

PENYISIHAN ZAT WARNA REAKTIF DALAM AIR DENGAN BOTTOM ASH BATU BARA MENGGUNAKAN CARA BATCH

REMOVAL OF REACTIVE DYE IN WATER WITH COAL BOTTOM ASH USING A BATCH METHOD

Budy Handoko^{1*}, Hardianto¹ dan Gita Feriani Rachman¹

1. Politeknik STTT, Bandung, 40272, Indonesia

*E-mail : handoko@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Sisa pembakaran batu bara dari boiler yang berupa *bottom ash* dapat menyebabkan masalah pencemaran lingkungan bila tidak dikelola. Berdasarkan karakteristiknya, *bottom ash* merupakan abu dengan kadar karbon tinggi. Berdasarkan hal tersebut, *bottom ash* berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben limbah cair dari industri tekstil. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan studi pemanfaatan *bottom ash* untuk penyisihan zat warna reaktif. Pada percobaan pendahuluan dilakukan pengujian penyisihan warna menggunakan *bottom ash* yang diaktivasi secara kimia (menggunakan HCl, NaOH dan H₂O₂), fisika (dipanaskan pada suhu 600°C – 900°C), dan tanpa aktivasi. Pengujian penyisihan warna dilakukan dengan cara spektrofotometri. Hasil pengujian diketahui bahwa *bottom ash* tanpa aktivasi memberikan hasil yang paling baik dibandingkan yang diaktivasi secara kimia atau fisika. Berdasarkan hasil tersebut, dilakukan penelitian lanjutan menggunakan *bottom ash* yang tidak diaktivasi dengan memvariasikan massa adsorben (1; 3; 5; 7; 9 gram), konsentrasi zat warna reaktif Novacron Ruby S-3B (10; 20; 30; 40; 50 ppm), dan waktu proses (1; 2; 3 jam). Massa adsorben, waktu proses, konsentrasi zat warna berpengaruh terhadap hasil penyisihan warna pada larutan zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B). *Bottom ash* tanpa aktivasi, massa adsorben 7 gram (waktu 2-3 jam) memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menyerap zat warna reaktif dalam larutan.

Kata kunci: Batu bara, *bottom ash*, pengolahan limbah cair, zat warna reaktif

ABSTRACT

Residual coal combustion from boilers (bottom ash) can cause environmental problems if not managed properly. Bottom ash has a high carbon content and therefore, it has a potential to be used as an adsorbent for liquid waste from the textile industry containing textile dyes. In this paper, a study of the use of bottom ash from coal combustion was carried out to treat liquid waste containing reactive dye. In the preliminary experiment, a color removal test was carried out using bottom ash which was chemically activated (using HCl, NaOH and H₂O₂), physically (heated at 600°C - 900°C), and untreated bottom ash. The color removal evaluation was done by spectrophotometric analysis. In conclusion, bottom ash without activation gives the best results compared to chemically or physically activated bottom ash. Further research was carried out using untreated bottom ash by varying the mass of the adsorbent (1; 3; 5; 7; 9 grams), the concentration of the reactive dye (10; 20; 30; 40; 50 ppm.), and processing time (1; 2; 3 hours). Adsorbent mass, time, and dye

concentration affect the result of color removal. Adsorbent mass of 7 grams (processing time 2-3 hours) has an excellent capability to absorb reactive dyes in solution.

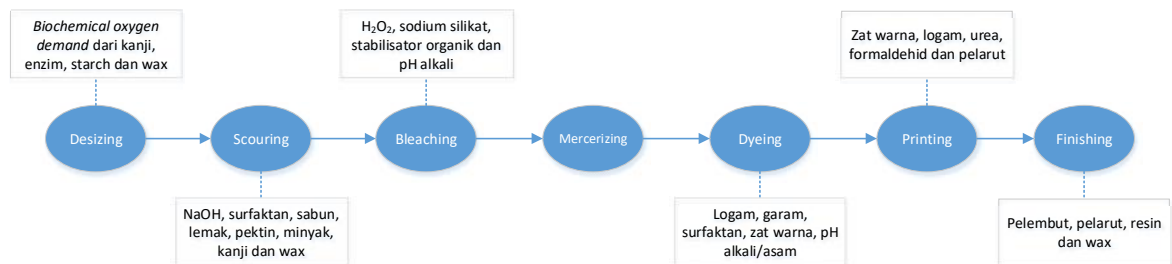
Keyword: Coal, Bottom ash, wastewater treatment, reactive dyes

1. PENDAHULUAN

Proses tekstil memerlukan bermacam-macam zat kimia pembantu dan zat warna untuk memproses serat, benang maupun kain sehingga air buangnya mengandung banyak zat kimia dan memerlukan proses pengolahan sebelum dibuang. Menurut Brik *et al.* [1] kandungan zat kimia yang dikeluarkan oleh masing-masing industri tekstil berbeda-beda yang bergantung pada proses, jenis kain yang dibuat, zat kimia yang digunakan, berat kain dan musim. Yaseen *et al.* [2] menyampaikan bahwa polutan utama pada proses basah

tekstil dihasilkan dari proses *desizing*, *scouring*, *bleaching*, *dyeing*, *printing* dan *finishing*.

Air buangan yang mengandung zat-zat kimia dari proses tekstil dapat menyebabkan pencemaran air yang berbahaya bagi lingkungan sekitarnya apabila air buangnya tidak diproses dengan baik sebelum dibuang. Yaseen dan Scholz [2] bahkan menyatakan bahwa industri tekstil menjadi salah satu sumber polusi lingkungan yang paling utama.



Gambar 1.1 Kandungan pencemar utama limbah cair di industri basah tekstil

Sumber : Yaseen dan Scholz, 2019

Dari Gambar 1.2 terlihat bahwa pencemar utama di industri basah tekstil merupakan zat organik, garam dan sedikit logam. Kanji, surfaktan, sabun, lemak, wax, dan lain-lain

merupakan senyawa organik yang pada umumnya *biodegradable* sehingga dapat diolah dengan baik menggunakan metoda biologi. Dari beberapa unsur pencemar yang ada

dalam air limbah tekstil tersebut, zat warna merupakan salah satu unsur yang dapat menyulitkan proses pengolahan limbah cair karena struktur kimia dari zat warna yang sangat kompleks [3]. Pada umumnya, konsentrasi zat warna dalam limbah cair tekstil tinggi karena tidak dapat terfiksasi pada serat dengan baik. Zat warna reaktif merupakan salah satu jenis zat warna yang dapat terserap dengan baik sekitar 60 – 90% saja sehingga memiliki potensi menjadi limbah sebesar 10 – 40%. Metoda pengolahan limbah cair di industri tekstil pada umumnya menggunakan metoda koagulasi-flokulasi, biologi dan/atau gabungannya telah mampu menghasilkan efisiensi pengolahan yang tinggi untuk penyisihan nilai COD dan COD, namun tidak untuk penghilangan warna. Oleh karena itu, proses penghilangan zat warna dari limbah cair menggunakan metoda adsorpsi merupakan alternatif proses untuk pengolahan limbah yang mengandung zat warna apalagi jika adsorben yang digunakan murah dan mudah diperoleh [4].

Industri tekstil merupakan salah satu sektor industri yang banyak menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk boiler. Konsumsi batu bara

oleh industri tekstil di tahun 2016 yaitu sekitar 2,39 juta ton [5]. Konsumsi penggunaan batu bara yang tinggi ini, akan memberikan dampak buruk terhadap lingkungan seperti pencemaran udara dan menghasilkan limbah padat berupa *bottom ash*. Dari pembakaran batu bara akan dihasilkan sekitar 5% polutan abu padat yang terdiri dari 80-90% *fly ash* dan 10-20% abu dasar [6]. Hal ini tentunya akan menjadi masalah tersendiri ketika *bottom ash* batu bara tersebut tidak dikelola dengan baik karena akan mencemari lingkungan. Dilihat dari karakteristiknya, *bottom ash* merupakan abu yang memiliki kadar karbon tetap sampai 78% sehingga berpotensi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben.

Penelitian tentang penggunaan *bottom ash* sebagai adsorben telah banyak dilakukan. Permatasari *et al.* [7] telah berhasil melakukan penelitian terhadap *bottom ash* sebagai adsorben dan hasilnya dapat menurunkan kadar zat warna dan logam berat (Cu & Ni). *Bottom ash* batu bara yang sudah diaktivasi dalam NaOH berhasil digunakan sebagai adsorben zat warna dan logam berat dengan sistem kontinyu [8]. Selain itu, Pitulima [9] dalam tesisnya mengenai pembuatan

karbon aktif dari batu bara dan daya serapnya terhadap penurunan kadar Cu^{2+} dalam larutan CuSO_4 juga telah berhasil untuk menurunkan kadar Cu^{2+} sebesar 98%.

Berdasarkan hal tersebut, perlu adanya upaya pemanfaatan *bottom ash* sebagai adsorben agar memberikan nilai tambah untuk mengolah limbah cair yang mengandung zat warna tekstil. Dalam penelitian ini dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut: (1) Apakah *bottom ash* mampu mengadsorpsi zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B) dengan baik? (2) Apakah variasi massa adsorben, waktu proses, dan konsentrasi zat warna berpengaruh terhadap penyisihan zat warna reaktif? (3) Berapakah nilai efisiensi penyisihan zat warna reaktif yang diadsorpsi menggunakan *bottom ash*?

2. BAHAN DAN METODA

2.1 Alat dan Bahan

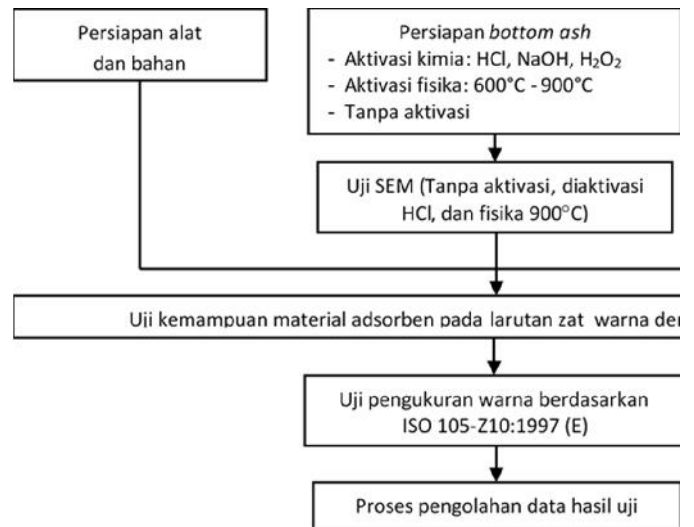
Bahan-bahan yang digunakan adalah *bottom ash* dari sisa pembakaran boiler batu bara yang berasal dari PT X perusahaan tekstil yang berlokasi di Rancaekek, Bandung, Jawa Barat pada bulan April 2018. Bahan lain yang digunakan antara lain: zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B), asam klorida

(HCl) teknis, natrium hidroksida (NaOH) teknis, dan peroksida (H_2O_2) teknis. Alat yang digunakan dalam percobaan adsorpsi zat warna menggunakan *bottom ash* secara *batch* adalah Jar-Tester.

2.2 Metoda

2.2.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan menggunakan *bottom ash* yang dikondisikan dalam 3 (tiga) kondisi berbeda yaitu: aktivasi kimia, aktivasi fisika, dan tanpa aktivasi. Lalu diuji coba potensi adsorpsinya terhadap larutan zat warna dengan konsentrasi 25 ppm dan massa adsorben 25 gram. Diagram alir percobaan pendahuluan dapat dilihat pada

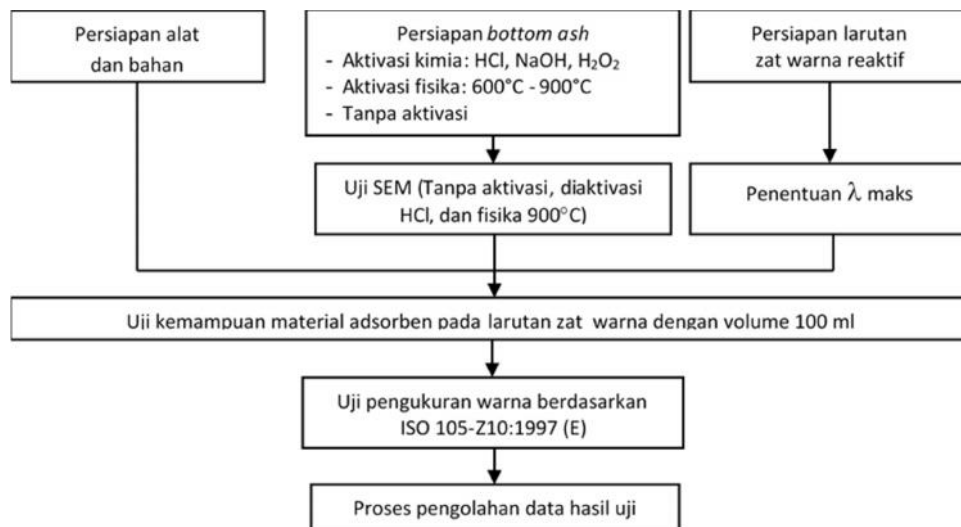


. Metoda pengolahan yang digunakan adalah sistem *batch*, metoda ini dipilih karena mudah, efektif, ekonomis, dan mampu membuat kontak antara adsorben dan zat warna dengan baik.

Kondisi penelitian pendahuluan dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kondisi penelitian pendahuluan

| Kondisi | <i>Bottom ash</i> | | |
|-----------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | Aktivasi Kimia | Aktivasi Fisika | Tanpa Aktivasi |
| Massa adsorben | 25 gram | 25 gram | 25 gram |
| Konsentrasi zat warna | 25 ppm | 25 ppm | 25 ppm |
| Waktu proses | 1 jam | 1 jam | 1 jam |
| Metoda | <i>Batch</i> | <i>Batch</i> | <i>Batch</i> |



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian pendahuluan

2.2.2 Aktivasi *bottom ash* secara kimia

Prinsip dari aktivasi cara kimia ini adalah perendaman arang dengan

senyawa kimia sebelum dipanaskan. Pada proses aktivasi secara kimia, material direndam dalam larutan pengaktifasi selama 24 jam lalu dikeringkan pada suhu 100°C selama 4 jam. Pada penelitian ini dilakukan perendaman menggunakan 3 jenis larutan kimia yang berbeda yaitu HCl, NaOH dan H₂O₂ masing-masing 2 M. *Bottom ash* hasil aktivasi secara kimia ini kemudian diuji kemampuan penyisihan zat warna reaktif dengan konsentrasi zat warna 25 ppm.

2.2.3 Aktivasi *bottom ash* secara fisika

Aktivasi secara fisika dilakukan dengan memanaskan *bottom ash* di dalam tanur pada berbagai suhu, yaitu 600°C, 700°C, 800°C, dan 900°C masing-masing selama 4 jam.

2.2.4 Pengujian kemampuan penyisihan zat warna

Bottom ash ditimbang sesuai dengan variasi yang dibutuhkan lalu dimasukkan ke dalam piala gelas 250 ml. Limbah artifisial dituangkan ke dalam piala gelas sesuai dengan konsentrasi yang akan diteliti. Magnetik *bar* dimasukkan ke dalam piala gelas. Larutan tersebut

diaduk di mesin *stirrer* pada kecepatan 6 rpm. Waktu pengadukan disesuaikan dengan variasi yang akan dilakukan (1 jam, 2 jam, 3 jam). Selanjutnya larutan tersebut disaring menggunakan kertas saring. Setelah selesai disaring larutan tersebut di simpan di dalam botol plastik. Kemampuan penyisihan warna dilakukan dengan cara spektrofometri pada larutan zat warna sebelum dan sesudah pengolahan dengan *bottom ash*.

2.2.5 Karakterisasi permukaan *bottom ash*

Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL JSM-6360LA dilakukan untuk melihat kondisi permukaan *bottom ash* yang diaktivasi secara kimia, fisika dan yang tidak diaktivasi.

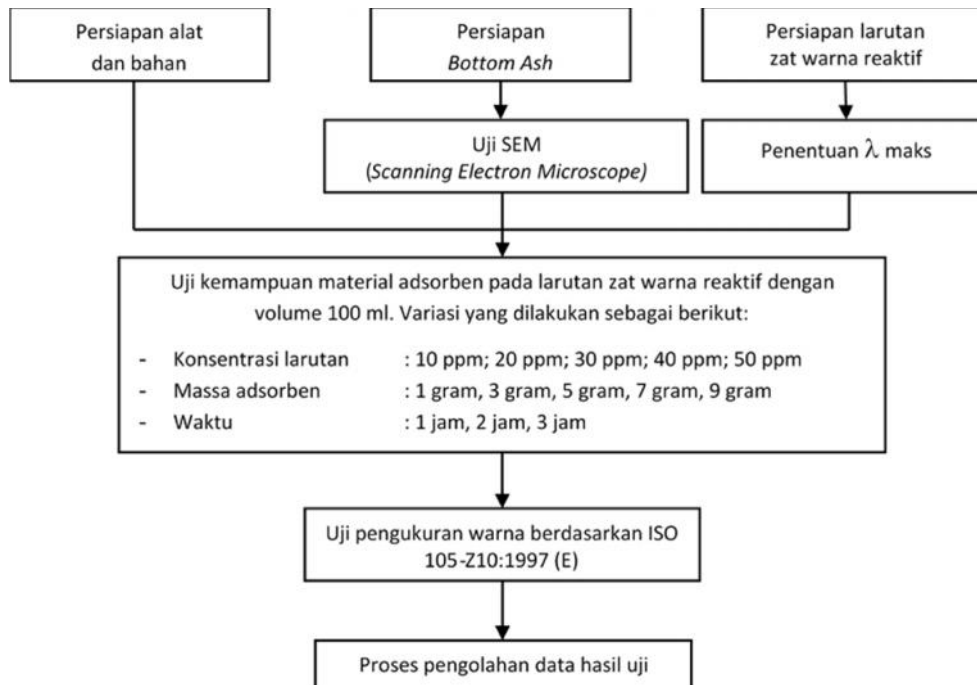
2.2.6 Penelitian Utama

Dari hasil penelitian pendahuluan kemudian dilakukan penelitian utama mengenai proses pengolahan larutan zat warna tekstil dengan memanfaatkan *bottom ash* sebagai material adsorben dengan metoda *batch*

Tabel 2.2 Kondisi penelitian utama

| Kondisi | Variasi percobaan |
|-------------------|-------------------|
| <i>Bottom ash</i> | Tanpa aktivasi |

| | |
|-----------------------|--|
| Massa adsorben | 1 gram, 3 gram, 5 gram, 7 gram, 9 gram |
| Konsentrasi zat warna | 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm |
| Waktu proses | 1 jam, 2 jam, 3 jam |
| Metoda | <i>Batch</i> |



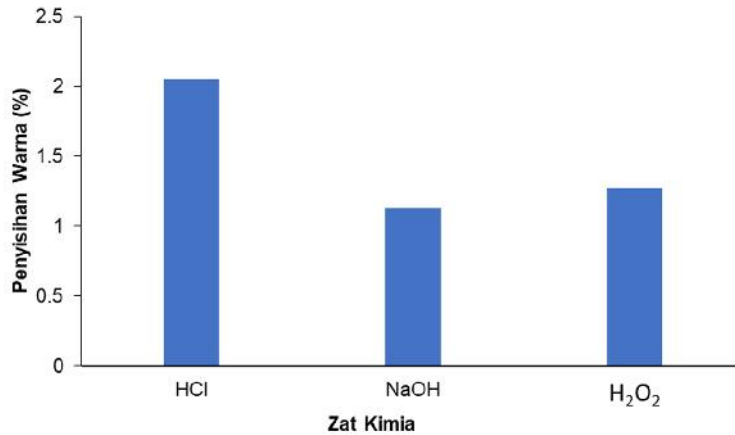
Gambar 2.2 Diagram alir proses penelitian utama

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Aktivasi Cara Kimia

Pada penelitian ini dilakukan aktivasi secara kimia dengan melakukan perendaman *bottom ash* dalam tiga jenis larutan kimia yang berbeda yaitu HCl, NaOH dan H₂O₂ masing-masing

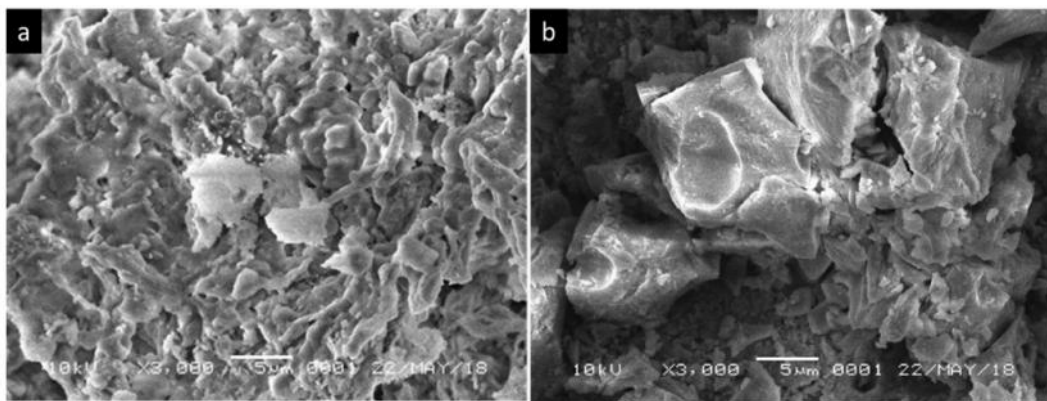
dengan konsentrasi 2 M. *Bottom ash* hasil aktivasi secara kimia ini kemudian diuji kemampuan penyisihan warnanya. Hasil pengujian penyisihan warna zat warna reaktif oleh *bottom ash* hasil aktivasi kimia dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Penyisihan warna menggunakan bottom ash yang diaktivasi cara kimia

Pada Gambar 3.1 terlihat bahwa penggunaan zat kimia untuk mengaktivasi *bottom ash* menghasilkan persen penyisihan warna yang rendah yaitu sekitar 1-2%. Aktivasi menggunakan NaOH dan H₂O₂ hanya mampu menyisihkan warna sebesar ± 1-1,5% saja. Penggunaan HCl mampu menyisihkan warna sebesar ± 2%. Oleh

karena itu, aktivasi cara kimia ini tidak efektif untuk digunakan sebagai material adsorben dalam menyisihkan warna pada larutan zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B). Efisiensi tertinggi diperoleh dari penggunaan *bottom ash* yang diaktivasi menggunakan HCl yaitu 2,05%.



Gambar 3.2 Hasil uji SEM bottom ash yang diaktivasi menggunakan HCl: (a) sebelum direndam dan (b) setelah direndam dalam HCl

Pada penelitian ini, Uji SEM hanya dilakukan pada hasil penyisihan yang paling tinggi dari ketiga metoda aktivasi.

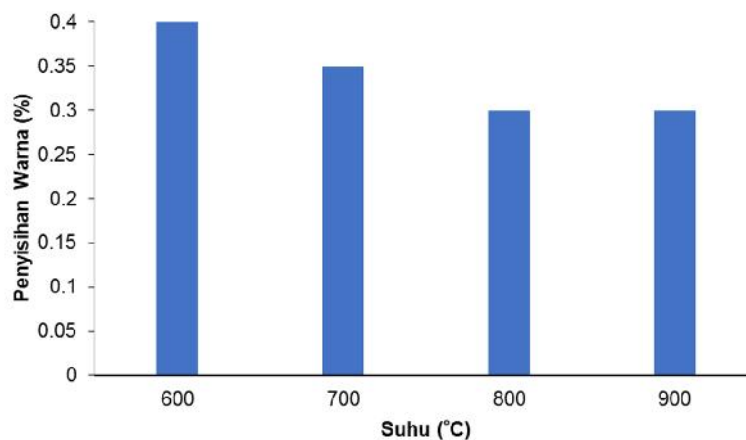
Gambar 3.1 menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan HCl menghasilkan penyisihan tertinggi,

yaitu sebesar 2 %. Hasil uji SEM *bottom ash* yang sebelum dan sesudah direndam dalam HCl dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada Gambar 3.2b hanya terlihat ada material yang ukurannya lebih besar dibanding pada Gambar 3.2a sehingga perlu pengujian lebih lanjut untuk menganalisisnya lebih dalam.

3.2 Aktivasi Cara Fisika

Hasil penyisihan warna oleh *bottom ash* yang diaktivasi secara fisika dapat dilihat pada Gambar 3.3. Dari Gambar 3.3 terlihat bahwa penyisihan warna oleh *bottom ash* yang diaktivasi secara fisika dengan suhu 600 – 900°C sangat

rendah yaitu sekitar 0,3% – 0,4%. Dari grafik pada Gambar 3.3, terlihat juga bahwa semakin tinggi suhu dari 600°C sampai 800°C semakin rendah persentase penyisihan warnanya. Meskipun suhu proses aktivasi secara fisika dilakukan pada 900°C, nilai efisiensi penyisihan warna tertinggi hanya mampu mencapai 0,4%. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi secara fisika dengan memanaskan *bottom ash* pada suhu tinggi ini tidak efektif untuk digunakan sebagai material adsorben dalam menyisihkan warna pada larutan zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B).



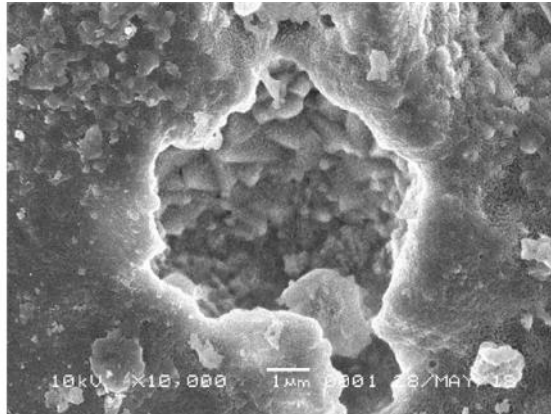
Gambar 3.3 Penyisihan warna menggunakan *bottom ash* yang diaktivasi secara fisika

Hasil pengujian SEM *bottom ash* setelah dipanaskan pada suhu 900°C dan setelah mengadsorpsi zat warna disajikan pada Gambar 3.4. Dari Gambar 3.4 terlihat bahwa permukaan

bottom ash menjadi tidak terlalu *porous* dibandingkan dengan *bottom ash* tanpa diaktivasi (lihat Gambar 3.2a) sehingga kemampuan menyerap zat warna menjadi lebih rendah. Perubahan

tersebut diduga karena pada penelitian ini proses pemanasannya dikerjakan pada tanur yang tidak dihembuskan

dengan gas nitrogen sehingga pembentukan arang kurang maksimal.

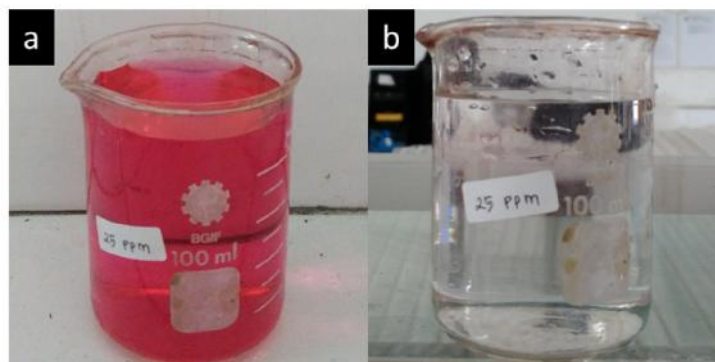


Gambar 3.4 Hasil Uji SEM bottom ash setelah ditanur pada suhu 900°C

3.3 *Bottom ash* Tanpa Aktivasi

Contoh uji *Bottom ash* yang digunakan pada penelitian ini langsung digunakan tanpa ada perlakuan apapun (tidak dicuci dan langsung dimasukkan ke dalam limbah aritifisial kemudian diaduk) dan hasilnya berbeda dibandingkan dengan *bottom ash* yang diaktivasi secara kimia dan fisika,

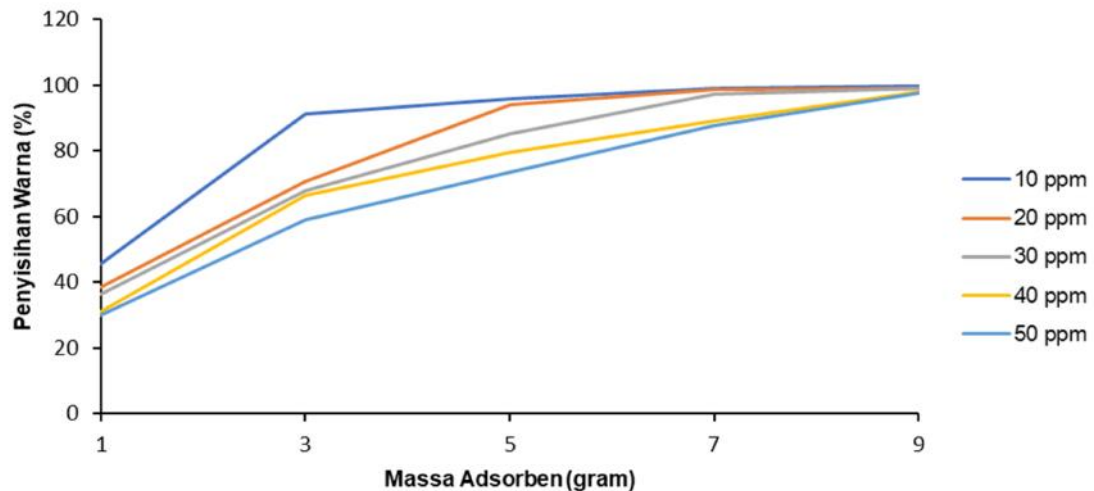
material ini dapat menyisihkan warna pada larutan zat warna reaktif dengan konsentrasi 25 ppm pada waktu hanya 1 jam saja. Penyisihan warna yang terjadi sebesar $\pm 90\%$ dan secara visual warna larutan zat warna telah berubah menjadi bening seperti dapat dilihat pada Gambar 3.5.



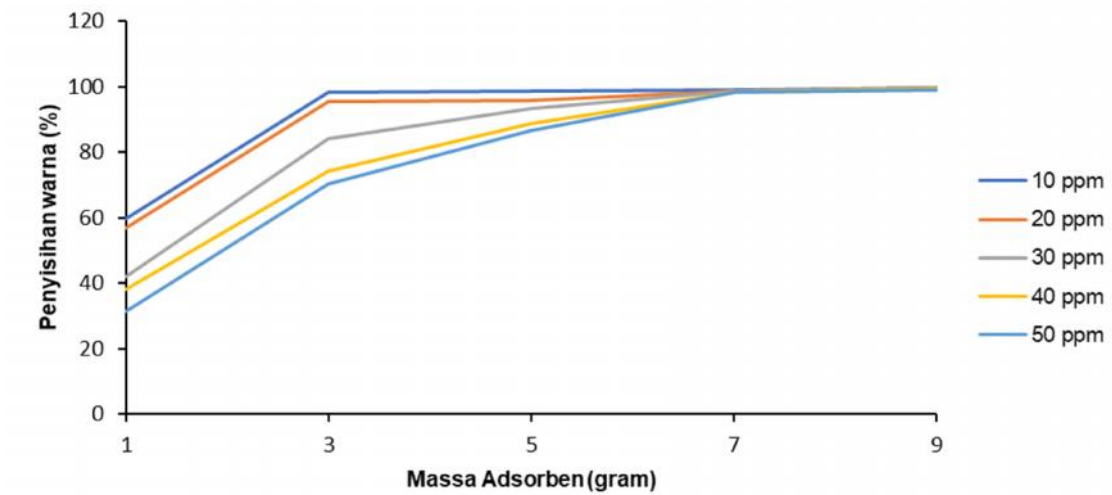
Gambar 3.5 Perubahan warna larutan zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B) dengan konsentrasi 25 ppm: (a) sebelum dan (b) sesudah proses adsorpsi menggunakan bottom ash tanpa diaktivasi

Berdasarkan percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa *bottom ash* yang tanpa diaktivasi dengan cara fisika ataupun kimia memiliki potensi yang baik dalam menyisihkan warna pada larutan zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B). Berdasarkan hal ini, maka dilakukan penelitian lanjutan dengan

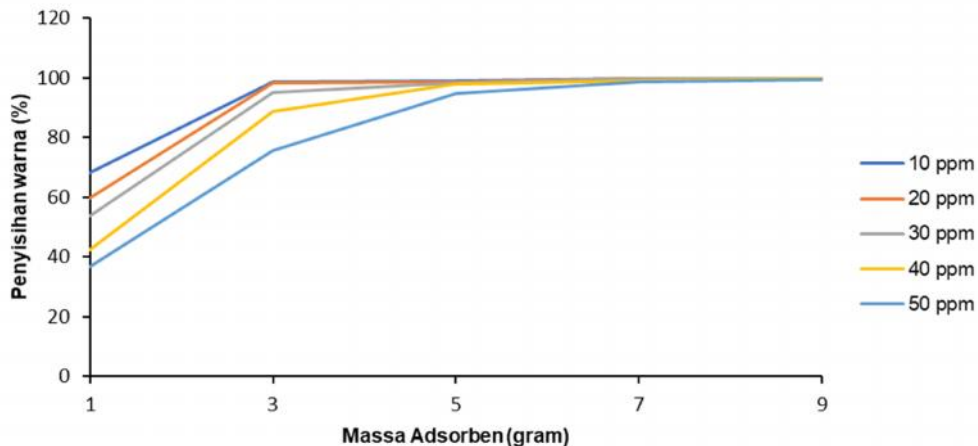
menggunakan *bottom ash* tanpa diproses apapun. Grafik persentase penyisihan warna pada variasi waktu 1, 2 dan 3 jam pada berbagai variasi massa adsorben dan konsentrasi zat warna reaktif ditampilkan pada Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8.



Gambar 3.6 Grafik persentase penyisihan warna pada waktu 1 jam pada berbagai variasi berat dan konsentrasi zat warna reaktif



Gambar 3.7 Grafik persentase penyisihan warna pada waktu 2 jam pada berbagai variasi berat dan konsentrasi zat warna reaktif



Gambar 3.8 Grafik persentase penyisihan warna pada waktu 3 jam pada berbagai variasi berat dan konsentrasi zat warna reaktif

Dari ketiga gambar di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi berat adsorben, maka semakin tinggi persentase penyisihan warnanya. Semakin tinggi nilai konsentrasi zat warna maka massa adsorben yang dibutuhkan semakin tinggi dan waktu proses semakin lama. Efisiensi terendah sekitar 30% pada konsentrasi zat warna 50 ppm, massa adsorben 1 gram dan waktu 1 jam.

Efisiensi terbesar diperoleh dari pengolahan limbah menggunakan *bottom ash* 9 gram, konsentrasi zat warna reaktif 10 ppm, dan waktu 2 dan 3 jam. Berdasarkan hal tersebut, pada waktu 2 jam dan 3 jam perbedaan nilai penyisihannya tidak terlalu signifikan. Selain itu, pada massa adsorben 7 gram dan 9 gram nilai penyisihan warnanya juga cenderung tidak ada







perbedaan sehingga massa adsorben 7 gram (waktu 2-3 jam) telah mampu menyerap zat warna reaktif dengan sangat baik. Kemampuan *bottom ash* Tabel 3.1. Tabel ini memperlihatkan penyisihan warna oleh *bottom ash* tanpa diaktivasi pada berbagai variasi massa adsorben dan waktu proses.










Melihat tingginya angka efisiensi penyisihan warna yang dihasilkan oleh adsorben *bottom ash* tanpa diaktivasi (>90%), maka limbah batu bara ini dapat dimanfaatkan sebagai alternatif

tanpa diaktivasi untuk menyerap zat warna reaktif Novacron Ruby S-3B (50 ppm) dalam air dapat dilihat pada

dalam pemecahan masalah di bidang lingkungan untuk mengolah limbah zat warna, selain itu dapat memberikan nilai tambah pada limbah batu bara tersebut (*bottom ash*). Untuk pemanfaatan limbah batu bara, bahan baku pengolahan limbah zat warna tekstil dapat didapatkan dengan mudah dan murah dari limbah batu bara hasil pembakaran *boiler*.

Tabel 3.1 Larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm

| Massa Waktu | 1 jam | 2 jam | 3 jam |
|----------------|---|--|---|
| 1 gram |  |  |  |
| 3 gram |  |  |  |

| | | | |
|--------|--|---|--|
| 5 gram |  |  |  |
| 7 gram |  |  |  |
| 9 gram |  |  |  |

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan limbah batu bara (*bottom ash*) dapat disimpulkan bahwa massa adsorben, waktu proses, konsentrasi zat warna berpengaruh terhadap hasil penyisihan warna pada larutan zat warna reaktif (Novacron Ruby S-3B). Hasil efisiensi penyisihan yang tinggi dicapai pada kondisi *bottom ash* tanpa

aktivasi, massa adsorben 7 gram dan waktu 2-3 jam dengan efisiensi penyisihan warna hampir 100 %.

5. SARAN

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk konsentrasi zat warna yang diatas 50 ppm serta metoda aktivasi lain yang dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi *bottom ash*.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. Brik, P. Schoeberl, B. Chamam, R. Braun, and W. Fuchs, "Advanced treatment of textile wastewater towards reuse using a membrane bioreactor," *Process Biochem.*, vol. 41, no. 8, pp. 1751–1757, 2006.
2. D. A. Yaseen and M. Scholz, *Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review*, vol. 16, no. 2. Springer Berlin Heidelberg, 2019.
3. P. S. Kumar and A. Saravanan, "11 - Sustainable wastewater treatments in textile sector," in *Sustainable Fibres and Textiles*, S. S. Muthu, Ed. Woodhead Publishing, 2017, pp. 323–346.
4. R. Gobinath *et al.*, "Treatment of Textile Wastewater by Adsorption Process Combined With Anaerobic Digestion," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 10, no. 53, pp. 101–106, 2015.
5. H. Haryadi and M. Suciyantri, "Analisis Perkiraan Kebutuhan Batubara Untuk Industri Domestik Tahun 2020-2035 Dalam Mendukung Kebijakan Domestic Market Obligation Dan Kebijakan Energi Nasional," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 14, no. 1, p. 59, 2018, doi: 10.30556/jtmb.vol14.no1.2018.192.
6. S. P. R. Wardani, "Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) Untuk Stabilitas Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan," 2008.
7. G. Medina Permatasari, B. Zaman, and S. Sumiyati, "Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Massa Adsorben Terhadap Efektivitas Penurunan Zat Warna dan Logam Berat (Cu & Ni) Limbah Tekstil Dengan Menggunakan *Bottom ash* (Abu Endapan)," Universitas Diponegoro, 2012.
8. D. Ariska, M. Hadiwidodo, and I. W. Wardhana, "Pemanfaatan Residu Bahan Bakar Batu Bara (*Bottom ash*) Sebagai Adsorben Zat Warna Reaktif dan Logam Berat (Cu dan Ni) dari Limbah Cair Tekstil dengan Reaktor Sistem Kontinyu (Studi Kasus: Limbah Cair PT. APAC Inti Corpora)," Universitas Diponegoro, 2012.
9. J. Pitulima, "Studi Daya Serap Karbon Aktif Batubara terhadap penurunan Kadar Logam Cu dalam Larutan CuSO_4 ," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 2018.