

Pengaruh *Grain Size* Arang Aktif dari Bahan Limbah Industri Sagu Aren terhadap Penyerapan Polutan Limbah Batik

(The influence of Grain Size Of Activated Carbon from sago palm industrial waste to the pollutants adsorption of batik industrial wastewater)

SUDARJA, KUNCORO DIHARJO, NOVI CAROKO

ABSTRACT

Sago palm industries leave large amount of wood waste that is about 30% of the volume of tree trunks, 20% in large size which can be used for the handcraft and about 10% in small-size which only wasted. On the other hand, batik industries produce hazardous and toxic waste (B3), that should be neutralized since this liquid waste are bad smell and hard color, and even toxicity (contain various kinds of chemical elements and heavy metals such as Mercury (Hg), Lead (Pb), Chromium (Cr), Cadmium (Cd), and Copper (Cu)) and if the elements are absorbed by human body exceeds the threshold point, it would be dangerous. Therefore, experiment on activated carbon engineering and its use in adsorbing the B3 batik liquid waste is urgently required. The main objective of the experiment is to know the adsorption effectivity of activated carbon in adsorbing the batik liquid waste. The main material used in producing activated carbon is waste palm tree trunks. The main material is heated to be charcoal in retort for about 5 hours, temperature around 500 ° C. Furthermore, charcoal is crushed finely and screened in sizes of mesh 25, 35 and 50. Carbon powder then chemically activated using H₂SO₄ solution by heating in 500 °C for about 30 minutes. Finally this activated carbon used for adsorbing the hard colour and heavy metal (Pb, Cr, Cd) in the batik waste water. This research concluded that the sago aren industrial waste may be an alternative material for activated carbon which is effective in adsorbing the hard colour and hazardous heavy metal. Higher mesh size (grain size) of activated carbon give higher adsorption in colour and heavy metal. Activated carbon in mesh 25 adsorbed 68.59% Cd, 16.65% Cr, and 100% Pb, mesh 35 adsorb 76.25% Cd, 37.55% Cr and Pb at 100%, while mesh 50 adsorb 81.61% Cd, 58,33% Cr, and 100% Pb.

Keywords: sago palm industrial waste, activated carbon, absorption of heavy metal pollutants, batik industrial wastewater.

Berbagai industri yang ada di Indonesia menghasilkan limbah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah B3 ini karena sifat dan konsentrasinya atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat merusak dan mencemarkan lingkungan hidup. Mengingat besarnya resiko yang ditimbulkan tersebut maka perlu dilakukan pengelolaan limbah B3 secara menyeluruh, terpadu dan berkelanjutan (Setiyono, 2002).

Industri batik merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah B3. Limbah ini merupakan limbah cair dari hasil cucian batik yang berbahaya karena berbau dan berwarna sangat pekat bahkan beracun karena mengandung berbagai macam unsur kimia dan

logam berat seperti Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Chromium (Cr), Cadmium (Cd), dan Tembaga (Cu). Jika unsur-unsur tersebut terserap oleh tubuh manusia melebihi nilai ambang batas, akan sangat berbahaya dan bahkan berubah menjadi racun bagi tubuh manusia. Dari seluruh industri batik, hanya beberapa saja yang mengelola limbahnya, sementara industri batik lain, limbah yang dihasilkan dibuang begitu saja dan mengakibatkan tercemarnya lingkungan disekitar pembuangan limbah.

Menurut Rachman et al. (2009) teknologi pengolahan air limbah secara umum terbagi menjadi 3 teknik pengolahan, yaitu pengolahan secara fisika, kimia dan biologi. Pengolahan secara fisika pada umumnya dilakukan untuk

pemisahan bahan cemaran dalam air limbah dengan penyaringan, presipitasi, flotasi dan sentrifugasi. Pengolahan secara kimia dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam berat, senyawa fosfor dan zat organik beracun. Sedangkan pengolahan secara biologi dilakukan untuk pengolahan air limbah yang mengandung bahan organik.

Pada industri pengolahan batang aren menjadi sagu aren akan menyisakan batangan-batangan tipis (seperti lembaran) dan batangan dengan bentuk tidak beraturan dalam ukuran kecil. Untuk limbah yang berukuran besar (panjang 100 cm, lebar 15 cm, dan tebal 1,5 cm) yaitu sekitar 20 % dari volume batang pohon, biasanya digunakan untuk benda seni kerajinan tangan, sedangkan untuk limbah yang berukuran kecil atau pecah sekitar 10 % hanya dibuang dan tidak digunakan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan produk arang aktif berkualitas dari limbah sagu aren (kulit pohon aren), mendapatkan informasi tentang perubahan warna limbah sebelum dan sesudah adsorpsi, serta mendapatkan informasi tentang perubahan kandungan logam berat Pb, Cd, dan Cr pada limbah cair dari industri batik.

Arang aktif adalah suatu bentuk karbon yang mempunyai sifat *absorptive* terhadap larutan ataupun uap sehingga bahan tersebut dapat berfungsi sebagai penjernihan larutan, penghisap gas/racun dan penghilang warna. Arang aktif telah digunakan secara luas di dalam industri kimia, makanan, dan farmasi seperti untuk pembuatan minyak makan, obat sakit perut, penjernihan air minum, pembuatan gula pasir, masker dan lain-lain (Sudrajat, 1985).

Arang aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon, baik organik maupun anorganik asal bahan tersebut memiliki struktur berpori (Sudrajat dan Salim, 1994). Arang aktif dapat dibuat dari arang biasa yang berasal dari tumbuhan, ataupun barang tambang. Bahan-bahan tersebut adalah berbagai jenis kayu, serbuk gergaji, sekam padi, dan batu bara (Pari, 1995).

Menurut Widhianti (2010) *adsorpsi* adalah pengambilan molekul-molekul oleh permukaan luar atau permukaan dalam suatu padatan adsorben atau oleh permukaan larutan. Arang aktif setelah digunakan untuk proses

penyerapan warna atau bau ditumpuk sebagai bahan buangan padat atau digunakan sebagai bahan arang untuk penimbunan tanah, sehingga kurang bernilai secara ekonomis. Arang aktif bekas sebenarnya masih dapat diolah lagi, sehingga dapat digunakan lagi dengan proses fisika maupun kimia. Proses fisika dengan cara dipanaskan pada suhu di atas 600 °C, sedangkan proses kimia dengan bahan kimia asam sulfat ataupun asam fosfat selanjutnya dipanaskan (Suryono et al., 1997).

Proses aktivasi merupakan hal yang penting diperhatikan disamping bahan baku yang digunakan. Yang dimaksud dengan aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori, yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Sembiring et al., 2003).

Kadirvelu *et al.*, (2001) telah membuktikan kemampuan arang aktif sebagai adsorben terhadap logam Hg, Pb, Cd, Ni, Cu dalam limbah cair industri radiator, pelapisan nikel dan pelapisan tembaga. Kemampuan arang aktif sebagai penghilang logam tersebut dipengaruhi oleh pH dan konsentrasi karbon. Kenaikan kadar karbon menaikkan persen adsorpsi ion logam. Sedangkan Kadirvelu dan Namasiyayam (2003) mempelajari proses adsorpsi logam Cd menggunakan arang aktif dari limbah padat pertanian.

Rumidatul (2006) telah membuktikan bahwa arang aktif dapat menyerap logam berat Cr, Cu, Zn, Ni, Cd dan Pb di dalam penelitiannya tentang arang aktif digunakan sebagai *adsorben* pengolahan limbah cair dari industri pelapisan nikel.

Dalam proses penjernihan air, arang aktif selain mengadsorpsi logam-logam seperti besi, tembaga, nikel, juga dapat menghilangkan bau, warna dan rasa yang terdapat dalam larutan atau buangan air. Karena arang aktif lebih bersifat non polar, maka komponen non polar dengan berat molekul tinggi (4 sampai 20 atom karbon) yang terdapat dalam air buangan pabrik dapat diadsorpsi oleh arang aktif (Buekens *et al.* 1985).

Dalam proses penjernihan air, arang aktif selain mengadsorpsi logam-logam seperti besi, tembaga, nikel, juga dapat menghilangkan bau, warna dan rasa yang terdapat dalam larutan atau buangan air. Karena arang aktif lebih bersifat non polar, maka komponen non polar dengan berat molekul tinggi (4 sampai 20 atom karbon) yang terdapat dalam air buangan pabrik dapat diadsorpsi oleh arang aktif (Beukens et al. 1985).

Untuk mendapatkan mutu arang aktif yang berkualitas (rendemen, kadar air, kadar abu, bagian yang hilang saat pemanasan 950 °C) dilakukan pengujian arang aktif dengan mengikuti SNI yang sesuai. Syarat mutu arang aktif menurut Standard Industri Indonesia (SII) dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Syarat Mutu Arang Aktif Menurut Standard Industri Indonesia (SII No. 0258-79)

Jenis uji	Satuan	Persyaratan
1. Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Maksimum 15
2. Air	%	Maksimum 10
3. Abu	%	Maksimum 2,5
4. Bagian yang tidak mengarang	%	Tidak ternyata
5. Daya serap terhadap larutan I2	%	Maksimum 20

(Sumber : PDII LIPI, 2004).

1. Penetapan rendemen

Arang aktif yang diperoleh terlebih dahulu di bersihkan, kemudian ditimbang. Perbandingan yang dihitung adalah perbandingan bobot bahan baku sebelum dan setelah melalui aktivasi.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat arang aktif}}{\text{Berat bahan baku}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

2. Penetapan kadar air

Contoh sebanyak 2 gram (bobot kering udara) dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui bobot keringnya, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Setelah itu didinginkan dalam desikator dan selanjutnya ditimbang sampai bobotnya tetap.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat sebelum dikeringkan}}{\text{Berat sesudah dikeringkan}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

3. Penetapan zat mudah menguap

Contoh kering sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui

bobot keringnya. Kemudian contoh dipanaskan dalam tanur pada suhu 950°C selama 10 menit. Selanjutnya cawan didinginkan dalam desikator selama 1 jam dan ditimbang. Cawan ditutup serapat mungkin (bila perlu diikat dengan kawat) selama pemanasan dan dihindari pembakaran contoh. Jika contoh terbakar maka pengerjaan diulang.

$$\text{zat mudah menguap(\%)} = \frac{\text{Berat contoh yang hilang}}{\text{Berat contoh awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

4. Penetapan kadar abu

Sampel sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui bobot keringnya, kemudian ditempatkan dalam tanur listrik pada suhu 750°C selama 6 jam. Setelah itu didinginkan dalam desikator selama satu jam dan selanjutnya ditimbang hingga bobotnya tetap.

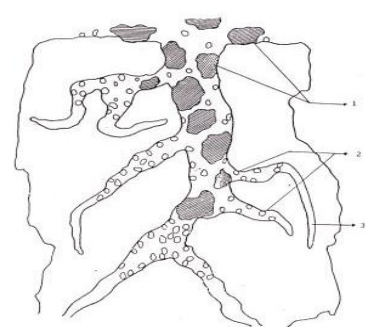
$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Berat sisa contoh}}{\text{Berat contoh awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

5. Penetapan Kadar Karbon Terikat

Karbon dalam arang adalah zat yang terdapat pada fraksi padat hasil pirolisis selain abu (zat anorganik) dan zat-zat atsiri yang masih terdapat pada pori-pori arang. Definisi ini hanya berupa pendekatan.

$$\text{Kadar Karbon Terikat (\%)} = 100\% - (\text{kadar abu} + \text{kadar zat mudah menguap}) \dots\dots\dots (5)$$

Pada proses adsorpsi arang aktif, bentuk pori merupakan parameter yang khusus untuk daya serap arang aktif yang terjadi. Bila arang aktif digunakan untuk penjernihan air, lebih banyak dibutuhkan pori-pori yang terbuka karena air sebagian besar mengandung macam-macam partikel. Pengaruh dari ukuran pori untuk penyerapan fasa cair dapat dilihat pada Gambar 1 (Beukens et al., 1985).



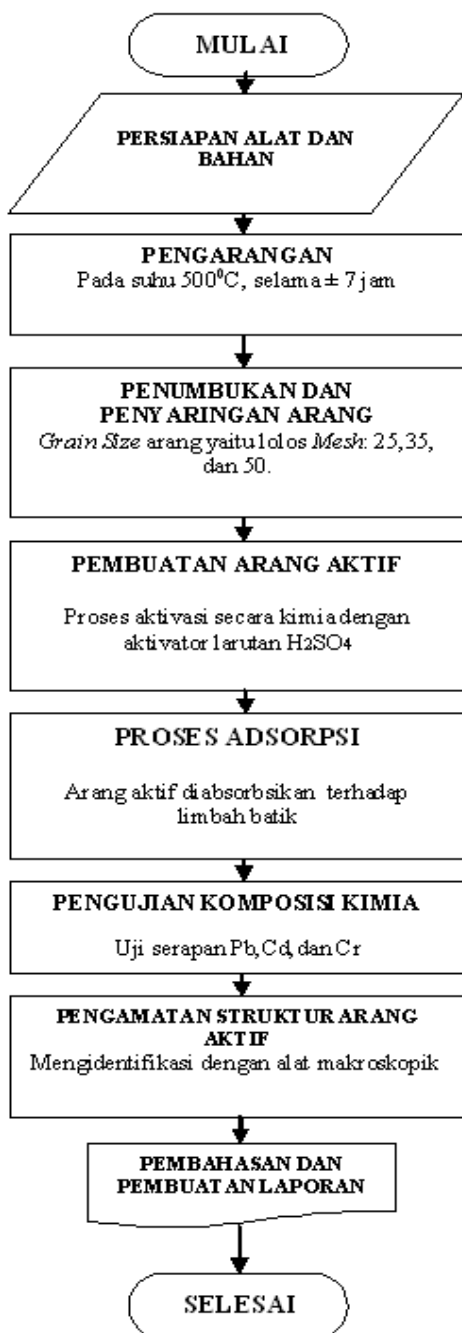
GAMBAR 1. Pengaruh Ukuran Pori pada Penyerapan Fasa Cair (Sumber : Beukens et al. 1985).

Keterangan :

1. Daerah yang memungkinkan pelarut dan bahan yang akan diserap dapat masuk.
2. Daerah yang memungkinkan pelarut dan bahan yang lebih kecil yang akan diserap dapat masuk.
3. Daerah yang hanya dimasuki pelarut.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara dan prosedur seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



GAMBAR 2. Diagram alir jalannya penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi:

1. *Retort*, berfungsi untuk membuat arang (Gambar 3).



GAMBAR 3. Retort

2. Saringan *mesh* 25 (0,7 mm), 35 (0,5 mm), dan 50 (0,3 mm) sebagai penyaring sekaligus sebagai pemisah ukuran serbuk arang (Gambar 4).



GAMBAR 4. Saringan mesh 25, 35, dan 50

3. Peralatan pendukung, yang digunakan untuk proses aktivasi arang (Gambar 5).



GAMBAR 5. Peralatan pendukung

4. *Furnance* (Gambar 6), digunakan untuk memanaskan arang yang telah diaktivasi dengan H₂SO₄ kapasitas suhu maksimum sebesar 1860°C.



GAMBAR 6. Furnance

5. Timbangan digital.
6. *Termocople*.
7. Cawan porselin.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Limbah industri sagu aren (Gambar 7).



GAMBAR 7. Limbah industri sagu aren

2. Limbah cair industri batik Taman Sari Yogyakarta.
3. H₂SO₄ pekat.
4. Air, sebagai pelarut H₂SO₄ dalam pembuatan arang aktif.

Tahap persiapan diawali dengan kegiatan pengumpulan limbah industri sagu aren, kemudian dilakukan pembersihan dari kotoran-kotoran yang terikut dan tahap terakhir dari tahap ini yaitu pengeringan limbah industri sagu aren di bawah sinar matahari.

Bahan yang telah kering dimasukkan ke dalam dapur pengarangan (*retort*) dan diarangkan selama kurang lebih 5 jam dengan suhu sekitar 500°C. Setelah asap tidak keluar lagi, pemanasan pada *retort* dihentikan dan ditunggu hingga *retort* dalam keadaan dingin selama 24 jam (bara sudah mati). Sesudah tahap tersebut, arang kemudian dikeluarkan dari *retort* dan diangin-anginkan di tempat terbuka agar kondisinya seimbang dengan udara di sekelilingnya. Selanjutnya bahan yang sudah menjadi arang dihaluskan sesuai dengan ukuran yang diinginkan dan dilanjutkan dengan penyaringan agar lolos saringan *mesh* 25, 35 dan 50. Setelah arang dihaluskan dan dipisah sesuai ukuran kemudian serbuk arang dibuat menjadi arang aktif. Setelah menjadi arang aktif, arang aktif tersebut diadsorbsikan pada limbah cair industri batik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 6, serta Gambar 8 dan Gambar 9.

TABEL 2. Hasil uji mutu arang aktif

No	Jenis Uji	Mesh 25 (%)	Mesh 35 (%)	Mesh 50 (%)
1	Rendemen	68	60	58,12
2	Kadar Air	3,8	7,4	2,6
3	Kadar Abu	4,5	1,5	3,35
4	Kadar Zat Mudah Menguap	3,8	7,6	5
5	Kadar Karbon Tenikat	91	90,9	92,4

TABEL 3. Hasil uji komposisi polutan logam berat pada limbah cair industri batik.

No	Parameter	Limbah Batik sebelum			
		Adsorbsi Arang Aktif			
		I	II	III	Rata-rata
1	Kandungan Cd (mg/l)	0,0258	0,0254	0,027	0,0261
2	Kandungan Cr (mg/l)	0,0759	0,0775	0,0791	0,0775
3	Kandungan Pb(mg/l)	0,1274	0,1274	0,1374	0,1307
4	pH	10			

TABEL 4. Hasil uji adsorbsi arang aktif *mesh* 25

No	Parameter	Setelah Adsorbsi dengan Arang Aktif			
		<i>Mesh</i> 25			
		I	II	III	Rata-rata
1	Kandungan Cd (mg/l)	0,0082	0,0102	0,0062	0,0082
2	Kandungan Cr (mg/l)	0,0646	0,0646	0,0646	0,0646
3	Kandungan Pb(mg/l)	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>
4	pH	9			

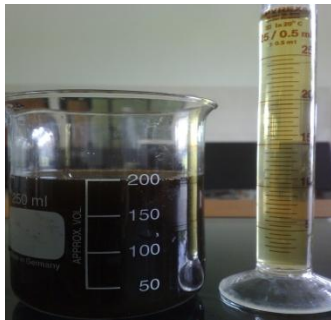
TABEL 5. Hasil uji adsorbsi arang aktif *mesh* 35

No	Parameter	Setelah Adsorbsi dengan Arang Aktif			
		<i>Mesh</i> 35			
		I	II	III	Rata-rata
1	Kandungan Cd (mg/l)	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062
2	Kandungan Cr (mg/l)	0,0484	0,0484	0,0484	0,0484
3	Kandungan Pb(mg/l)	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>
4	pH	8,5			

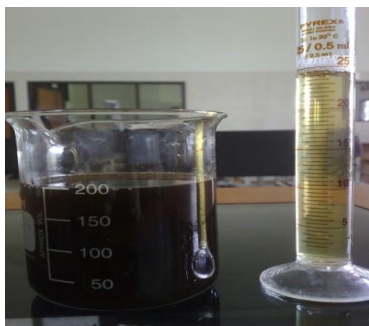
TABEL 6. Hasil uji adsorpsi arang aktif *mesh* 50

No	Parameter	Setelah Adsorpsi dengan Arang Aktif			
		<i>Mesh</i> 50			
		I	II	III	Rata-rata
1	Kandungan Cd (mg/l)	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048
2	Kandungan Cr (mg/l)	0,0323	0,0323	0,0323	0,0323
3	Kandungan Pb(mg/l)	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>	<i>ttd</i>
4	pH	8			

ttd= tidak terdeteksi, di bawah batas deteksi alat
Batas Deteksi: Pb = 0.025 mg/l



GAMBAR 8. Hasil adsorpsi warna dengan arang aktif *mesh* 25 dengan 10 gr/50 ml limbah batik pengadukan 10 menit.



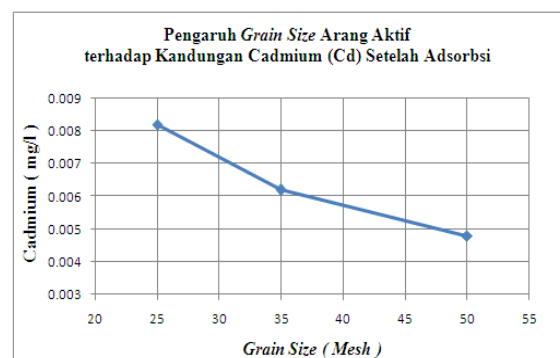
GAMBAR 9. Hasil adsorpsi warna dengan arang aktif *mesh* 35 dengan 10 gr/50 ml limbah batik pengadukan 10 menit.



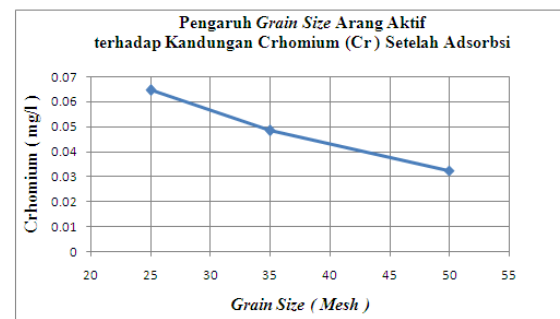
GAMBAR 10. Hasil adsorpsi warna dengan arang aktif *mesh* 50 dengan 10 gr/50 ml limbah batik pengadukan 10 menit.

Arang aktif yang mampu menyerap polutan logam berat terbesar terjadi pada *mesh* 50, adsorpsi Cadmium (Cd) yaitu sebesar 81,61%, Chromium (Cr) sebesar 58,3%, Timbal (Pb) tidak terdeteksi atau dapat dikatakan mampu menyerap Pb sebesar 100% dan pH turun sebesar 8.

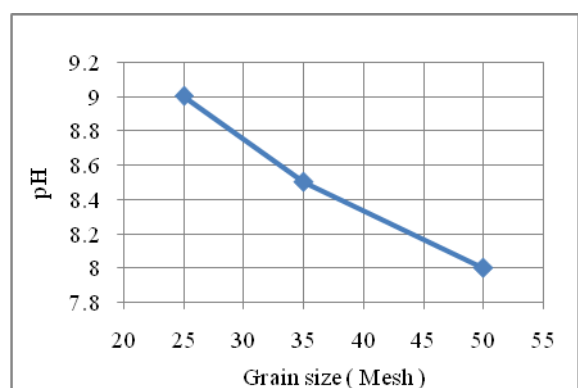
Dari tabel hasil uji serapan polutan logam berat pada limbah cair industri batik (Tabel 3 sampai dengan Tabel 6), selanjutnya dibuat grafik pengaruh *grain size* arang aktif (*mesh*) terhadap persentase serapan polutan logam berat Cd, Cr, dan Pb pada limbah cair industri batik (Gambar 11



GAMBAR 11. Pengaruh *grain size* arang aktif terhadap kandungan Cadmium (Cd) setelah adsorpsi.



GAMBAR 12. Pengaruh *grain size* arang aktif terhadap kandungan Chromium (Cr) setelah adsorpsi.



GAMBAR 13. Pengaruh *grain size* arang aktif terhadap tingkat derajat keasaman (pH) setelah adsorpsi

Pada ketiga grafik menunjukkan bahwa semakin besar ukuran *grain size (mesh)* maka semakin besar pula kemampuan serapan polutan logam berat yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat kerapatan dan banyaknya butiran arang aktif, sehingga semakin kecil ukuran butir arang aktif maka kemampuan adsorbsinya semakin tinggi. Pada *mesh* 50 mampu menurunkan pH lebih rendah daripada *mesh* 25 dan 35.

KESIMPULAN

1. Arang aktif dari limbah sago aren dapat menjadi solusi untuk dijadikan alternatif penyerap polutan, karena memiliki kualitas serapan yang baik dan jika digunakan dalam skala yang besar tentunya akan lebih menekan biaya pembuatan arang aktif sekaligus dapat mengatasi permasalahan pada limbah industri batik.
2. Semakin besar ukuran *grain size (mesh)* arang aktif, maka kemampuan adsorbsinya semakin besar. Dari hasil pengujian ini, adsorpsi arang aktif terhadap limbah cair industri batik didapatkan hasil adsorpsi terbaik adalah *mesh* 50, yaitu Cadmium (Cd) sebesar 81,61%, Chromium (Cr) sebesar 58,3%, dan Timbal (Pb) tidak terdeteksi oleh alat ukur atau = 100%. Kemudian pH dapat diturunkan dari 10 menjadi 8.
3. Dalam proses penjernihan air, arang aktif selain mampu mengadsorpsi logam berat seperti timbal (Pb), chromium (Cr), dan cadmium (Cd) juga dapat menurunkan tingkat bau, dan menurunkan tingkat kepekatan warna dan rasa yang terdapat dalam limbah batik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada

1. Sdr. Ariansyah (mahasiswa Teknik Mesin UMY) yang membantu dalam pelaksanaan penelitian.
2. DP2M Ditjen Dikti, atas pendanaan yang diberikan untuk penelitian ini.
3. Staf Laboratorium Material Teknik UMY
4. Industri Batik Taman Sari Yogyakarta.
5. Staf Laboratorium Mass and Heat Transfer PAU UGM.
6. Staf Laboratorium Teknik Kimia UNS

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (1995). *Arang Aktif Teknis*. SNI 06-3730. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (1990). Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1990 Tentang : *Pengendalian Pencemaran Air*. Tidak diterbitkan.
- Buekens, A., H. Keirsse, J. Schoeters and A. Verbeeck (1985). *Production of Activated Carbon from Euphorbia Tiraculli*, Brussel.
- Dewan Standarisasi Nasional Jakarta (1995) *Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis*.
- Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K dan Namasisvayam, C. (2001). *Removal of Heavy Metals from Industrial Waste Waters by adsorption on to Activated carbon Preparad from an Agriculture Solid Waste*. *Bioresource Tech* 76:63-65.
- Nurdalia, I. (2006). *Kajian dan Analisis Peluang Penerapan Produksi Bersih pada Usaha Kecil Batik Cap (Studi Kasus pada Tiga Usaha Industri Kecil Batik Cap di Pekalongan)*. Tesis Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pari, G. (1995). *Pembuatan dan Karakteristik Arang Aktif dari Kayu dan Batubara*. Tesis Program Pasca Sarjana Magister Sains Kimia, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Rachman, C. Musanif, J dan Sulaeman, D. (2009). *Pedoman Desain Teknik IPAL Agroindustri*, Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian, Direktorat Jendral Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, Departemen Pertanian.
- Rumidatul, A. (2006). *Efektivitas Arang Aktif Sebagai Adsoben Pada Pengolahan Air Limbah*. Tesis Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Sembiring, M T dan Sinaga, T S. (2003). *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. Jurusan Teknik Industri. Fakultas Teknik. Universitas Sumatra Utara.
- Sudrajat, Salim S. (1994). *Petunjuk Teknis Pembuatan Arang Aktif*. No 1 Th 1 Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan

Suryono. Marihati dan Kartasanjaya, S. (1997). *Pemanfaatan Kembali Limbah Padat Arang dari Industri MSG*. Bull. Lit. Bang. Industri No.23.

Widhianti, W D. (2010). *Pembuatan Arang Aktif dari Biji Kapuk (Cieba pentandra L.)*. Skripsi Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.

PENULIS:

Sudarja✉, Novi caroko

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Jalan Lingkar Selatan, Bantul, Yogyakarta.

✉ Email: sudarja_msn@yahoo.com

Kuncoro Diharjo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret. Jalan Ir Sutami, Surakarta, Jawa Tengah.