

ADSORPSI FENOL OLEH KOMBINASI ADSORBEN ZEOLIT ALAM DAN KARBON AKTIF DENGAN METODE KOLOM

Rindya Angraini^{1*}, Nelly Wahyuni¹, Gusrizal¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura,
Jl. Prof. Dr. H.Hadari Nawawi

*e-mail: Rindya_081908a@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pencemaran air oleh fenol dapat memberikan dampak buruk terhadap kesehatan lingkungan dan makhluk hidup. Adsorpsi fenol telah dilakukan untuk menurunkan kadar fenol menggunakan kombinasi dua adsorben dengan metode kolom. Adsorben yang digunakan adalah zeolit alam pada kolom I dan karbon aktif dari tandan kelapa sawit (TKS) pada kolom II. Adsorpsi dilakukan dengan variasi ukuran partikel untuk zeolit alam 16 dan 20 mesh serta karbon aktif 80 dan 100 mesh dengan variasi waktu masing-masing 2, 4 dan 6 jam. Hasil adsorpsi dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 510 nm. Total penurunan kadar fenol yang terbaik diperoleh pada kombinasi kolom zeolit alam 20 mesh-karbon aktif 100 mesh pada waktu kontak 6 jam yaitu sebesar 97,55%.

Kata kunci: tandan kelapa sawit, fenol, zeolit alam, karbon aktif, adsorpsi, kolom

PENDAHULUAN

Limbah fenol merupakan salah satu senyawa organik yang berasal dari buangan industri yang berbahaya bagi lingkungan dan manusia. Dalam konsentrasi tertentu senyawa ini dapat memberikan efek yang buruk terhadap perairan, antara lain menimbulkan bau yang tidak sedap hingga menyerang susunan syaraf pusat pada manusia. Penanganan fenol dalam air limbah dapat dilakukan salah satunya melalui metode penghilangan (*removal*) antara lain dengan cara adsorpsi. Saat ini telah banyak dikembangkan beberapa adsorben untuk mengadsorpsi fenol, salah satunya yaitu dengan adsorpsi dari bahan anorganik menggunakan adsorben zeolit alam dan adsorpsi dari bahan alam yaitu dengan menggunakan adsorben karbon aktif.

Zeolit alam dan karbon aktif memiliki potensi untuk dapat digunakan sebagai adsorben. Kahar (2007) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh laju alir dan diameter partikel zeolit alam pada proses adsorpsi fenol terlarut dalam limbah cair industri kayu lapis dengan metode kolom kontinyu. Hasil yang diperoleh ternyata zeolit mampu menurunkan kandungan fenol di dalam limbah cair sebesar 82,67% pada perlakuan diameter partikel zeolit 16 mesh

dengan laju alir 100mL/menit. Penelitian lain yang telah dilakukan Yousef (2011) juga memanfaatkan adsorben zeolit untuk mengadsorpsi fenol dengan melakukan variasi suhu dan diperoleh penurunan fenol sebesar 23,3 mg/g pada suhu 55 °C.

Putranto (2005) telah memanfaatkan karbon aktif dari kulit biji mete sebagai adsorben untuk adsorpsi fenol menghasilkan penurunan fenol sebesar 96,9% - 98,5%. Dalam pembuatan karbon aktif digunakan aktivator ZnCl₂ dan suhu pemanasan sebesar 600°C selama 1 jam. Berdasarkan KEP No. 51/MENLH/ 10/1995, senyawa fenol dapat dikatakan aman bagi lingkungan jika konsentrasinya berkisar antara 0,5-1,0 mg/L.

Hasil dari beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa zeolit alam dan karbon aktif sangat baik dalam menurunkan kadar fenol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel adsorben, waktu kontak, dan optimasi adsorpsi fenol oleh kombinasi zeolit alam dan karbon aktif dengan metode kolom.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini antara lain alat-alat gelas standar, ayakan 16 mesh, 20 mesh,

80 mesh dan 100 mesh, GSA (*Gas Sorption Analyzer*) merk *Quantachrome nova 1200e*, neraca analitik, perangkat kolom adsorpsi dengan diameter 1 cm dan panjang kolom 29 cm, pHmeter, sentrifuse, spektrofotometer UV-Vis merk *Thermo spektronic Genesys 6*, timbangan analitik, *X-Ray Diffraction (XRD)* tipe *Pan Analytical Xpert Pro Pw 3040* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)* tipe *Advant Xpert Thermo ARL*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah akuades, buffer pH 10, HNO₃, indikator kanji, iodin, 4-aminoantipirin 2% (b/v), K₃[Fe(CN)₆] 8%, KI, KIO₃, Na₂S₂O₃, NaHCO₃ sebagai aktivator, NaOH, TKS diambil dari limbah PT. MAR Desa Sungai Deras, kecamatan Teluk Pakedai, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat dan sampel zeolit alam asal Bandung Selatan-Jawa Barat.

Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kelapa Sawit

Pembuatan karbon aktif dari tandan kelapa sawit (TKS) mengadopsi metode yang telah digunakan oleh penelitian sebelumnya (Ismadi, 2009).

a. Karbonisasi Sampel

Sampel TKS kering (dengan berat yang telah diketahui) dipanaskan di dalam tanur pada temperatur 500 °C selama 1 jam, kemudian ditempatkan dalam wadah yang tertutup. Hasil karbonisasi (selanjutnya disebut HK) kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh dan 100 mesh sehingga diperoleh ukuran partikel yang lolos dari 80 mesh dan 100 mesh.

b. Aktivasi Sampel

Sampel HK sebanyak ± 2 kg direndam dalam larutan NaHCO₃ 4%, yang berperan sebagai aktivator, selama 24 jam. Setelah didekantasi, HK selanjutnya dipanaskan di dalam tanur pada temperatur 600 °C selama 1 jam. Setelah itu, dicuci menggunakan HNO₃ 0,1 M yang dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades hingga pH netral. Kemudian dilakukan pengeringan dalam oven selama 24 jam pada temperatur 105-110 °C.

Penentuan Luas Permukaan

Penentuan luas area permukaan karbon aktif dilakukan menggunakan instrumen GSA untuk mengetahui ukuran pori dari karbon sesudah dilakukan aktivasi.

Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit alam dihancurkan hingga halus dan diayak dengan ayakan 16 mesh dan 20 mesh. Proses aktivasi dilakukan dengan pencucian larutan basa menggunakan NaOH 10% selama 24 jam dan selanjutnya dicuci dengan akuades hingga filtratnya jernih. Setelah itu dilakukan pengeringan dengan pemanasan pada oven pada suhu 110°C selama 2 jam (Kahar, 2007). Sampel tersebut kemudian dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)*.

Adsorpsi Fenol oleh Kombinasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan Metode Kolom

Adsorben zeolit alam dan karbon aktif dimasukkan ke dalam masing-masing kolom. Zeolit dengan ukuran partikel 16 mesh sebanyak 4 g dimasukkan ke dalam kolom pertama dan karbon aktif sebanyak 4 g dengan ukuran partikel 80 mesh dimasukkan ke dalam kolom kedua. Zeolit dengan ukuran partikel 16 mesh sebanyak 4 g dimasukkan ke dalam kolom pertama dan karbon aktif sebanyak 4 g dengan ukuran partikel 100 mesh dimasukkan ke dalam kolom kedua. Pengerjaan yang sama dilakukan dengan ukuran partikel zeolit alam 20 mesh dan karbon aktif dengan ukuran partikel 80 mesh dan 100 mesh, kemudian kolom diisi dengan larutan fenol dan didiamkan selama 1 jam. Kolom di aliri larutan fenol pada kolom pertama. Larutan yang telah melalui kolom (effluen) ditampung dalam bak penampung setelah itu dialiri ke kolom kedua. Selanjutnya konsentrasi fenol pada effluent pada kolom pertama dan kolom kedua dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan variasi selang waktu 2, 4, dan 6 jam untuk mengetahui waktu optimum adsorpsi.

Penentuan Kadar Fenol (SNI 06-6989.21-2004)

Pewarnaan fenol terlarut dilakukan dengan cara mencampurkan 1 mL sampel larutan dengan pereaksi pewarna 0,1 mL 4-aminoantipirin 2% (b/v), 0,1 mL kalium heksasiano ferrat (III) 8% (b/v), 1 mL Buffer pH 10, dan 3 mL akuades. Pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 510nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Karbon Aktif

Besarnya nilai bilangan iodin, kadar air, kadar abu dan densitas dari karbon aktif dengan variasi ukuran partikel 80 dan 100 mesh dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin halus ukuran partikel, maka bilangan iodin mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya luas permukaan spesifik karbon aktif yang ditampilkan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 1 di atas, kadar air mengalami penurunan seiring dengan kenaikan bilangan iodin pada karbon aktif. Semakin tingginya bilangan iodin maka semakin besar air yang mampu diserap. Karbon aktif dengan bilangan iodin yang tinggi memiliki luas permukaan yang besar sehingga karbon aktif lebih banyak menyerap air. Selain itu proses pemanasan dapat mengakibatkan terlepasnya zat-zat pengotor dan tar yang terdapat di dalam karbon, sehingga pori-pori yang terdapat di dalam karbon aktif bertambah banyak (Subadra, 2005).

Tabel 1. Karakterisasi Karbon Teraktivasi

Sampel (Mesh)	Parameter			
	Bilangan Iodin (mg/g)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Densitas (g/mL)
1. 80	466,939	7	7	1,5193
2. 100	477,708	6	6,67	1,3036

Berdasarkan Tabel 1 kadar abu mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya bilangan iodin. Semakin rendahnya kadar abu maka kemampuan karbon aktif dalam menyerap iodin semakin meningkat, dimana semakin tinggi bilangan iodin maka luas permukaan karbon aktif semakin besar. Proses aktivasi mampu mendorong pengotor keluar melalui pori. Selain proses aktivasi dilanjutkan kembali dengan pencucian menggunakan HNO₃ 0,1 N yang dapat menghilangkan pengotor dalam pori-pori karbon aktif sehingga menyebabkan pori-pori menjadi semakin besar. Semakin besar luas permukaan dari karbon aktif maka semakin baik kualitas dari karbon aktif (Mu'jizah, 2010).

Hal ini juga ditunjukkan dengan nilai penurunan densitas 100 mesh dengan 80 mesh. Menurut Mu'jizah (2010), bahwa berat jenis yang kecil menunjukkan peningkatan jumlah pori dari karbon aktif yang menandakan luas permukaan yang lebih besar, karena semakin meningkatnya

jumlah pori karbon aktif maka semakin kecil berat jenis yang diperoleh. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa karbon aktif 100 mesh memiliki daya serap yang lebih baik dibandingkan dengan ukuran karbon aktif 80 mesh.

Penentuan Luas Permukaan

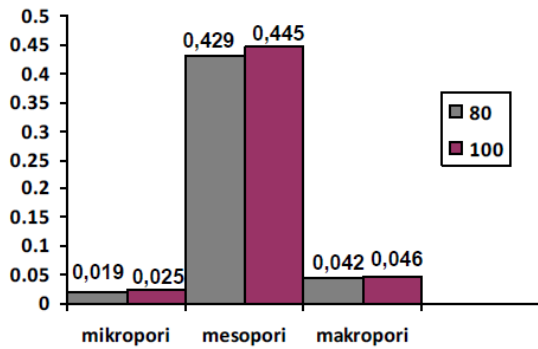
Penentuan luas permukaan karbon aktif bertujuan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, rerata jejari pori dan volume total pori karbon sebelum dan setelah aktivasi menggunakan aktivator NaHCO₃ ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakterisasi Permukaan dari Karbon Aktif

Ukuran Partikel	LPS (m ² /g)	TVP (mL/g)	RJP (Å)
80	25,219	0,042	15,116
100	29,588	0,047	15,126

Tabel 2 menunjukkan terjadi peningkatan pada luas permukaan karbon 100 mesh. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin banyak pori-pori yang terbentuk pada karbon aktif. Hal ini terjadi akibat terlepasnya pengotor dan tar yang menutupi permukaan karbon aktif. Peningkatan juga terjadi pada total volume pori karena semakin banyak terbentuknya pori. Dengan semakin meningkatnya luas permukaan dan terjadinya peningkatan rerata jejari pori mengakibatkan peningkatan pada total volume pori. Menurut Widyaastuti (2013), bahwa hilangnya senyawa-senyawa pengotor di dalam karbon aktif menyebabkan RJP akan semakin besar sehingga di dalam adsorben karbon aktif tersebut tidak ada senyawa pengganggu dalam proses adsorpsi.

Karakter lain yang diperlihatkan oleh hasil analisis GSA selain luas permukaan adalah distribusi ukuran pori. Berdasarkan ukurannya, pori-pori karbon aktif terbagi menjadi 3 kelompok, yaitu makropori (diameter rata-rata < 50 nm), mesopori (diameter rata-rata 2-50 nm), dan mikropori (diameter rata-rata < 2 nm) (Rumidatul, 2006). Distribusi ukuran pori karbon aktif dengan aktivator NaHCO₃ ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1 Distribusi ukuran pori sampel karbon aktif

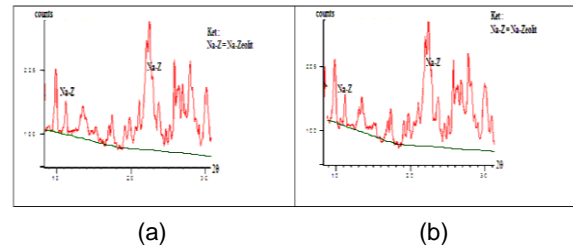
Gambar 1 menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan volume pori berukuran mikro, meso dan makro. Meningkatnya ukuran mikropori pada karbon aktif seiring dengan peningkatan total volume pori yang mengindikasikan semakin banyak membentuk pori-pori baru yang berukuran mikro pada ukuran partikel 100 mesh dibandingkan dengan ukuran partikel 80 mesh. Dengan demikian karbon aktif 100 mesh akan lebih optimal dalam proses adsorpsi.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa karbon aktif dengan ukuran partikel 100 mesh memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel 80 mesh yang ditunjukkan dengan peningkatan bilangan iodin, luas permukaan spesifik dan distribusi ukuran pori.

Karakterisasi Zeolit Alam dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan X-Ray Fluorescence (XRF)

Difraktogram XRD sampel zeolit alam memberikan informasi tentang jenis mineral dan tingkat kristalinitas struktur komponen penyusun sampel. Jenis mineral penyusun sampel ditunjukkan oleh daerah munculnya puncak 2θ. Sedangkan tingkat kristalinitas struktur komponen ditunjukkan oleh intensitas puncak. Hasil difraktogram zeolit alam menunjukkan adanya serapan pada sudut 2θ zeolit berukuran 16 mesh = 11,22° yang bersesuaian dengan jarak d = 7,88 Å dengan intensitas 22,85% dan sudut 2θ dengan ukuran 20 mesh = 11,18° yang bersesuaian dengan jarak d = 7,90 Å dengan intensitas 22,03% serta serapan yang kuat pada sudut 2θ zeolit yang berukuran 16 mesh = 22,84° (d = 3,89 Å) dengan intensitas 51,60% dan sudut 2θ

zeolit berukuran 20 mesh adalah 22,78° (d = 3,90 Å) dengan intensitas sebesar 49,55%. Hasil dari masing-masing zeolit ini memiliki serapan yang merupakan penciri dari jarak dasar keduanya yaitu d₍₁₁₁₎ dan jarak dasar d₍₀₄₁₎. Hasil ini menunjukkan bahwa mineral yang diperoleh merupakan mineral zeolit-Na.



Gambar 2 Difraktogram Zeolit Alam 16 Mesh (a) dan 20 Mesh (b)

Tabel 3 Komposisi Kimia Zeolit Alam yang Dianalisis dengan XRF

Jenis Unsur	Jumlah komposisi	Jumlah komposisi
	Zeolit 16 mesh (%b/b)	Zeolit 20 mesh (%b/b)
SiO ₂	66,73	67,78
Al ₂ O ₃	9,45	9,56

Karakterisasi dengan menggunakan analisis XRF bertujuan untuk mengetahui kandungan atom di dalam zeolit (Rini dan Lingga, 2010). Karakterisasi dilakukan dengan zeolit yang memiliki ukuran partikel 16 mesh dan 20 mesh. Hasil ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Adsorpsi Fenol oleh Kombinasi Adsorben Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan Metode Kolom

Adsorpsi merupakan proses penarikan antara molekul adsorbat dengan adsorben di permukaan adsorben. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi yaitu waktu kontak, ukuran pori, luas permukaan dan lain-lain. Adsorpsi fenol oleh zeolit alam dan karbon aktif dilakukan secara dengan konsentrasi awal fenol sebesar 33,1 mg/L. Metode yang digunakan pada adsorpsi ini yaitu menggunakan kolom. Penentuan persentase fenol yang teradsorpsi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum yaitu 510 nm yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengaruh Kolom terhadap Efisiensi Penurunan Fenol oleh Kombinasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif

Waktu	Ukuran adsorben			A0	A1	A2	Kolom 1	Kolom 2	Kolom
	Zeolit	Karbon							
Kontak (Jam)	Alam (Mesh)	Aktif (Mesh)			(%)	(%)	Total (%)		
2	16	80	33,1	15,48	1,91	53,23	87,66	94,22	
	16	100	33,1	15,48	1,53	53,23	90,11	95,37	
	20	80	33,1	13,67	1,41	58,70	89,68	95,74	
4	20	100	33,1	13,67	1,34	58,70	90,19	95,95	
	16	80	33,1	8,56	1,25	74,13	85,39	96,22	
	16	100	33,1	8,56	1,19	74,13	86,09	96,40	
6	20	80	33,1	6,2	1,12	81,26	81,93	96,61	
	20	100	33,1	6,2	1,11	81,26	82,09	96,64	
	16	80	33,1	5,89	1,00	82,20	83,02	96,97	
20	16	100	33,1	5,89	0,92	82,20	84,38	97,22	
	20	80	33,1	2,75	0,87	91,69	68,36	97,37	
	20	100	33,1	2,75	0,81	91,69	70,54	97,55	

* keterangan :

Ao: konsentrasi awal fenol, A₁: Konsentrasi pada kolom I, A₂: Konsentrasi pada kolom II, Kolom 1: Persen efisiensi penurunan fenol pada konsentrasi awal dengan konsentrasi kolom I, Kolom II : Persen efisiensi penurunan fenol pada konsentrasi kolom I dengan konsentrasi kolom II dan Kolom total: persen efisiensi penurunan fenol pada konsentrasi awal dengan konsentrasi kolom II.

Hasil analisa statistik yang diperoleh dari uji t tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan dari variasi ukuran partikel zeolit alam 16 mesh dan 20 mesh. Hasil yang diperoleh dari Tabel 4, menunjukkan hasil yang lebih cepat pada proses adsorpsi yaitu pada ukuran partikel zeolit alam 16 mesh.

Hasil efisiensi penurunan fenol yang teradsorpsi karbon aktif 100 mesh lebih tinggi dibandingkan dengan nilai efisiensi penurunan fenol ukuran partikel 80 mesh yaitu sebesar 90,19% yang menunjukkan hasil signifikan berdasarkan analisa uji statistik ANOVA. Adanya hubungan antara ukuran partikel 100 mesh dengan jumlah pori-pori adalah semakin besar ukuran mesh yang digunakan, maka ukuran partikel karbon aktif semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel, maka semakin luas permukaan karbon aktif, sehingga semakin tinggi pula nilai efisiensi penurunan fenol yang teradsorpsi.

Efisiensi penurunan fenol yang teradsorpsi juga dipengaruhi oleh waktu kontak. Pada penelitian ini waktu kontak yang baik untuk penurunan kadar fenol diperoleh setelah 6 jam. Semakin lama waktu kontak, daya serap fenol akan meningkat karena adsorbat lebih lama bersinggungan dengan permukaan

adsorben. waktu kontak yang lama akan lebih maksimal mengadsorpsi adsorbat ke dalam adsorben yang dapat menyebabkan meningkatnya nilai efisiensi penurunan kadar fenol (Setiaka, 2010).

Menurut Subadra (2005), peningkatan efisiensi penurunan fenol yang teradsorpsi pada karbon aktif dapat juga dilihat dari bilangan iodin yang lebih tinggi, kadar abu dan kadar air yang semakin rendah. Daya adsorpsi akan semakin tinggi jika bilangan iodin dan luas permukaan karbon aktif besar, serta nilai kadar abu dan kadar air yang kecil. Oleh karena itu, kemungkinan terjadinya penyerapan fenol juga semakin besar dan nilai efisiensi penurunan fenol yang teradsorpsi semakin meningkat.

Hasil yang diperoleh dari total efisiensi penurunan fenol yang teradsorpsi yang lebih baik diperoleh pada ukuran partikel zeolit alam 20 mesh dan karbon aktif 100 mesh pada waktu kontak 6 jam sebesar 97,55%.

SIMPULAN

Optimasi adsorpsi fenol oleh kombinasi zeolit alam dan karbon aktif dengan metode kolom diperoleh pada zeolit alam 20 mesh karbon aktif 100 mesh pada waktu kontak 6 jam dengan nilai efisiensi total penurunan fenol sebesar 97,55%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ismadi, M., 2009, Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Teraktivasi Soda Kue, Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, (Skripsi).
- Kahar, A., 2007, Pengaruh Laju Alir dan Diameter Partikel Zeolit Pada Proses Penyerapan Fenol Terlarut dalam Limbah Cair Industri Kayu Lapis, *J. Kimia Mulawarman*, 4(2): 26-31.
- Mu'jizah, S., 2010, Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Kelor (*Moringa oleifera. Lamk*) dengan NaCl sebagai Bahan Pengaktif, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Fakultas Sains dan Teknologi, Malang, (Skripsi).

- Putranto, A.D., dan Razif, M., 2005, Pemanfaatan Kulit Biji Mete untuk Arang Aktif sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Phenol, *Jurnal Purifikasi*, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, 6(1): 37-42.
- Rini, D.K., 2010, Optimasi Aktivasi Zeolit Alam Untuk Dehumidifikasi, Universitas Diponegoro, Fakultas Teknik, Semarang, (Skripsi).
- Rumidatul, A., 2006, Efektivitas Arang Aktif Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Air Limbah, Institut Pertanian Bogor, Bogor, (Tesis).
- Setiaka, J., 2010, Adsorpsi Ion Logam Cu(II) dalam Larutan pada Abu Dasar Batubara Menggunakan Metode Kolom, Prosiding Skripsi Semester Genap 2010/2011, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Subadra, I., Setiaji, B., Tahir, I., 2005, Activated Carbon Production from Coconut Shell with $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ Activator as an Adsorbent in Virgin Coconut Oil Purification, Universitas Gajah Mada, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Yogyakarta.
- Yousef, R.I., El-Eswed, B., Al-Muhtaseb, A., 2011, Adsorption Characteristics Of Natural Zeolite As Solid Adsorbents For Phenol Removal From Aqueous Solutions: Kinetics, Mechanism, And Thermodynamics Studies, *Chemical Engineering Journal*, 171: 1143-1149.