

ADSORPSI TOLUENA PADA ARANG AKTIF TEMPURUNG KEMIRI

Dewi A. Bukasa ¹⁾, Harry S. J. Koleangan ¹⁾ dan Audy D. Wuntu ¹⁾

¹⁾ Program Studi Kimia FMIPA Universitas Sam Ratulangi
Jl. Kampus Unsrat Manado, 95115

e-mail: andini.dewi99@yahoo.com , koleanganharry@yahoo.com , wuntudenny@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Telah diteliti adsorpsi toluena pada arang aktif yang dibuat dari tempurung kemiri yang diaktivasi dengan $ZnCl_2$. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter adsorpsi, yaitu kapasitas dan energi adsorpsi. Parameter tersebut dihitung dari persamaan regresi linear yang diperoleh dari data adsorpsi toluena pada arang aktif dalam sistem tertutup yang dianalisis menggunakan model isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa arang aktif tempurung kemiri dapat mengadsorpsi toluena dengan kapasitas adsorpsi sebesar $0,094 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan nilai energi adsorpsi, yaitu $2,56 \text{ kJ/mol}$. Selain itu dilakukan pula penentuan waktu setimbang adsorpsi arang aktif tempurung kemiri terhadap toluena dengan berbagai variasi waktu. Hasilnya menunjukkan arang aktif tempurung kemiri mencapai keadaan setimbang terhadap toluena pada waktu 5 jam.

Kata kunci: Adsorpsi, Karbon Aktif, Tempurung Kemiri

TOLUENE ADSORPTION ON CANDLENUT SHELL ACTIVATED CARBON

ABSTRACT

The adsorption of toluene on activated charcoal prepared from candlenut (*Aleurites moluccana*) shell activated with $ZnCl_2$ was investigated. This investigation was aimed to calculate the adsorption parameters which were adsorption capacity and energy of toluene on the adsorbent. The parameters were calculated using linear regression equation derived from data of acetone adsorption on the activated carbon in a closed system and were analyzed using Dubinin-Raduskevich adsorption isotherm model. The results obtained indicated that the candlenut shell activated charcoal had adsorption capacity value of $0.094 \text{ cm}^3/\text{g}$ and the adsorption energy values of 2.56 kJ/mol . Besides, the time required to reach equilibrium state for the adsorption of toluene on the adsorbent was conducted. The results showed that the adsorption state was obtained in 5 hours.

Keywords: Adsorption , Activated Carbon, Candlenut Shell

PENDAHULUAN

Meningkatnya pembangunan ekonomi dan perkembangan populasi perkotaan disertai dengan peningkatan aktivitas manusia telah memicu serangkaian usaha untuk menjaga udara tetap bersih. Peningkatan pencemaran udara yang disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia diiringi dengan kenaikan suhu global di permukaan bumi menyebabkan penggunaan peralatan pendingin udara dalam ruangan terus meningkat. Untuk mendapatkan hasil yang maksimum dari alat pendingin yang digunakan, pemakaian peralatan pendingin

mengharuskan ruangan yang tertutup dengan laju pertukaran udara yang sekecil mungkin antara udara luar dan udara dalam ruangan. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan tertutup karena minimnya atau bahkan tidak adanya pertukaran udara dengan udara luar ruangan. Samfield (1992) menyebutkan bahwa tidak kurang dari 220 jenis kontaminan organik volatil dapat ditemukan dalam lingkungan udara ruangan tertutup, diantaranya adalah aseton, benzena, asetaldehida, etilbenzena, metil etil keton, toluena, trikloroetana dan *p*-xilena.

Toluena adalah larutan jernih, tidak berwarna, bersifat volatil dengan bau

aromatik menyerupai benzena, dan mudah terbakar dengan titik nyala 4 °C sehingga toluena tergolong ke dalam zat pembakar berbahaya yang signifikan pada suhu ruangan. Toluena banyak digunakan dalam produk rumah tangga antara lain sebagai aerosol, cat kuku, cat, penghilang karat, larutan pembersih dan rokok. Toluena mengiritasi kulit, mata, dan saluran pernafasan dan dapat menyebabkan keracunan sistemik melalui penelanan atau penghirupan dan diserap pelan-pelan melalui kulit. Cara yang paling umum biasanya melalui penghirupan/inhalasi (Warsito, 2007).

Beberapa metode telah diujicobakan untuk membersihkan udara khususnya di dalam ruang yang tertutup, salah satunya adalah metode filtrasi. Meskipun metode filtrasi ini cukup efektif untuk menyingkirkan partikel tersuspensi tetapi metode ini tidak mampu menghilangkan senyawa organik volatil dari udara (Energy Services, 2006). Metode lain yang dapat diaplikasikan dengan metode filtrasi yaitu metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben yang mampu mengadsorpsi senyawa organik volatil. Hingga saat ini, adsorben yang populer digunakan adalah arang aktif yang dapat dibuat dari berbagai jenis material.

Di beberapa daerah di Sulawesi Utara, kemiri sering digunakan sebagai bumbu masak. Sebagai hasil hutan non kayu kemiri mempunyai berbagai manfaat. Buahnya dapat digunakan sebagai obat, bumbu masak, kosmetik dan berbagai manfaat lainnya. Tempurung kemiri merupakan bahan baku yang baik untuk pembuatan arang, sedangkan kayu kemiri banyak dipakai sebagai bahan bangunan dan cetakan beton. Dalam makalah ini dikemukakan aplikasi arang aktif tempurung kemiri sebagai adsorben, dalam hal ini untuk menurunkan kadar senyawa organik volatil toluena dalam ruangan tertutup. Aspek-aspek adsorpsi seperti kapasitas adsorpsi, energi adsorpsi, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi pada arang aktif tempurung kemiri merupakan faktor-faktor penting yang turut menentukan kualitas arang aktif ini sebagai adsorben dan dapat memberi nilai tambah bagi tempurung kemiri yang biasanya hanya dibuang sebagai limbah.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap utama, yaitu (1) pembuatan arang aktif tempurung kemiri, (2) eksperimen adsorpsi toluena pada arang aktif tempurung kemiri dalam ruang tertutup, dan (3) penentuan waktu adsorpsi.

Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kemiri

Arang aktif dalam penelitian ini dipreparasi mengikuti prosedur yang dilakukan Suwardi (2011) :

Dimasukkan 100 g tempurung kemiri yang telah dibersihkan serta dikeringkan ke dalam cawan porselin, kemudian dipanaskan dalam tanur pada suhu 500 °C selama 90 menit. kemudian arang dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Selanjutnya berat arang ditimbang dan diaktivasi, di mana arang hasil karbonisasi direndam dengan larutan ZnCl₂ 10% selama 24 jam. Arang yang telah direndam selanjutnya dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dipanaskan kembali menggunakan tanur selama 2 jam pada suhu 500°C. Setelah dipanaskan, arang aktif yang diperoleh kemudian dicuci dengan akuades hingga mencapai pH netral. Selanjutnya arang aktif dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu 110°C dan arang aktif siap untuk digunakan dalam eksperimen adsorpsi.

Eksperimen Adsorpsi Toluena pada Arang Aktif Tempurung Kemiri

Dimasukkan 60 g arang aktif tempurung kemiri ke dalam krus porselin, dan dipanaskan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam. Selanjutnya sampel didinginkan selama 10 menit di dalam desikator. Setelah didinginkan, ambil 10 g arang aktif kemudian dimasukkan ke dalam pipa kaca yang mempunyai 2 ujung yang terbuka yang telah diketahui beratnya, dan salah satu dari ujung pipa diberi gelas wol dengan tujuan agar arang aktif tidak jatuh. Selanjutnya pipa kaca yang berisi sampel dimasukkan ke dalam wadah tertutup untuk eksperimen adsorpsi. Pipa kaca diletakkan di atas kipas kecil dengan tujuan agar ketika kotak ditutup dan kipas dihidupkan udara akan dipaksa untuk melewati pipa kaca yang berisi arang aktif. Selanjutnya dimasukkan 0,4 mL toluena ke dalam wadah plastik tanpa menyentuh arang kemudian kipas dihidupkan

dan sesegera mungkin wadah plastik ditutup. Arang aktif didiamkan selama 24 jam. Toluena akan menguap dan udara dalam kotak yang mengandung toluena tersebut secara dinamis akan keluar masuk melalui arang aktif yang kemudian akan mengadsorpsi uap toluena. Setelah 24 jam, pipa kaca arang aktif dikeluarkan dari kotak untuk kemudian ditimbang beratnya. Jumlah selisih berat arang aktif sebelum dan sesudah adsorpsi adalah berat toluena yang teradsorpsi pada arang aktif. Prosedur yang sama dilakukan kembali untuk volume total toluena pada kisaran 0,8, 1,2, 1,6, dan 2 mL. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menurut model isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich untuk menentukan kapasitas dan energi adsorpsi toluena pada arang aktif tempurung kemiri.

Penentuan Waktu Adsorpsi pada Arang Aktif Tempurung Kemiri

Untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi toluena pada arang aktif tempurung kemiri, disiapkan 8 buah alat eksperimen isoterm adsorpsi, masing-masing diisi dengan 10 g sampel arang aktif tempurung kemiri yang telah diketahui beratnya, kemudian dalam tiap alat dimasukkan toluena sebanyak 0,5 mL. Setelah wadah ditutup, alat dijalankan selama 1, 2, 3, 4, 5, 10, 18 dan 24 jam. Waktu setimbang dapat diketahui dengan membuat grafik antara banyaknya toluena yang teradsorpsi dibagi massa adsorben dengan variasi waktu tersebut.

Analisis Data

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menurut model isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich (DR) untuk menentukan kapasitas dan energi adsorpsi aseton pada arang aktif biji asam jawa dan arang aktif komersil:

$$W = W_0 \exp \left[- \left(\frac{A}{E_0} \right)^2 \right] \quad A = RT \ln \left(\frac{P_0}{P} \right)$$

W = volume aseton teradsorpsi (cm³/g)

W₀ = volume total pori mikro yang dapat diakses aseton (cm³/g)

P = tekanan parsial aseton (atm)

P₀ = tekanan uap jenuh aseton (atm)

E₀ = energi adsorpsi (kJ mol⁻¹)

β = rasio potensial adsorpsi adsorbat dan adsorbat standar
(konvensi aseton = 1)

R = konstanta gas (8,314 J K⁻¹ mol⁻¹)

T = suhu mutlak (K)

Bentuk persamaan linear model isoterm adsorpsi DR adalah:

$$\ln W = \ln W_0 - \left[\frac{1}{E_0} \right]^2 [RT \ln \left(\frac{P_0}{P} \right)]^2$$

Kapasitas adsorpsi dihitung dari *intercept* dan energi adsorpsi dihitung nilai *slope*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas adsorpsi memberi gambaran dari volume total pori mikro dalam struktur arang aktif tempurung kemiri yang dapat dimasuki oleh toluena.

Adsorpsi toluena dikuantitaskan dengan parameter Dubinin-Raduskevich, yaitu kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi (Tabel 1) yang ditentukan menggunakan model isoterm Dubinin-Raduskevich. Model ini didasarkan pada Teori Pengisian Volume Pori Mikro (TVFM, *Theory of Volume Filling of Micropores*) yang dikembangkan oleh M.M Dubinin. Dalam teori ini digambarkan bahwa adsorbat dalam pori mikro karbon aktif tidak teradsorpsi dalam bentuk lapisan-lapisan molekul yang teradsorpsi, tetapi terjadi melalui pengisian volume dalam pori mikro. Kesesuaian data eksperimen dan model isoterm adsorpsi DR ditunjukkan dengan koefisien regresi R² sebesar 0.997 dalam persamaan regresi linear (Gambar 1).

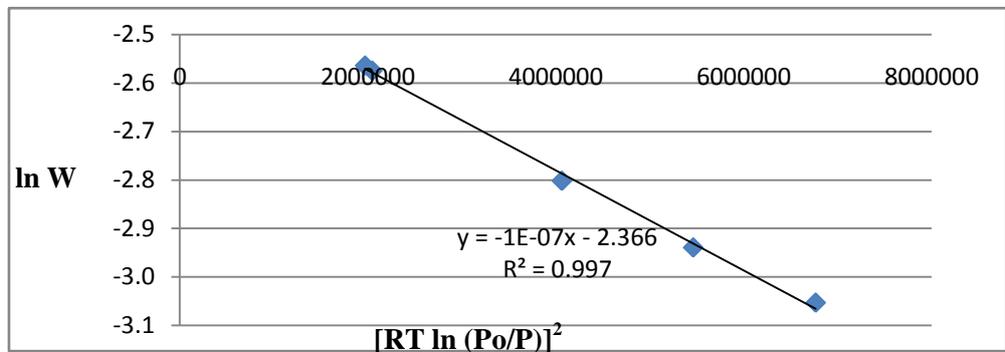
Tabel 1. Perbandingan Kapasitas (W_0) dan Energi (E_0) adsorpsi toluena menurut model isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich untuk beberapa jenis arang aktif.

Adsorben	Zat pengaktif	Kapasitas Adsorpsi (W_0)	Energi Adsorpsi (E_0)
Arang Aktif Tempurung Kemiri	ZnCl ₂	0,094 cm ³ / g	2,6573 kJ/mol
Arang Aktif Serbuk Gergajian Kayu Jati*	NaCl	0,062 cm ³ / g	8,2923 kJ/mol
Arang Aktif Tongkol Jagung**	NaCl	0,055 cm ³ / g	7,5822 kJ/mol
Arang Aktif Tempurung Kelapa***	NaCl	0,068 cm ³ / g	9,2908 kJ/mol

* I Putu Yadnyana (2011), ** I Gede Putra Wijaya (2011), *** Leani Poha (2011)

Berdasarkan data pada Tabel 1, diketahui bahwa arang aktif tempurung kemiri dengan zat pengaktivasi ZnCl₂ memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar untuk toluena dibandingkan dengan arang aktif yang terbuat dari tempurung kelapa (Poha, 2011), kayu jati (Yadnyana, 2011), dan tongkol jagung (Wijaya, 2011) yang diaktivasi dengan NaCl. Arang aktif yang dibuat dari bahan mentah yang berbeda akan memiliki sifat-sifat yang berbeda pula. Selain itu, penggunaan zat pengaktivasi yang berbeda akan menghasilkan arang aktif

dengan sifat yang berbeda (Bansal dan Goyal, 2005), seperti ukuran pori dalam struktur arang aktif. Kapasitas adsorpsi dari suatu arang aktif didasarkan pada besarnya pori dari suatu arang aktif, sedangkan besarnya pori dari suatu arang aktif dipengaruhi oleh jenis pengaktivasi (Pari dan Sailah, 2001). Zat pengaktivasi tersebut akan meresap ke dalam arang dan membuka permukaan yang semula tertutup oleh pengotor, sehingga volume dan diameter pori bertambah besar (Michael, 1995).



Gambar 1. Kurva regresi linier data eksperimen adsorpsi toluena pada arang aktif tempurung kemiri dengan persamaan Dubinin-Raduskevich.

Linearisasi pada Gambar 1 dilakukan untuk mendapatkan nilai dari parameter isoterm Dubinin-Raduskevich sehingga persamaan tersebut lebih mudah diaplikasikan untuk memperoleh nilai kapasitas W_0 dan energi E_0 adsorpsi. Hasil linearisasi model tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan secara cepat informasi tentang perilaku adsorpsi berbagai jenis bahan terlarut maupun berbagai jenis adsorben (Arifin *et al*, 2012). Kapasitas adsorpsi (W_0) pada arang aktif tempurung

kemiri yang dapat diakses oleh toluena adalah sebesar $9,39 \times 10^{-2}$ cm³/g atau setara dengan $8,87 \times 10^{-4}$ mol/g. Interaksi antara arang aktif dan toluena dapat terjadi melalui interaksi dipol terinduksi yang merupakan gaya van der Waals yang mendominasi gaya adsorpsi arang aktif tempurung kemiri.

Energi adsorpsi

Energi adsorpsi merupakan kemampuan untuk melepaskan ikatan antara karbon aktif (adsorben) dengan toluena

(adsorbat). Dari persamaan regresi linear adsorpsi menurut model isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich dapat dihitung nilai energi adsorpsi toluena pada arang aktif tempurung kemiri sebesar 2,6573 kJ/mol (Tabel 1). Nilai ini menunjukkan arang aktif tempurung kemiri memiliki energi adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan dengan energi adsorpsi dari biosorben arang aktif serbuk gergajian kayu jati dan arang aktif tongkol jagung. Hal ini diduga karena porimikro pada adsorben arang aktif tempurung kemiri memiliki celah yang lebih besar. Menurut Cal (1995), mikropori dalam suatu adsorben berpori mikro dianggap berbentuk seperti celah. Lebar celah ini bervariasi tergantung pada proses aktivasi. Semakin lama waktu aktivasi maka lebar celah atau pori akan semakin besar. Celah atau pori yang berukuran lebih kecil dicirikan dengan energi adsorpsi yang besar karena pada porimikro terjadi overlap potensial dari kedua sisi dinding pori, sehingga meningkatkan potensial adsorpsi material tersebut. Semakin kecil ukuran pori, maka potensial yang dihasilkannya juga semakin tinggi. Hal ini menyebabkan peningkatan energi adsorpsi. Pengamatan ini penting untuk adsorpsi gas dengan konsentrasi rendah pada adsorben berpori mikro. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben yang memiliki banyak pori mikro lebih cocok untuk menghilangkan senyawa-senyawa organik volatil pada konsentrasi rendah.

Adsorpsi arang aktif tempurung kemiri pada toluena diduga merupakan adsorpsi fisik yang merupakan interaksi dipol terinduksi. Energi adsorpsi fisik umumnya memiliki nilai $\leq 62,76$ kJ/mol, dan adsorpsi ini disebabkan oleh gaya tarik sekunder (gaya van der Waals) seperti interaksi dipol-dipol dan dipol terinduksi (Bare dan Samorjai, 1987).

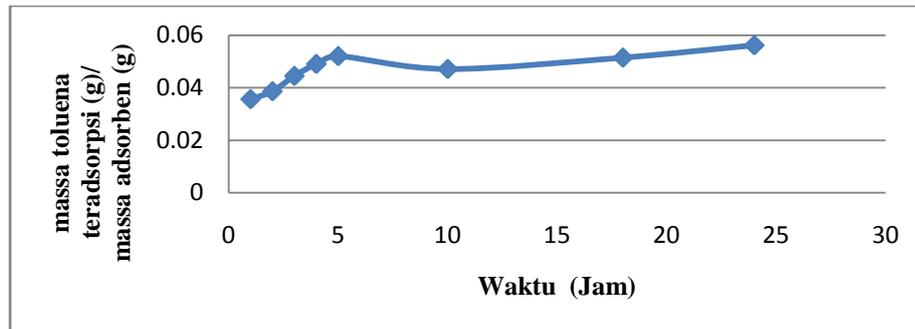
Parameter energi adsorpsi dapat dipengaruhi oleh gugus metil yang dimiliki oleh toluena yang merupakan gugus pendonor elektron dalam struktur toluena. Gugus metil menyebabkan tingginya

densitas elektron pada sisi benzena dalam molekul toluena sehingga interaksi toluena dengan permukaan lembar heksagonal pada karbon yang juga memiliki situs dengan elektron terdelokalisasi akan menjadi lebih lemah dibandingkan pada molekul benzena (Wijaya, 2011). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wuntu dan Kamu (2008) dengan menggunakan arang aktif dari tempurung kelapa untuk mengadsorpsi aseton, benzena dan toluena. Nilai energi adsorpsi aseton, benzena dan toluena berturut-turut adalah sebagai berikut : 8,684 kJ/mol, 7,037 kJ/mol, 4,603 kJ/mol. Jadi energi adsorpsi toluena akan lebih kecil jika dibandingkan dengan energi adsorpsi benzena.

Rendahnya energi adsorpsi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan antara arang aktif tempurung kemiri dengan toluena sangat menguntungkan dalam hal penggunaan adsorben secara berulang. Rendahnya energi adsorpsi memudahkan adsorbat diekstrak dari adsorben sehingga adsorben dan adsorbat dapat digunakan kembali.

Waktu Setimbang Adsorpsi terhadap Toluena

Waktu setimbang adsorpsi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses penyerapan. Penentuan waktu setimbang adsorpsi bertujuan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh adsorben arang aktif tempurung kemiri dalam menyerap toluena secara maksimum hingga tercapai keadaan setimbang. Dalam prosesnya, adsorpsi akan berlangsung secara terus menerus selama belum terjadi suatu kesetimbangan. Oleh karena itu, untuk mencari distribusi kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat maka perlu bervariasi waktu kontak. Adapun variasi waktu yang digunakan pada penelitian ini adalah 1, 2, 3, 4, 5, 10, 18 dan 24 jam. Penentuan waktu setimbang dapat diketahui dengan membuat grafik hubungan antara jumlah toluena yang diserap terhadap waktu kontak dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 2. Grafik hubungan antara jumlah Toluena yang diserap terhadap waktu kontak

Berdasarkan data pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa jumlah toluena yang teradsorpsi pada arang aktif secara umum meningkat cepat hingga waktu adsorpsi 5 jam. Di atas waktu adsorpsi 5 jam, jumlah toluena yang teradsorpsi tidak banyak berubah karena telah tercapainya kesetimbangan adsorpsi di mana laju adsorpsi dipandang sama dengan laju desorpsi.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditentukan kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi toluena pada arang aktif tempurung kemiri berturut-turut sebesar $0,094 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan $2,6573 \text{ kJ/mol}$. Waktu setimbang adsorpsi arang aktif tempurung kemiri terhadap toluena tercapai pada waktu 5 jam. Berdasarkan nilai parameter adsorpsi yang diperoleh, limbah tempurung kemiri dapat dijadikan bahan dasar pembuatan arang aktif sebagai adsorben untuk menghilangkan senyawa organik volatil khususnya non polar dalam ruang tertutup.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Z., D. Irawan, M. Rahim, F. Ramantiya. 2012. Adsorpsi Zat Warna Direct Black 38 Menggunakan Kitosan Berbasis Limbah Udang Delta Mahakam. *Jurnal Sains dan terapan Kimia*, Vol.6, No. 1.(35-45). FMIPA-PNS, Samarinda.
- Bansal R. C., M. Goyal. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. CRS Press, Boca Raton.
- Bare, S. R. and G. A. Samorjai. 1987. *Surface Chemistry Engineering Encyclopedia of Physical Science and Technology*. Academic Press, Inc.

Cal, P. M. 1995. *Characterization of Gas Phase Adsorption Capacity of Untreated and Chemically Treated Activated Carbon Cloths*. University of Illinois at Urbana Champaign. Illinois.

Energy Services. 2006. *Energy Efficiency and Indoor Air Quality*. Energy Services, Western Area Power Administration. Lakewood, USA.

Lempang M., Wasrin S. & Gustan Pari. 2011. Struktur Dan Komponen Arang Serta Arang Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. Vol. 29 No. 3 : 278-294. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor.

Pari G. dan I. Sailah, 2001. *Pembuatan Arang Aktif Dari Sabut Kelapa Sawit Dengan Bahan Pengaktif NH_4HCO_3 dan $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ Dosis Rendah*. Buletin Penelitian Hasil Hutan, Bogor.

Poha, L. 2011. *Isoterm Adsorpsi Toluena pada Arang Aktif Tempurung Kelapa* [skripsi]. FMIPA UNSRAT, Manado.

Putranto D. S., dan M. Razif. 2005. Pemanfaatan Kulit Biji Mete Untuk Arang Aktif Sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Parameter Fenol. *Jurnal Purifikasi*. Vol 6. No. 1 : 37 - 42. Jurusan Teknik Lingkungan. FTSP - ITS.

Samfield, M. M. 1992. *Indoor Air Quality Database for Organic Compounds*. United States Environmental Protection Agency. EPA-600-R-92-025.

- Suwardi. 2011. *Pengaruh Variasi Suhu Dan Zat Pengaktivasi Pada Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kemiri (Aleurites moluccana)* [skripsi]. FMIPA-UNSRAT, Manado.
- Warsito, A. 2007. *Analisis Pemajanan Toluena Terhadap Profil Darah Pada Pekerja Sektor Industri Penyulingan Minyak Bumi* [tesis]. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Wijaya, I. G. P. 2011. *Isoterm Adsorpsi Toluena pada Arang Aktif Tongkol Jagung*. Skripsi. FMIPA UNSRAT. Manado
- Wuntu, A., dan V. Kamu. 2008. *Adsorpsi Aseton, Benzena, dan Toluena pada Karbon Akif Tempurung Kelapa Sebagai Pembersih Udara Ruang Tertutup*. FMIPA-UNSRAT, Manado.
- Yadnyana, I. P. P. 2011. *Adsorpsi Toluena pada Arang Aktif Serbuk Gergajian Kayu Jati* [skripsi]. FMIPA UNSRAT, Manado.