

## PEMANFAATAN LIMBAH *BOTTOM ASH* SEBAGAI ADSORBEN LIMBAH ZAT WARNA INDUSTRI TEKSTIL

(*BOTTOM ASH UTILIZATION AS ADSORBENT FOR COLOURED  
WASTEWATER FROM TEXTILE INDUSTRY*)

Sinta Rismayani<sup>1)</sup>, Indarto<sup>2)</sup>, Wiwin Winiati<sup>3)</sup>, Bambang Ariwahjoedi<sup>4)</sup>  
<sup>1) 2) 3)</sup> Balai Besar Tekstil  
<sup>4)</sup> Teknik Material ITB

### ABSTRAK

**L**imbah *bottom ash* dari industri tekstil dengan kadar karbon yang masih tinggi berpotensi untuk dijadikan karbon aktif. Pembuatan karbon aktif diawali dengan proses pemisahan karbon dari residu *bottom ash* menggunakan teknik *floating*. Karbon yang dihasilkan kemudian diaktivasi menggunakan uap pada suhu 1000°C selama 1 jam. Karbon aktif kemudian digunakan untuk mengadsorpsi zat warna *reactive black 5* dan *acid red 4*. Untuk melihat kemungkinan penerapan proses adsorpsi pada effluen limbah tekstil, dilakukan uji coba adsorpsi dengan proses kontinu pada reaktor vertikal. Karbon aktif yang diperoleh pada percobaan ini mempunyai luas permukaan spesifik 548 m<sup>2</sup>/g dan nilai kalori 6370 kal/g. Kapasitas adsorpsi, KI pada zat warna *reactive black 5* dan *acid red 4* berturut-turut 56 dan 47 mg/g dan hasil ini lebih baik dibandingkan karbon aktif komersial. Analisa struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan karbon aktif *bottom ash* mempunyai struktur makro pori yang banyak pada permukaannya. Uji coba terhadap effluen air limbah indigo berhasil menurunkan warna dan COD sebanyak 34% dan 53%. Sedangkan percobaan terhadap effluen limbah zat warna reaktif/disperse berhasil menurunkan warna dan COD sebanyak 89% dan 61%.

**Kata kunci:** *Bottom ash*, karbon aktif, adsorpsi, zat warna tekstil, air limbah

### ABSTRACT

**H**igh content of carbon in *bottom ash* made it potential as activated carbon material. Activated carbon made in this study was started with recovery of carbon from *bottom ash* by floating technique, followed by steam activation for 1 hour at 1000°C. Activated carbon was then used in adsorption of *reactive black 5* and *acid red 4* which are known as textile dyestuffs. Adsorption test on textile effluent was done continually in a vertical reactor. Activated carbon obtained in this experiment has specific surface area up to 548 m<sup>2</sup>/g and calorific value up to 6370 kal/g. Adsorption capacity, KI, of *reactive black 5* and *acid red 4* are 56 and 47 mg/g, respectively and showed higher result as compared to commercial activated carbon. Microscopic structure examination by using *Scanning Electron Microscope* showed that activated carbon from *bottom ash* has more macroporous in its surfaces compare to commercial one. Experiment on indigo wastewater adsorption has reduce the colour intensity and Chemical Oxygen Demand as much as 34% and 53%, respectively. Whereas experiment on reactive/disperse wastewater has reduce the color intensity and COD 89% and 61%, respectively.

**Key words :** *Bottom ash*, activated carbon, adsorption, textile dyestuff, wastewater.

**PENDAHULUAN**

Sektor industri terutama pabrik tekstil adalah sektor usaha yang telah lebih dulu menggunakan batu bara. Sampai tahun 2006 sebanyak 224 pabrik tekstil tersebar terutama di Jawa Barat telah menggunakan batu bara (8). Penggunaan batu bara dapat mengurangi biaya energi cukup tinggi di industri, karena harganya yang terpaut jauh dengan minyak; sehingga industri tidak segan untuk mengeluarkan biaya investasi *boiler* batu bara.

Banyaknya industri tekstil yang beralih ke batubara sebagai sumber energi terutama untuk energi untuk penghasil uap (*boiler*) memberikan dampak lingkungan berupa pencemaran udara dan limbah padat dari sisa batubara yang tidak terbakar. Ada beberapa alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah limbah abu dari batu bara diantaranya yaitu dapat digunakan sebagai bahan baku semen. Cara lain adalah dengan mengirimkan limbah tersebut ke pusat pengolahan limbah industri (PPLI). Tingginya biaya pengiriman ke PPLI, mengakibatkan industri enggan untuk mengelola limbah padat dengan cara tersebut. Cara lainnya adalah dengan memanfaatkan limbah tersebut menjadi bahan bangunan seperti paving blok dan lain-lain, akan tetapi penggunaan cara ini pun hanya terbatas. Untuk itu perlu dicari alternatif pemanfaatan limbah *bottom ash* yang dapat digunakan di lahan industri masing-masing penghasil limbah tersebut.

Abu batu bara *bottom ash* seringkali masih mengandung karbon yang cukup tinggi sehingga tidak seperti karakteristik limbah *fly ash*, limbah *bottom ash* akan menyulitkan bila ingin dimanfaatkan sebagai bahan baku semen. Karbon yang melebihi 5% dalam abu batu bara akan menurunkan kualitas semen yang dihasilkan.

Pembuatan karbon aktif yang umum dilakukan di industri menggunakan bahan dari tempung kelapa. Proses pembuatannya melalui tahapan: karbonisasi/pengarangan dilanjutkan dengan proses aktivasi menggunakan uap pada suhu 1000°C. Proses aktivasi menggunakan bahan kimia juga dapat dilakukan yaitu menggunakan  $ZnCl_2$  dan lain-lain, akan tetapi dilihat dari pencemaran yang dihasilkan dan juga karena sifatnya yang korosif dapat lebih cepat merusak reaktor;

sehingga penggunaan uap menjadi lebih aman dan menguntungkan.

Residu karbon dalam *bottom ash* (*unburned carbon*), merupakan prekursor yang potensial untuk dibuat menjadi adsorben karena material ini telah mengalami devolatilisasi di dalam reaktor. Oleh karena itu tahap pengurangan tidak perlu lagi dilakukan, sehingga yang perlu dilakukan hanya proses aktivasi.

Penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* telah banyak dilaporkan, M. Mercedes Maroto-Valer dkk (1999) telah melakukan penelitian terhadap *fly ash* sebagai prekursor karbon aktif dengan teknik aktivasi uap pada suhu 850°C dan menghasilkan luas permukaan mencapai 443 m<sup>2</sup>/g. Peneliti yang sama kemudian melanjutkan penelitiannya (2005), yaitu memanfaatkan *fly ash* tersebut untuk menangkap gas karbon dioksida dari pembangkit tenaga listrik dan dapat mengadsorpsi CO<sub>2</sub> sebanyak 40.3 mg/g pada 30°C. Yamada, K., et. Al (2003) melakukan penelitian penggunaan *fly ash* sebagai adsorben untuk larutan zat warna *Methylene Blue* dan *Rhodamin B*. Maksimum adsorpsi terjadi pada pH 2,8 dan 4,5. Kapasitas adsorpsi terhadap *Methylene Blue* yang dihasilkan sebesar  $2,0 \times 10^{-5}$  mol/g untuk *fly ash* asal Columbia dan sebesar  $1,6 \times 10^{-5}$  mol/g untuk *fly ash* asal Thailand.

Sementara itu penelitian terhadap *bottom ash* masih belum banyak dilaporkan. Dincer A.R., et. Al (2007) melakukan penelitian penggunaan *bottom ash* sebagai adsorben tanpa didahului aktivasi terhadap air limbah sintetik mengandung zat warna *Vertigo Blue 49* dan *Orange DNA* dengan hasil kapasitas adsorpsi berurutan-turut 13,51 dan 4,54 mg/g.

Mengingat kadar karbon dalam *bottom ash* cukup tinggi, maka bahan ini memungkinkan untuk dapat dijadikan adsorben. Fokus lain pada penelitian ini adalah dilakukannya upaya pemisahan karbon dari residu *bottom ash*, sehingga diharapkan mempunyai sifat adsorben yang lebih baik. Hal ini berbeda dari penelitian-penelitian yang sudah dilaporkan yaitu tidak melakukan proses pemisahan karbon terlebih dahulu..

Upaya pemanfaatan limbah *bottom ash* batu-bara menjadi adsorben mempunyai kekurangan disamping kelebihan yang berupa kandungan karbon yang cukup tinggi

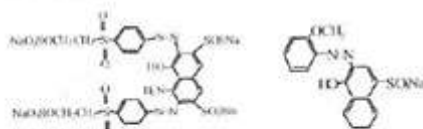


dan telah mengalami pengarangkan pada proses pembakaran. Hambatan upaya pemanfaatan *bottom ash* adalah tingginya kadar silika dan alumina yang dapat menyebabkan timbulnya lapisan kerak (*scale*) pada reaktor aktivasi. Lapisan ini muncul akibat tingginya suhu yang digunakan pada proses aktivasi yang menyebabkan silika, kalsium dan oksida anorganik lainnya meleleh dan menempel pada dinding reaktor. Lapisan ini sulit dihilangkan dan menyebabkan berkurangnya efisiensi transfer panas dalam reaktor. Untuk itu perlu dilakukan upaya pemisahan karbon dari senyawa impunitas lainnya.

Limbah *bottom ash* dan *fly ash* dari sisa pembakaran batu bara masuk dalam kategori limbah B3 (Bahan berbahaya dan beracun), karena kandungan logam berat yang mungkin ada dalam limbah tersebut. Oleh karena itu upaya pemanfaatan limbah tersebut juga harus memperhatikan hal-hal tersebut.

Masalah lain yang umum dijumpai di industri tekstil adalah masalah warna pada air limbah tekstil. Umumnya larutan zat warna mempunyai nilai COD yang kecil, sehingga menjadi hal yang umum terjadi bila industri tekstil membuang air limbah yang telah diolah dan telah memenuhi baku mutu akan tetapi secara visual warna larutan masih terlihat jelas.

Berdasarkan pengujian di laboratorium, larutan zat warna *reactive black 5* dan larutan zat warna *acid red* dengan konsentrasi 50 ppm mempunyai nilai COD berturut-turut 21 dan 25 mg/L. Nilai ini jauh lebih kecil dari baku mutu COD air limbah industri tekstil, yaitu sebesar 150 mg/L. Kecilnya nilai COD ini dikarenakan zat warna mempunyai struktur molekul yang kompleks dan stabil sehingga oksidator bikromat yang digunakan dalam pengujian COD sulit untuk dapat mengoksidasi zat warna tersebut. Stabilitasnya zat warna ini bukan berarti senyawa ini dapat aman dibuang ke lingkungan, akan tetapi dikawatirkan dapat mengganggu keseimbangan alam misalnya terhadap kondisi lahan sekitar, organisme yang tumbuh di sungai dan lain-lain. Bahkan ada beberapa jenis zat warna yang dapat menyebabkan alergi dan/atau bersifat karsinogen [5]. Zat warna reaktif dan asam, karena kelarutannya di dalam air menyebabkan sulit untuk diolah secara kimia (koagulasi), sedangkan pengolahan secara



Zat warna tekstil Reactive Black 5      Zat warna tekstil Acid Red 4

BM 991.B

BM 380.36

Gambar 1. Struktur Zat Warna Tekstil yang digunakan

biologi (lumpur aktif) secara praktis tidak dapat mengurai zat warna tekstil. Untuk itu perlu dilakukan upaya penyempurnaan pengurangan warna dari efluen tekstil supaya dapat meminimalkan zat-zat pencemar yang dibuang ke sungai.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

*Bottom ash*; diambil dari salah satu industri tekstil yang menggunakan boiler batu bara *Fluidized Bed Reactor* dengan kapasitas batu bara sebesar 25-30 ton/hari. Limbah sisa pembakaran yang terjadi sebesar 5% dengan komposisi *bottom ash* sebesar 30%.

Zat warna tekstil *Reactive Black 5* (*Aldrich*); dibuat larutan dengan konsentrasi 50 ppm pH 11 dan dididihkan selama 1 jam supaya mengalami hidrolisis, kemudian pH dibuat 7.5 dengan penambahan  $H_2SO_4$ .

Zat warna tekstil *Acid Red* (*Aldrich*); dibuat larutan dengan konsentrasi 50 ppm dan pH dibuat 7.5 melalui penambahan  $NaOH$ . Struktur kimia seperti pada Gambar 1.

Karbon aktif komersial; dengan bahan dasar arang kelapa yang telah mengalami karbonisasi dan aktivasi; digunakan sebagaimana adanya.

Efluen air limbah tekstil; diambil dari industri penghasil limbah *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini, dan juga dari salah satu industri tekstil lain sebagai pembanding.

### Peralatan

Reaktor aktivasi; untuk proses aktivasi dilakukan di industri pembuat karbon aktif komersial yang digunakan pada penelitian ini.

Reaktor pengolahan limbah skala laboratorium terbuat dari bahan gelas seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Reaktor vertikal uji coba proses adsorpsi karbon aktif *bottom ash* pada effluen limbah tekstil

**Prosedur Kerja**

1. Pemisahan karbon dari *bottom ash* dengan teknik *floating*  
 Sebanyak 40 kg *Bottom ash* dicampur dengan air dengan perbandingan berat *bottom ash* : air = 1 : 5. Kedua campuran diaduk secara manual dan kemudian dibiarkan beberapa menit sampai terjadi pemisahan antara karbon dan residu *bottom ash*. Karbon yang mengapung kemudian diambil dan dikeringkan dibawah sinar matahari.
2. Proses aktivasi  
 Karbon yang dihasilkan kemudian diaktivasi menggunakan uap dengan suhu 1000°C selama 1 jam. Proses aktivasi ini dilakukan di industri karbon aktif
3. Proses adsorpsi pada zat warna tekstil  
 Untuk mengetahui waktu optimum penyerapan zat warna ke dalam adsorben, dilakukan proses penyerapan terhadap zat warna *reactive black 5*. Sebanyak 250 mL 50 ppm larutan zat warna *reactive black 5* ditambah dengan adsorben dari bahan *bottom ash* sebanyak 0,2 g. Larutan dikocok menggunakan *shaker* dan dilaku-

kukan sampling dengan waktu tertentu untuk diukur warna pada 595 nm. Sebagai pembanding dilakukan uji yang sama terhadap adsorben komersial.

Untuk penentuan isoterm adsorpsi dilakukan proses pengocokan sebanyak 250 mL 50 ppm larutan *reactive black 5* ditambah dengan adsorben karbon aktif *bottom ash* sebanyak masing-masing 0; 0,05; 0,1; 0,14; dan 0,2 g. Kemudian campuran dikocok selama 52 jam dan dibandingkan warna nya menggunakan UV-Vis spektrofotometer. Percobaan yang sama dilakukan terhadap larutan acid red 4 dengan berat adsorben karbon aktif *bottom ash* sebanyak berturut-turut: 0; 0,06; 0,09; 0,12; 0,15 g. Untuk pembanding dilakukan percobaan yang sama terhadap karbon aktif komersial sebanyak berturut-turut: 0; 0,375; 0,5; 0,625 dan 0,75 g.

4. Proses adsorpsi pada effluen limbah warna industri tekstil

Proses ini dilakukan pada sebuah reaktor vertikal terbuat dari bahan gelas seperti terlihat pada Gambar 2. Reaktor diisi berturut-turut dengan 0,5 kg residu *bottom ash*; 0,3 kg karbon *bottom ash*; 0,2 kg karbon aktif dari *bottom ash*; dan 0,5 kg residu *bottom ash*. Diantara batas material tersebut digunakan kain kasa poliester yang tidak menyerap warna untuk mencegah pencampuran material-material tersebut. Tujuan penggunaan limbah residu *bottom ash* ini adalah untuk menjaga agar karbon aktif tidak terapung dan terbawa bersama effluen karena sifatnya yang ringan. Disamping itu karena residu *bottom ash* masih mengandung karbon yaitu yang tidak terpisahkan selama proses *floating*.

Untuk tahap percobaan ini dilakukan pada dua jenis air limbah yaitu:

1. Limbah effluen dari industri zat warna indigo

Limbah ini dialirkan secara gravitasi dari tangki penampungan dan masuk ke inlet reaktor yang terletak di bawah. Kecepatan aliran limbah diatur sebesar 2 L/jam sehingga di dapat waktu retensi terhadap total karbon *bottom ash* (0,5 kg dengan BJ 0,4) sebesar 37,5 menit. Selanjutnya dilakukan pengujian warna dan COD pada outlet.



2. Limbah effluen dari industri pencelupan menggunakan zat warna reaktif/disperse.

Untuk percobaan ini hanya digunakan sebesar 0,05 kg karbon aktif dari *bottom ash* ditambah 0,2 kg residu *bottom ash* pada bagian bawah dan atas karbon aktif.

Limbah ini dialirkan secara gravitasi dari tangki penampung dan masuk ke inlet reaktor yang terletak di bawah. Kecepatan aliran limbah diatur sebesar 500 mL/jam sehingga di dapat waktu retensi terhadap total karbon *bottom ash* (0,05 kg dengan BJ 0,4) sebesar 25 menit. Selanjutnya dilakukan pengujian warna dan COD pada outlet.

**Pengumpulan data dan analisa**

Data diperoleh dari hasil analisa, pengukuran dan pengujian berikut :

- Analisa warna larutan zat warna sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan spektrofotometer Uv-vis;
- Analisa COD (*Chemical Oxygen Demand*) untuk inlet dan outlet proses adsorpsi pada reaktor vertikal
- Analisa luas permukaan spesifik terhadap sampel karbon aktif *bottom ash* menggunakan alat NOUVA 100
- Analisa morfologi permukaan adsorben dilakukan terhadap sampel karbon aktif *bottom ash* menggunakan alat Analytical Scanning Microscope
- Analisa komposisi unsur terhadap sampel karbon aktif *bottom ash* menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectrofotometer*)
- Pengujian nilai kalor menggunakan bomb calorimeter metoda ASTM D.5865

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Proses pemisahan karbon dan aktivasi**

*Bottom ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah dari pembakaran batubara yang mempunyai nilai hilang pijar sebesar 35%. Pemisahan karbon dari *bottom ash* dilakukan dengan teknik *floating* menggunakan air dan dihasilkan karbon sebanyak kurang lebih 40-50% volume. Karakteristik limbah *bottom ash* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan proses pemisahan didapatkan kadar karbon yang tinggi dan kadar silika yang tertinggal dianggap sama dengan kadar dalam karbon *bottom ash* yang telah diaktivasi yaitu sebesar 0,4% sebagai SiO<sub>2</sub> (gambar 9). Hal ini memang diharapkan jika akan dilakukan proses aktivasi pada suhu 1000°C karena hadimya silika akan dapat menyebabkan timbulnya lapisan kerak pada dinding reaktor dan mengganggu transfer panas yang diperlukan.

Proses aktivasi pada umumnya diawali dengan proses karbonisasi (devolatilisasi) yaitu pengurangan dilanjutkan dengan pembentukan atom-atom karbon yang menyusun diri membentuk formasi kristalografi atau sebagai bahan awal kristalisasi grafit [2]. Proses ini memerlukan pemanasan suhu minimal 500°C untuk membentuk mikroporositas yang masih tertutup oleh karbon tar dari material tumbuhan sehingga perlu dihilangkan. Proses aktivasi kemudian akan mereduksi sisa karbon amorf ini pada proses karbonisasi.

Penggunaan *bottom ash* sebagai bahan karbon aktif akan mengurangi proses karbonisasi (devolatilisasi) karena sudah mengalami pembakaran pada reaktor boiler

Tabel 1. Karakteristik *Bottom Ash* dan residu *Bottom Ash* setelah Pemisahan Karbon menggunakan Teknik *Floating* dan Aktivasi 1000°C

Karakteristik Kimia (% berat)	Analisis Proksimat (%)		Karakteristik umum				
	Karbon <i>Bottom ash</i>	Residu <i>Bottom ash</i>		Karbon aktif <i>Bottom ash</i>	Karbon aktif <i>Bottom Ash</i>	Karbon aktif komersial	
SiO <sub>2</sub>	60,0	72,0	Moisture	10.1	Luas permukaan spesifik (m <sup>2</sup> /g)	548	977
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,8	4,3	ash	8.9	Berat jenis (g/mL)	0.4	0.97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,1	16,2	Senyawa volatil	5.2	Nilai kalor (kal/g)	6370	Tidak dianalisa
CaO	0,9	1,8	Fixed carbon	78.0			
MgO	0,7	1,3	Total sulfur	0.44			
Lain-lain	17,5	4,4					

yang suhunya mencapai 700-800°C. Proses selanjutnya yang dilakukan adalah dengan memanaskan karbon pada suhu 1000°C selama 1 jam sehingga diharapkan akan menaikkan luas permukaan spesifik.

Bila dibandingkan antara karbon aktif *bottom ash* dan karbon aktif komersial ternyata luas permukaan spesifik yang terjadi pada karbon aktif *bottom ash* masih jauh dibawah karbon aktif komersial (Tabel 1). Mengingat penentuan luas permukaan spesifik dilakukan dengan mengamati proses adsorpsi isoterm terhadap gas nitrogen, dapat disimpulkan bahwa pada karbon aktif komersial mempunyai mikropori yang jauh lebih banyak. Ukuran diameter pori yang dapat terdeteksi pada penentuan luas permukaan ini dapat mencapai 1,5 nm.

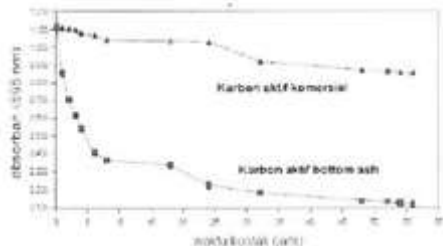
**Penentuan waktu adsorpsi**

Dari Gambar 3 terlihat karbon aktif *bottom ash* dapat menurunkan warna larutan *reactive black 5* lebih banyak dibanding karbon aktif komersial. Hal ini masih terjadi walaupun waktu kontak diperpanjang sampai 56 jam. Untuk penentuan kapasitas adsorpsi selanjutnya digunakan waktu 52 jam yaitu waktu dianggap proses adsorpsi sudah maksimum.

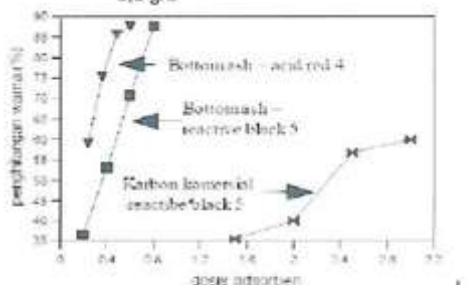
Bertambahnya dosis adsorben menyebabkan penghilangan warna semakin meningkat baik pada *bottom ash* maupun pada karbon aktif komersial (Gambar 4). Akan tetapi kenaikan ini tidak selalu linear yaitu makin tinggi dosis adsorben maka daya adsorpsinya (kapasitas adsorpsi, mg adsorbat/g adsorben) makin menurun. Hal ini jelas terlihat pada Gambar 5. Pada dosis karbon aktif *bottom ash* yang kecil terlihat kapasitas adsorpsi yang besar yang kemudian semakin mengecil ketika dosis karbon aktif dinaikkan. Daya adsorpsi ditunjukkan dengan nilai mg zat warna teradsorpsi untuk setiap gram adsorben.

Hal ini terjadi karena naiknya *driving force* akibat gradien konsentrasi [7]. Pada kondisi dimana makin tinggi perbedaan jumlah adsorben yang digunakan dengan konsentrasi zat warna, makin banyak zat warna yang dapat teradsorpsi. Sehingga penyerapan yang tinggi akan terjadi pada penggunaan adsorben yang sedikit dengan konsentrasi zat warna yang tinggi.

Karena perubahan yang tidak linear itu pula kapasitas adsorpsi suatu adsorben



Gambar 3. Kurva Pengaruh Waktu terhadap Proses Adsorpsi Zat Warna *Reactive Black 5* 50 ppm oleh Karbon Aktif *Bottom Ash* dan Karbon Aktif Komersial sebanyak 0,8 g/l.



Gambar 4. Pengaruh Dosis Adsorben terhadap Penghilangan Warna *Reactive Black 5* dan *Acid Red 4* 50 ppm

terhadap zat warna sangat ditentukan oleh konsentrasi awal larutan zat warna, dosis adsorben, waktu adsorpsi dan juga pH. Umumnya makin rendah pH kapasitas adsorpsi lebih baik [6,7]. Pada penelitian ini pH dibuat sebesar 7,5 mengingat tujuan penggunaan karbon aktif disini adalah untuk pengolahan pada effluen limbah tekstil yang umumnya mempunyai nilai pH antara 7-8.

Untuk dapat membandingkan kinerja adsorben maka dikembangkan suatu model yang dinamakan isoterm Freundlich (Freundlich, 1906). Model ini menggunakan konsentrasi awal yang tetap sedangkan dosis adsorben bervariasi dan menghasilkan garis lurus antara  $\log C_e$  dengan  $\log Q_e$  mengikuti persamaan:

$$\log Q_e = 1/n \log C_e + \log K_f$$

dimana  $Q_e$  menunjukkan kapasitas adsorban dalam mg/g,  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan dan  $K_f$  dan  $n$  adalah konstanta yang merupakan faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi seperti kapasitas adsorpsi



dan intensitas. Hasil isoterm freundlich dalam percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai Kf tertinggi (56 mg/g) dicapai oleh adsorpsi karbon aktif *bottom ash* terhadap *reactive black 5*. Hal ini menunjukkan adsorpsi yang baik dicapai oleh karbon aktif *bottom ash* terhadap *reactive black 5*. Walaupun pada Gambar 6 jelas terlihat garis adsorpsi terhadap *acid red* terletak lebih diatas dibanding *reactive black 5*, akan tetapi karena kemiringannya yang tajam menyebabkan adsorpsi terhadap *acid red 4* menjadi lebih tidak stabil pada berbagai konsentrasi. Jika garis isoterm hampir horisontal menunjukkan karbon aktif mempunyai adsorpsi yang baik terhadap berbagai konsentrasi adsorbat [4].

Kemiringan pada karbon aktif komersial terhadap *reactive black 5* lebih tajam lagi (Gambar 6), sehingga hampir dapat dipastikan karbon aktif ini tidak sesuai untuk zat warna *reactive black 5*. Nilai n sebesar 1,2 menunjukkan bahwa karbon aktif ini bukan adsorben yang baik. McKay et. Al (1982) menyatakan nilai n antara 2 dan 10 menunjukkan adsorban yang baik.

Dikaitkan dengan nilai luas permukaan spesifik yang dimiliki oleh karbon komersial ( $977 \text{ m}^2/\text{g}$ ) jauh lebih tinggi dari karbon aktif *bottom ash* ( $548 \text{ m}^2/\text{g}$ ), umumnya adsorben yang mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi dikategorikan sebagai adsorben yang baik. Adanya kontradiksi pada penelitian ini adalah dikarenakan sulitnya adsorbat mencapai mikropori dalam butiran karbon aktif komersial. Suatu adsorbat akan mencapai mikropori dengan melalui makropori dan mesopori [2]. Pengukuran luas permukaan spesifik ditentukan berdasarkan adsorpsi gas nitrogen terhadap pori di dalam adsorben. Karena ukuran gas nitrogen sangat kecil sehingga mudah untuk mencapai pori dengan ukuran mikropori (<2 nm), sedangkan zat

warna mempunyai ukuran molekul yang besar (BM 380 untuk *acid red 4* dan BM 992 untuk *reactive black 5*). Dari Gambar 7 terlihat bahwa karbon aktif komersial memiliki struktur pori berupa serabut sedangkan karbon aktif *bottom ash* memiliki banyak makropori (>50 nm) dipemukaannya sehingga memudahkan proses adsorpsi mencapai bagian dalam butir karbon.

Perbedaan karakteristik pori antara karbon aktif komersial dengan karbon aktif *bottom ash* memberikan alternatif baru bagi jenis karbon aktif yang selama ini ada di pasaran. Karbon aktif komersial yang digunakan dalam percobaan ini adalah termasuk karbon aktif granular yang ditujukan untuk mengeliminasi zat-zat kimia dengan ukuran kecil, seperti yang selama ini sering digunakan untuk mengolah air bersih. Sampai saat ini tersedia lebih dari 100 jenis karbon aktif yang berbeda telah di produksi di dunia sesuai dengan jenis keperluannya [4]. Karbon aktif dari *bottom ash* dalam penelitian ini akan cocok digunakan untuk mengadsorpsi senyawa-senyawa dengan ukuran cukup besar sehingga dapat mengatasi masalah adsorpsi molekul yang besar yang selama ini tidak dapat diatasi oleh karbon aktif komersial.

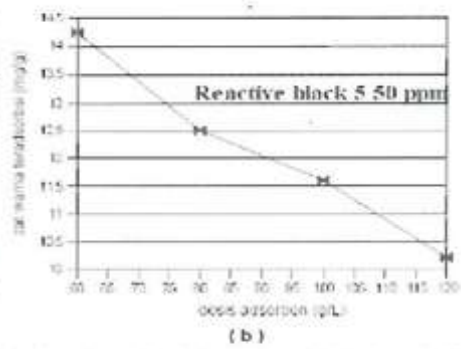
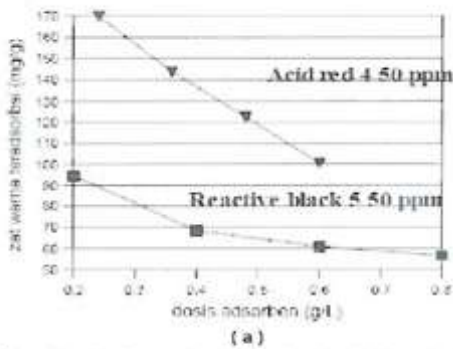
Limbah batu bara sering dikaitkan dengan masalah logam berat di dalamnya. Oleh karena di dalam penelitian ini digunakan limbah *bottom ash* batubara sebagai bahan baku karbon aktif, maka dalam penelitian ini juga dilakukan analisa kandungan logam berat yang kemungkinan terdeteksi. Analisa menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectrofluorometer*) digunakan untuk memindai kehadiran logam logam dalam jumlah kecil dalam sampel padat. Dari hasil analisa ini terlihat karbon aktif *bottom ash* tidak mengandung logam berat (Gambar 8). Hal ini disebabkan karena teknik *floating* yang digunakan untuk memisahkan karbon dari residu *bottom ash* hanya menghasilkan sebagian besar karbon,

Tabel 2. Hasil adsorpsi isotherm zat warna reaktif black 5 dan acid red oleh karbon aktif *bottom ash* dan komersial

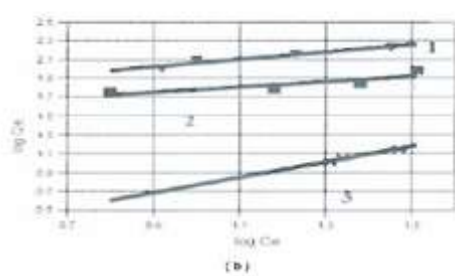
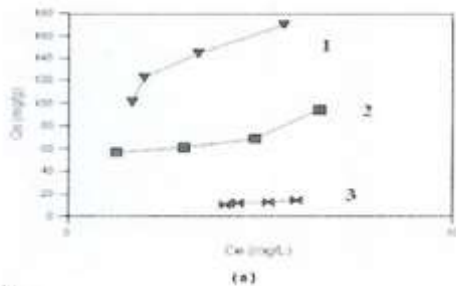
Adsorben	Zat warna	Konsentrasi (mg/L)	Persamaan freundlich	Kf (mg/g)	n
Karbon aktif bottom ash	Reactive Black 5	50	$y=0,12x + 1,748$	56	8,3
Karbon aktif bottom ash	Acid red 4	50	$y=0,38x + 1,67$	47	2,6
Karbon aktif komersial	Reactive Black 5	50	$y=0,81x+0,04$	1,1	1,2

sedangkan mineral-mineral lainnya tetap berada dalam residu. Unsur lain yang terdeteksi yang tidak dimiliki karbon aktif komersial adalah

hadirnya unsur S. Hal ini dapat menurunkan nilai pH larutan dimana adsorben ini digunakan.

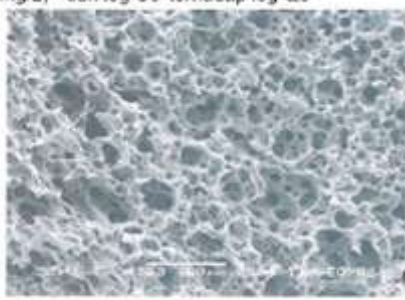
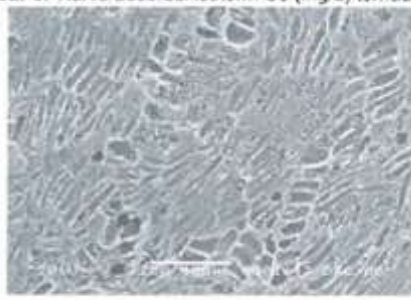


Gambar 5. Pengaruh dosis adsorben (g/L) terhadap kapasitas adsorpsi zat warna (a) karbon aktif bottom ash; (b) karbon aktif komersial



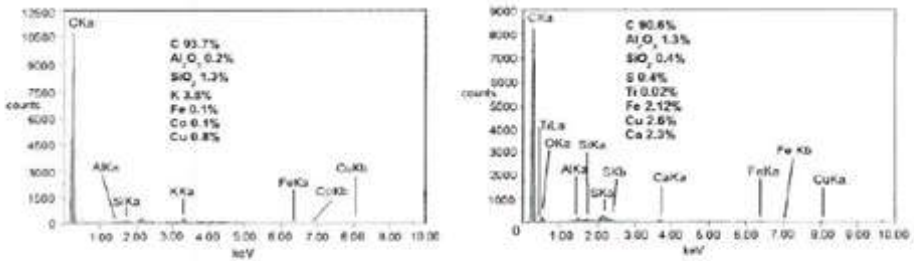
Ket : 1 = bottom ash – acid red 4 50 ppm  
 2 = bottom ash – reactive black 5 50 ppm  
 3 = commercial – reactive black 5 50 ppm

Gambar 6. Kurva adsorpsi isotherm  $C_e$  (mg/L) terhadap  $Q_e$  (mg/L) dan  $\log C_e$  terhadap  $\log Q_e$

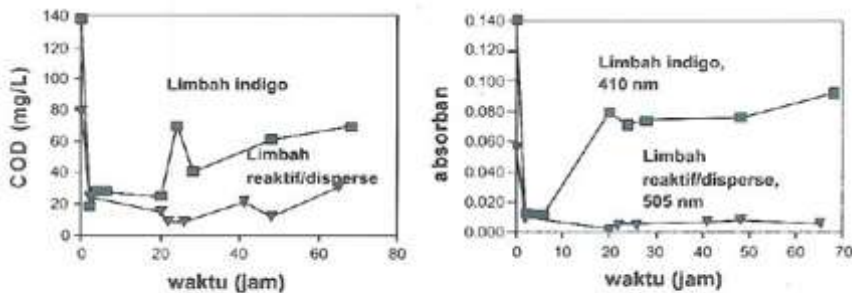


Gambar 7. Struktur mikro karbon aktif komersial (kiri); karbon aktif bottom ash (kanan)





Gambar 8. Kurva EDS (Energy Dispersive Spektrometer) Karbon Aktif Komersial (kiri) dan karbon aktif bottom ash (kanan)



Gambar 9. Kurva proses adsorpsi terhadap effluen limbah zat warna indigo dan effluen limbah zat warna reaktif/dispersi (a) nilai COD (b) absorbansi

**Proses Adsorpsi terhadap Air Limbah**

Untuk mengetahui bagaimana karbon aktif dapat digunakan terhadap air limbah, dilakukan pengolahan terhadap effluen limbah industri tekstil yang menggunakan zat warna indigo dan sebagai pembanding dilakukan pula pengolahan terhadap effluen limbah yang mengandung zat warna reaktif/dispersi.

Hasil pengolahan terhadap effluen limbah indigo menunjukkan penurunan COD dan warna terlihat sebanding. Penurunan yang tinggi dicapai pada 20 jam pertama selanjutnya penurunan nilai COD (53%) dan warna (34%) menjadi berkurang sampai hari ke-3. Sehingga penggunaan lebih dari 3 hari kurang efisien atau dengan kata lain adsorben harus sudah diganti dengan yang baru. Adanya penurunan COD ini menunjukkan proses adsorpsi tidak hanya terjadi pada warna saja, melainkan adanya senyawa-senyawa organik lain yang ikut tereduksi. Atas

dasar itu dapat dijelaskan bahwa penggunaan karbon aktif ini akan menjadi efektif dan efisien bila digunakan pada air limbah yang telah mengalami pengolahan sebelumnya yang lebih mudah untuk dapat mengolah/memisahkan sisa-sisa bahan kimia dalam air limbah. Karbon aktif digunakan apabila sistem pengolahan lain masih menyisakan bahan kimia yang tidak dapat diolah pada sistem tersebut sebelumnya. Sehingga memungkinkan untuk melakukan daur ulang air limbah menjadi air proses. Penggunaan karbon aktif pada air limbah tanpa didahului proses pengolahan lainnya akan menjadi tidak ekonomis.

Untuk effluen limbah dari proses pencelupan zat warna reaktif/dispersi terlihat lebih baik, sampai mendekati hari ke-3 penurunan warna (penurunan 89%) maupun COD (penurunan 61%) masih stabil, walaupun sebenarnya untuk membandingkan secara

langsung tidak bisa dilakukan mengingat kondisi percobaan yang berbeda baik itu karakteristik limbah awal, waktu retensi dan lain-lain.

#### Kemungkinan untuk diterapkan di Industri

Mengingat limbah batu bara sampai saat ini masih menjadi permasalahan yang belum dapat diatasi, pemanfaatan limbah *bottom ash* yang masih mempunyai karbon yang tinggi merupakan potensi alternatif pemecahan masalah di bidang lingkungan. Keberhasilan teknik pembuatan karbon aktif ini tergantung pada jenis limbah *bottom ash* (kadar karbon, tingkat pembakaran dan suhu pembakaran) dan jumlah *bottom ash* yang dihasilkan. Keberhasilan pemisahan karbon dari *bottom ash* akan memberikan keuntungan tersendiri disamping potensinya untuk dapat dijadikan karbon aktif, karena nilai kalor yang dihasilkan (>6000 kkal/kg) dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang baik. Karena bahan bakunya berasal dari limbah, menjadikan keuntungan ganda bagi industri, yaitu mengurangi biaya pengolahan limbah padat sekaligus mendapatkan bahan baku karbon aktif yang murah dengan hasil yang bagus. Perhitungan tekno-ekonomi secara detail masih menunggu hasil pilot plant dengan sistem kontinu yang sedang dilakukan antara industri tekstil sebagai penghasil *bottom ash* dengan industri karbon aktif.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Proses pemisahan karbon dari *bottom ash* berhasil dilakukan dengan mencapai kadar karbon sebesar 78% dan nilai kalori 6379 kkal/kg
2. Hasil aktivasi dengan uap pada suhu 1000°C menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan spesifik sebesar 548 m<sup>2</sup>/g
3. Hasil percobaan adsorpsi karbon aktif *bottom ash* terhadap zat warna *reactive black 5* dan zat warna *acid red 4* menunjukkan kapasitas adsorpsi, Kf, sebesar 56 dan 47 mg/g dan menunjukkan kapasitas adsorpsi yang jauh lebih baik dibanding karbon aktif komersial.
4. Karena *bottom ash* sudah mengalami pemanasan pada reaktor boiler mencapai

700-800°C, maka tidak diperlukan lagi tahapan devolatilisasi pada proses pembuatan karbon aktif.

5. Percobaan adsorpsi karbon aktif *bottom ash* terhadap effluen limbah indigo berhasil menurunkan warna dan COD berturut-turut 34% dan 53% sampai 2 hari sedangkan terhadap effluen limbah reaktif/disperse hasil penghilangan warna dan COD berturut-turut 89% dan 61% sampai hari ke-3

### Saran

Mengingat proses adsorpsi dengan karbon aktif *bottom ash* dapat menaikkan tingkat efisiensi pengolahan limbah dan kualitas air hasil olahan yang baik, perlu diteliti kemungkinan digunakannya proses ini untuk daur ulang air limbah tekstil. Selama ini air limbah tekstil sulit untuk digunakan kembali sebagai air proses karena lingginya persyaratan air proses. Proses adsorpsi diharapkan dapat mengeliminasi senyawa-senyawa yang selama ini lolos dari IPAL dan tidak terdeteksi oleh pengujian COD, sehingga sulit untuk digunakan kembali sebagai air proses.

### Ucapan Terimakasih

Terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Setyo Yanus Sasongko atas kesempatan penggunaan fasilitas reaktor aktivasi yang ada di perusahaannya untuk kepentingan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Dincer, A.R., "Coal-based *Bottom ash* (CBBA) Waste Material as Adsorbent for Removal of Textile Dye-stuffs from Aqueous Solution", *J. Hazard Mater*, 2007, March 22, 141 (3)
2. Manocha, S.M., "Porous Carbons", *Sadhana* Vol 28, February/April 2003.
3. Maroto-Valer, M., et. al., "Use of Unburned Carbon in Fly Ash as Precursor on the Development of Activated Carbon", International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, university of Kentucky, Paper #19, 1999

4. "Measuring adsorptive capacity of powdered activated carbon, Norit Americas Inc., Technical Report
5. Oekotex-100, Technical Specification, 2004
6. Ramakrishna K.R., Viraraghavan, T., "Dye Removal using Peal", American Dyestuff Reporter 1995.
7. Reddy, S., et.al., "The Removal of Composite Reactive Dye from Dyeing Unit Effluent Using Sewage Sludge Derived Activated Carbon", *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 30 (2006), 367-373.
8. Tim Kajian Batubara Indonesia-TEKMIRA, "Batubara Indonesia", Laporan, 2006
9. Yamada, K. et. Al, "Removal of Dyes from Aqueous Solution by Sorption with Coal Fly Ash". International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, Paper #116, 2003.