampai perbatasan dengan Gunung Kidul dan Kabupaten Klaten (Bayat). Ketersediaan zeolit lokal di daerah Bayat, Klaten, yang sangat melimpah mendorong upaya-upaya

pemanfaatan sekaligus sebagai langkah memberi nilai tambah.

Zeolit merupakan senyawa alumina silika (Si/Al) yang mempunyai pori dan luas permukaan yang relatif besar, sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang tinggi [8]. Aktivasi zeolit menggunakan asam karena asam dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman, dan luas permukaan. Aktivasi asam terhadap zeolit alam asal Ponorogo dan Wonosari, asam yang dipergunakan adalah HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Hasilnya menunjukkan bahwa perlakuan asam terhadap zeolit alam asal Ponorogo dan Wonosari meningkatkan daya jerap zeolit terhadap limbah cair. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa perlakuan asam telah berhasil melepaskan aluminium dari kerangka zeolit dan mampu meningkatkan keasaman zeolit. Peningkatan keasaman zeolit disebutkan mampu memperbesar kemampuan penjerapan zeolit. Hal itu terjadi karena banyak pori-pori zeolit yang terbuka dan permukaan padatnya menjadi bersih dan luas [3].

Rintisan penelitian dengan adsorben tunggal menggunakan zeolit telah banyak dilakukan peneliti sebelumnya, namun belum banyak yang mendesain zeolit ini pada sistem kolom terkombinasi dengan matriks biomassa limbah padat pati aren. Penelitian ini mengambil sisi positif zeolit dan menerapkannya dalam sistem baru, yaitu adsorben pada kolom dengan varian matriks limbah pati aren. Kombinasi ini diharapkan mampu meningkatkan kapasitas jerap terhadap limbah ion logam Cr(III).

Pilihan bahan zeolit berbasis lokal (dari daerah Bayat, Klaten) memiliki keunggulan kompetitif yaitu lebih murah dan mudah didapat. Pemanfaatan limbah padat pati aren dari sentra industri kecil rakyat (UKM) tepung aren di daerah Daleman, Klaten, disamping sebagai solusi mengatasi pencemaran industri sekaligus sebagai upaya memberikan nilai tambah terhadap limbah. Disamping itu, biosorben yang dikembangkan juga memiliki beberapa keunggulan antara lain, 1) tidak beracun dan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (*lower toxicity, less environmental impact*), 2) bahan baku yang melimpah (*abundance of raw material*), serta 3) prospek pengembangan ke arah komersial yang sangat terbuka (*commercially feasible*). Variasi bahan, pilihan komposisi limbah padat pati aren atau zeolit serta aplikasinya untuk menanggulangi limbah industri tekstil dan pelapisan logam merupakan temuan baru yang dikembangkan dari penelitian sebelumnya.

Berdasarkan uraian di atas maka akan dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah padat pati aren (*Arenga pinnata Merr*) dan zeolit alam teraktivasi dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) sebagai varian adsorben ion logam Cr(III) pada sistem kolom untuk menanggulangi limbah industri tekstil dan pelapisan logam dengan variasi komposisi antara biomassa limbah padat pati aren dan zeolit alam.

## METODE PENELITIAN

### A. Alat dan Bahan

#### 1. Alat

- a. Peralatan gelas
  - 1) Labu ukur 10 mL, 25 mL, 100 mL, dan 1000 mL *Iwaki Pyrex*
  - 2) Gelas beker 250 mL, 500 mL, dan 1000mL
  - 3) Gelas ukur 10 mL, 50 mL, 100 mL *Iwaki Pyrex*
  - 4) Pipet tetes
  - 5) Kaca arloji
  - 6) Spatula
  - 7) Corong kaca
- b. Neraca elektrik
- c. Micro pipet
- d. Kertas saring
- e. Oven
- f. Ayakan 36 mesh
- g. Ayakan 60 mesh
- h. Shaker
- i. Mortir dan alu
- j. Kolom
- k. pH universal
- l. SEM
- m. XRD
- n. Spektrometer FTIR (IR Prestige-21)
- o. Spektrometer AAS

#### 2. Bahan

- a. Serbuk limbah padat pati aren
- b. Zeolit lokal
- c. Aquades
- d. Air bersih
- e. Kristal NaOH analisis
- f.  $HNO_3$  1 M
- g.  $H_2SO_4$  2 M
- h.  $NH_4NO_3$  2 M
- i. HCl 0,1 M
- j.  $Cr(NO_3)_3$  80 ppm
- k. Buffer 5, 6, dan 7

- l. Ijuk
- B. Cara Kerja
  - a. Kolom sebanyak 6 buah disiapkan dan kran ditutup rapat.
  - b. Lapisan pertama paling bawah diisi ijuk secukupnya (kira-kira seenggaman tangan)
  - c. Lalu diberi pembatas kain putih.
  - d. Lapisan kedua yaitu zeolit yang diaktivasi dengan  $H_2SO_4$  dan waktu pemanasan selama 2 jam.
  - e. Lapisan ketiga yaitu limbah pati aren.
  - f. Komposisi perbandingan massa zeolit alam/limbah aren (ZA/LA) = 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, dan 0/100%, dimana 100% massa sebesar 60 gram.
  - g. Isi kolom dengan aquades sampai batas atas adsorben, kran dibuka, tampung air sampai tidak menetes lagi, lalu tutup kran lagi.
  - h. Sebanyak 100 mL larutan  $Cr(NO_3)_3$  80 ppm pH = 5 dialirkan pada kolom.
  - i. Setelah 5 menit kran dibuka, tampung hasil adsorpsi dalam gelas beker sampai tidak menetes lagi.
  - j. Hasil adsorpsi disaring dengan kertas saring.
  - k. Encerkan filtrat yang didapatkan sampai 250 mL dengan aquades.
  - l. Ambil 10 mL filtrat tersebut untuk diukur adsorbansi menggunakan *Spektrofotometri Serapan Atom* (AAS).
  - m. Ulangi hal yang sama pada larutan  $Cr(NO_3)_3$  80 ppm pH=6 dan pH=7.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Analisis Morfologi Adsorben Limbah Aren dan Zeolit

Analisis morfologi kedua adsorben baik limbah aren dan zeolit menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), yaitu untuk mengetahui adanya rongga atau pori-pori di permukaan limbah aren dan zeolit. Dari hasil SEM perbesaran 5000x, zeolit dan limbah aren yang masih mentah dan baru diberikan tahap preparasi sudah mempunyai rongga atau pori-pori pada permukaannya. Sehingga tanpa aktivasi pun limbah aren dan zeolit sudah bisa digunakan untuk adsorben ion logam tetapi hasilnya belum optimal sebab rongga atau pori-porinya belum terbuka sempurna karena masih terdapat air dan kotoran-kotoran yang berupa logam alkali seperti  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ , dan  $Mg^{2+}$ . Sehingga penyerapan ion logam tidak optimal.

Dari hasil SEM perbesaran 5000 x, setelah diaktivasi baik limbah aren maupun zeolit mempunyai rongga atau pori-pori yang lebih luas. Hal ini dikarenakan tahap aktivasi dengan pemanasan yang akan menguapkan air dan penambahan asam yang akan melarutkan logam alkali yang terjerap dalam rongga atau pori-pori, menyebabkan rongga limbah aren dan zeolit terbuka sehingga luas permukaan bertambah serta permukaan padatan menjadi bersih.

### 2. Analisis Gugus Fungsi dan Struktur Adsorben Limbah Aren dan Zeolit

Analisis gugus fungsi dan struktur kedua adsorben menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

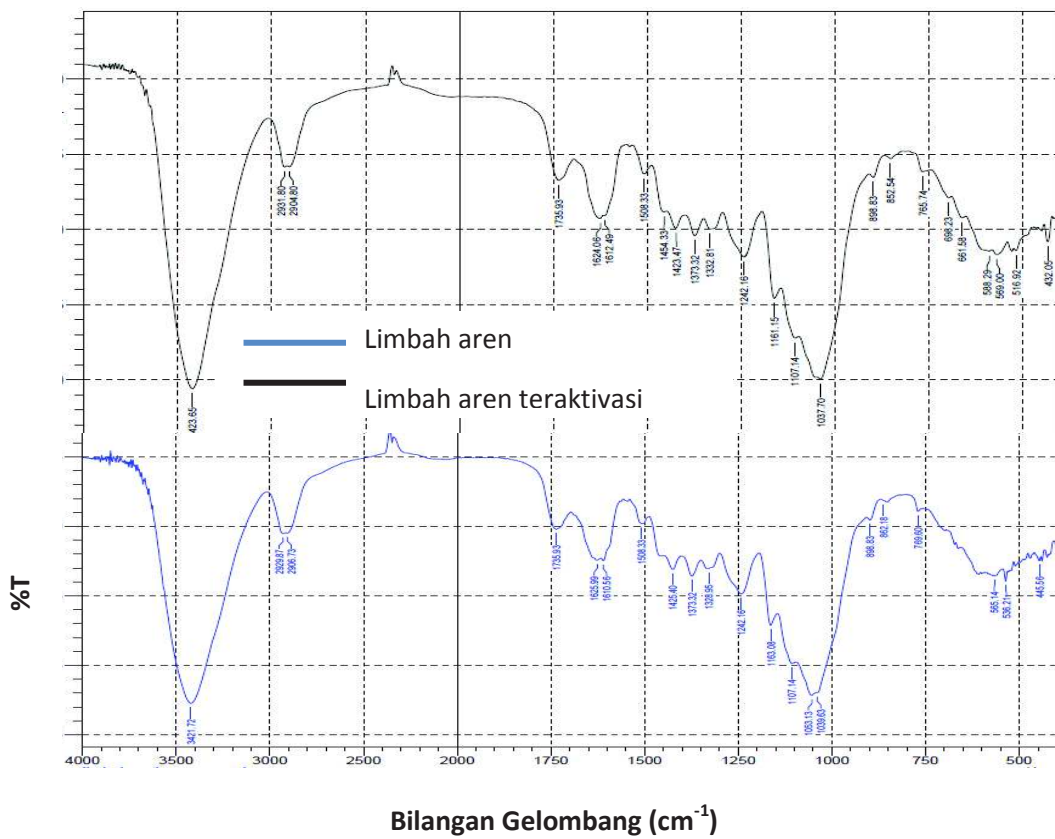
a. Limbah Aren

Serapan yang ditunjukkan menunjukkan bahwa limbah aren mengandung gugus karboksilat

(COOH) dan alkena (C=C), yang mengandung metil (-CH<sub>3</sub>).

b. Zeolit

Serapan yang ditunjukkan menunjukkan bahwa zeolit mengandung gugus OH, ikatan T-O, serta ikatan T-O<sub>4</sub>



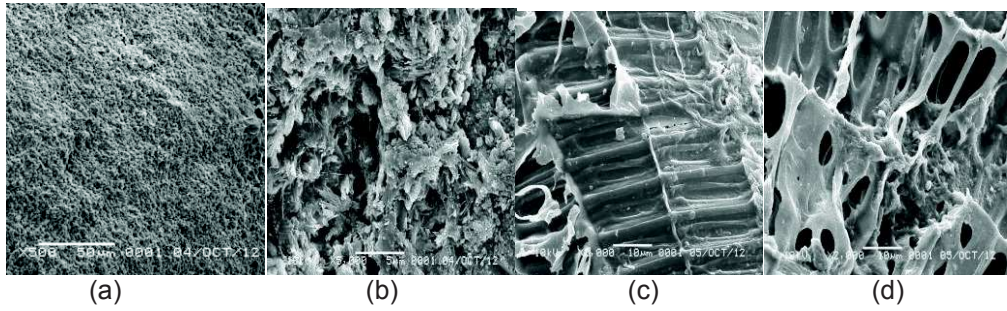
Spektra IR Limbah Aren Sebelum dan Sesudah I reaktivasi HNO<sub>3</sub> 1 M

3. Analisis Kristalinitas Adsorben Zeolit

Berdasarkan hasil SEM-EDAX, zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit jenis standar zeolit.

modernit karena difraktogram zeolit hampir sama dengan difraktogram

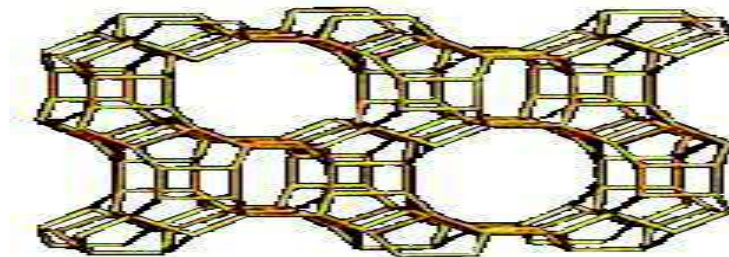




Morfologi SEM-EDAX Zeolit Sebelum (a) dan Sesudah Aktivasi (b), Limbah Aren Sebelum Aktivasi (c) dan Sesudah Aktivasi (d)

Puncak	Zeolit Alam		Zeolit Teraktivasi		Modernite	
	2θ	Intensitas	2θ	Intensitas	2θ	I <sub>rel</sub>
I	13,4821	3374	13,5927	2246	13,45	40.4
II	19,6726	2979	19,7279	2942	19,61	22.7
III	22,3257	6470	22,3809	5601	22,20	46.1
IV	25,6972	6272	25,7525	6424	25,63	75.7
V	26,6921	4863	26,7474	36276	26,25	43.5
VI	27,7423	3564	27,7423	3641	27,67	46.1

Harga 2θ dan Intensitas Puncak-Puncak Terkuat dari Difraktogram Zeolit Alam dan Zeolit Teraktivasi Menggunakan XRD



Gambar Struktur Mordenit

4. Kadar Adsorpsi Ion Logam Cr(III) oleh Adsorben Limbah Aren dan Zeolit

Ditunjukkan bahwa pada setiap variasi pH yang digunakan pada 100 mL larutan Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 80 ppm menghasilkan kadar teradsorpsi yang berbeda-beda pada tiap komposisi

ZA/LA yang digunakan. Hasil adsorpsi dijelaskan sebagai berikut :

- 1) Pada pH 5, adsorpsi ion logam Cr<sup>3+</sup> optimum terjadi pada komposisi ZA/LA = 100/0%, yang artinya hanya terdapat zeolit saja di dalam sistem kolom. Dapat dilihat pada

Gambar 4.15. bahwa pola grafik cenderung turun berarti pada pH 5, semakin sedikit komposisi zeolit pada sistem kolom maka semakin berkurang kemampuan adsorpsi terhadap ion logam Cr(III). Kemampuan yang paling besar yaitu 100% teradsorpsi, artinya dari 80 ppm larutan Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, ion logam Cr(III) yang telah teradsorpsi sebanyak 80 ppm atau teradsorpsi semua.

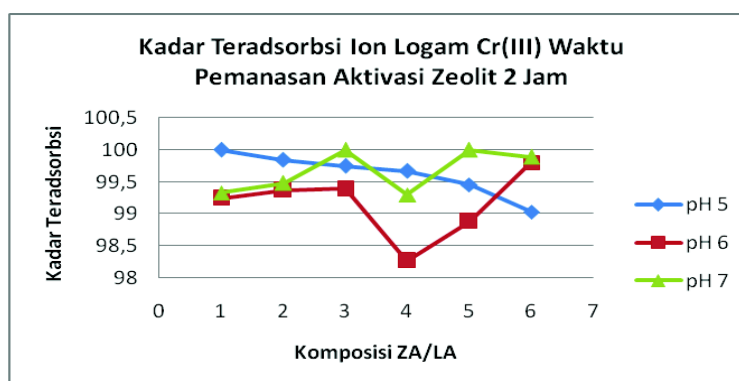
- 2) Pada pH 6, adsorpsi ion logam Cr<sup>3+</sup> optimum terjadi pada komposisi ZA/LA = 0/100%, yang artinya terdapat limbah aren saja di dalam sistem kolom. Pola grafik yang ditunjukkan tidak beraturan tapi kemampuan adsorpsi turun tajam pada komposisi 40/60%, yang

berarti di dalam kolom terdapat 24 gram zeolit dan 36 gram limbah aren. Kemampuan adsorpsi dari 80 ppm ion logam Cr(III) yang paling besar yaitu 99,8 %.

- 3) Pada pH 7, adsorpsi ion logam Cr<sup>3+</sup> optimum terjadi pada dua komposisi yaitu ZA/LA = 60/40%, yang artinya ada sebanyak 36 gram dan limbah aren 24 gram dan pada komposisi ZA/LA = 20/80%, yang artinya ada sebanyak 12 gram dan limbah aren 48 gram di dalam kolom. Kemampuan yang paling besar yaitu 100% teradsorpsi, artinya dari 80 ppm larutan Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, ion logam Cr(III) yang telah teradsorpsi sebanyak 80 ppm atau teradsorpsi semua.

Komposisi ZA/LA(%)	100/0	80/20	60/40	40/60	20/80	0/100
pH 5	100	99,84	99,75	99,67	99,46	99,03
pH 6	99,24	99,37	99,39	98,27	98,88	99,8
pH 7	99,33	99,48	100	99,3	100	99,89

Prosentase Adsorbansi Ion Logam Cr(III) 80 ppm Variasi Komposisi ZA/ A dan pH Larutan



Kadar Teradsorpsi Ion Logam Cr(III) 80 ppm



## KESIMPULAN

1. Limbah aren (*Arenga pinnata Merr*) kombinasi zeolit alam teraktivasi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben ion logam Cr(III) pada sistem kolom, terbukti dari hasil pengukuran konsentrasi menggunakan AAS semua konsentrasi mengalami penurunan dari konsentrasi awal sebesar 80 ppm.
2. Limbah aren (*Arenga pinnata Merr*) dan zeolit alam mempunyai pori-pori dan permukaan yang luas sehingga mampu menyerap ion logam Cr(III) pada sistem kolom, terlihat dari hasil SEM antara sebelum dan sesudah teraktivasi semua adsorben mengandung pori-pori, perbedaannya adalah pori-pori setelah teraktivasi lebih terbuka dan lebih banyak sehingga permukaan lebih luas.
3. Adsorben kombinasi limbah aren (*Arenga pinnata Merr*) dan zeolit alam teraktivasi mempunyai kemampuan yang sangat besar dalam mengadsorpsi ion logam Cr(III) pada sistem kolom, yaitu dengan konsentrasi 80 ppm larutan  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  mampu mengadsorpsi sampai kadar tertinggi sebanyak 100% dan terendah 98,27% dari kandungan ion logam Cr(III).
4. Komposisi limbah aren (*Arenga pinnata Merr*) dan zeolit alam teraktivasi yang efektif dalam mengadsorpsi ion logam Cr(III) pada sistem kolom adalah :
  - a. pH = 5, perbandingan komposisi massa ZA/LA = 100/0%, dengan kadar teradsorpsi sebesar 100% dari 80 ppm ion logam Cr(III)
  - b. pH = 6, perbandingan komposisi massa ZA/LA = 0/100%, dengan kadar teradsorpsi sebesar 99,8% dari 80 ppm ion logam Cr(III)
  - c. pH = 7, perbandingan komposisi massa ZA/LA = 60/40% dan 20/80%, dengan kadar teradsorpsi sebesar 100% dari 80 ppm ion logam Cr(III)

## UCAPAN TERIMA KASIH

Semua pihak yang memberikan kontribusi pada penelitian ini, khususnya Laboratorium P.Kimia FKIP UNS.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Fillipi, B.R., Scamehorn, J.F., Taylor, R.W., and Christian, S.D.1997. Selective removal of copper from an aqueous solution using ligand-modified micellar-enhanced ultrafiltration using an Alkyl- $\alpha$ -diketone ligand. *Separ. Sci. Technol.* 32, 2401- 2424.
- [2] Harian Solopos. 1 Februari 2011.
- [3] Herald, E, Hisyam, SW, dan Sulistiyono. 2003. Characterization and Activation of Natural Zeolit from Ponorogo Indonesian. *Indonesian Journal of Chemistry* 3(2), 91-97. Jurusan Kimia. Fakultas MIPA. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [4] Imam khasani, S. 2001. *Material Safety Data Sheet (MSDS)*. Volume III. Pusat Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- [5] Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 07/MENKES/SK/VII/2002. *Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta.
- [6] Kresnadipayana, D. 2012. Pemanfaatan Zeolit Alam dan Limbah Kayu Aren

(*Arenga pinnata*) untuk Menurunkan Logam Cr(VI) pada Limbah Cair Batik. Tesis. Pasca Sarjana Studi Ilmu Lingkungan UNS.

[7] Martini, K.S. 2006. Pengaruh Air Sungai Premulung Terhadap Kualitas Air Sumur di Sekitarnya Ditinjau dari Parameter COD dan BOD. *Jurnal Enviro* (Terakreditasi). Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) LPPM UNS.

[8] Tsitsishvili, V., V. Gvakharia, N. Sakvarelidze, N. Dolaberidze and M. Lelishvili, 2002: *Influence Of Zeolites On Microorganisms, In Zeolite '02, Proceedings Of 6th Int. Conf. Occurrence, Properties And Utilization Of Natural Zeolites*. Thessaloniki, Greece: 369-370