

Utilization of Coal Bottom Ash a Low-Cost Adsorbent for the Removal Acid Red 114 Dye

Kuntari^{a*}, Nurul Hidayat Aprilita^b dan Suherman^b

^aChemical Analysis Program, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Islamic University of Indonesia, Yogyakarta, Indonesia, 55584

^bDepartment of Chemistry Program, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia, 55281

*e-mail:chemist.tari@gmail.com

ABSTRACT

A research about adsorption of acid red 114 using coal bottom ash has been conducted. This research was aimed to examine the ability of coal bottom ash in acid red 114 adsorption. Some adsorption parameters i.e. dosage adsorbent, contact time and pH medium were examined in the adsorption processes. The characterization of coal bottom ash was determined using X-Ray Diffraction. Acid red 114 concentration is measured by using UV-Visible spectrophotometer. The adsorption percentage of acid red 114 on the coal bottom ash is 91.2% at pH 1.5; contact time 80 min, acid red 114 concentration 10 mg/L for every 1.5 g bottom ash.

Keywords : coal bottom ash, acid red 114 and adsorption

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang adsorpsi *acid red 114* menggunakan abu dasar batubara. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kemampuan abu dasar batubara dalam mengadsorpsi *acid red 114*. Beberapa parameter adsorpsi seperti dosis adsorben, waktu kontak dan pH medium dikaji dalam proses adsorpsi. Karakterisasi abu dasar batubara dilakukan dengan menggunakan Difraksi Sinar-X. Konsentrasi *acid red 114* ditentukan secara kuantitatif dengan menggunakan spektrofotometer UV-sinar tampak. Hasil adsorpsi terhadap larutan *acid red 114* mencapai optimum dengan persentase adsorpsi sebesar 91,2 % ketika kondisi pH 1,5; waktu kontak 80 menit, konsentrasi *acid red 114* sebesar 10 mg/L dan abu dasar batubara yang digunakan 1,5 g.

Kata-kata kunci: abu dasar batubara, *acid red 114* dan adsorpsi

Pendahuluan

Salah satu jenis limbah padat yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara adalah abu dasar batubara. Pada tahun 2019 diperkirakan limbah abu dasar batubara yang dihasilkan oleh PLTU di Indonesia mencapai 8,7 juta ton (Marsyaf,

2016). Hal tersebut tentunya menjadi masalah tersendiri ketika abu dasar batubara tidak dikelola karena akan mencemari lingkungan sekitar penimbunan.

Abu batubara berbentuk partikel halus amorf yang bersifat pozzolan, dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar

dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Sukandarrumidi, 2006). Hasil penelitian-penelitian sebelumnya menginformasikan bahwa abu dasar batubara memiliki kapasitas adsorpsi yang baik untuk menyerap ion logam berat dan zat organik. Hal tersebut didukung oleh hasil penelitian Sunarti (2008) yang menyatakan bahwa komponen mayor abu dasar adalah silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), sedangkan komponen minor berupa besi (III) oksida (Fe_2O_3), kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), natrium oksida (NaO) dan kalium oksida (K_2O). Dari data tersebut dapat diketahui bahwa abu dasar batubara berpotensi digunakan sebagai adsorben.

Aplikasi material adsorben salah satunya dalam pengolahan limbah industri tekstil. Pengolahan limbah penting dilakukan karena zat warna tekstil yang digunakan biasanya memiliki biodegradabilitas rendah dalam lingkungan aerob dan kemungkinan dapat terurai pada kondisi anaerob membentuk senyawa amina aromatik yang berpotensi menyebabkan kanker (Panswad, 2000).

Salah satu zat warna yang digunakan dalam proses pewarnaan tekstil adalah *acid red 114*. *Acid red 114* memiliki gugus azo (Gambar 1) yang labil dan mudah mengalami reaksi pemutusan

ikatan rangkap. Produk dekomposisi berupa amina aromatik yang berefek akut dan kronis pada manusia. *Acid red 114* memiliki gugus $-\text{SO}_3^-$ dan $-\text{OH}$ yang menyebabkan kelarutannya dalam air tinggi sehingga tidak mudah dilakukan proses flokulasi dan koagulasi.

Pengolahan limbah cair industri tekstil dengan metode flokulasi dan koagulasi memerlukan banyak flokulan dan koagulan untuk menghilangkan zat warna dengan konsentrasi tinggi sehingga penggunaan metode ini akan meningkatkan biaya yang dikeluarkan untuk pengolahan limbah. Oleh karena itu, metode yang dipilih dalam penelitian ini adalah metode adsorpsi, karena dinilai efektif dan ekonomis untuk mengatasi keberadaan *acid red 114* dalam limbah tekstil.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh waktu interaksi, berat adsorben dan pH medium dalam adsorpsi zat warna *acid red 114* menggunakan abu dasar batubara.

Metode Penelitian

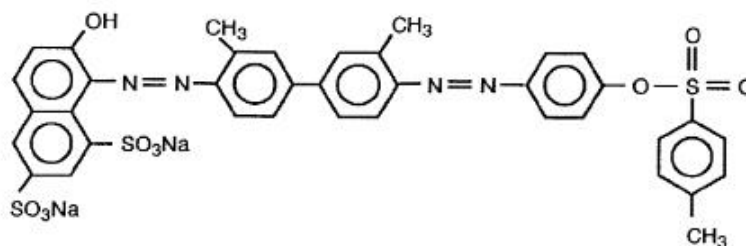
Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *acid red 114*, asam klorida, natrium hidroksida, buffer 4 dan 7, abu dasar batubara PLTU Paiton,

akuabides, akuades dari Laboratorium Kimia Dasar FMIPA UGM.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa peralatan gelas, neraca analitik merek Shimadzu, ayakan 400 mesh, lumpang, mortar, *furnace*, corong buchner, *centrifuge*, *magnetic stirrer*, kertas saring Whatman 42, desikator, pH meter, spektrofotometer UV-vis Spectronic 20D+ (pengukuran absorbansi pada panjang gelombang optimum *acid red 114*, $\lambda=500$ nm) dan difraktometer sinar-X Shimadzu XRD 6000 menggunakan radiasi Cu $K\alpha$ ($\lambda=0,154$ nm) dan *scan* dilakukan dari 2° sampai 80° dengan laju $2^\circ/\text{menit}$.



Gambar 1. Struktur *Acid Red 114*

Adsorpsi *acid red 114* pada abu dasar batubara

Parameter adsorpsi yang dipelajari meliputi variasi waktu kontak, berat adsorben dan pH medium. Waktu optimum ditentukan dengan melakukan variasi waktu kontak selama 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 dan 90 menit. Berat optimum ditentukan dengan melakukan variasi berat adsorben

Prosedur Penelitian

Preparasi dan karakterisasi abu dasar batubara

Abu dasar batubara dicuci dengan akuabides kemudian dikeringkan pada temperatur 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan air. Selanjutnya, abu dasar batubara diayak dengan ayakan 400 mesh dan diaktifkan pada temperatur 500°C selama 15 menit untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Abu dasar batubara yang dihasilkan kemudian disimpan dalam desikator sampai diperlukan dalam proses adsorpsi dan karakterisasi. Abu dasar batubara dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X untuk mengidentifikasi jenis mineral penyusunnya.

yaitu 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 dan 2,5 gram. Sementara pengaruh pH larutan dipelajari dengan melakukan variasi pH medium yaitu sebesar 1,5; 3,5; 5,5; 7,5 dan 9,5 dengan melakukan penambahan larutan HCl atau NaOH. Setelah adsorpsi, suspensi diuapkan selama 3 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan disaring dengan kertas saring Whatman 42. Filtrat diukur absorbansinya

menggunakan spektrofotometer sinar tampak pada panjang gelombang optimum larutan *acid red 114* dan persentase adsorpsi dihitung dengan persamaan (1).

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{\text{Zat Warna}_{\text{teradsorpsi}}(\text{mg})}{\text{Zat Warna}_{\text{awal}}(\text{mg})} \times 100\% \quad (1)$$

Pembahasan

Karakterisasi Abu Dasar Batubara dengan Metode Difraksi Sinar-X

Abu dasar batubara yang digunakan (Gambar 2.) dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X. Berdasarkan hasil XRD abu dasar yang ditunjukkan pada Gambar 2,

puncak-puncak difraktogram muncul pada sudut difraksi 21,0774; 24,2627; 26,2871; 35,88; 36,72; 50,3583° dan 68,4037° yang bersesuaian dengan harga *d* berturut-turut 4,2116; 3,66542; 3,3133; 2,5008; 2,4455; 1,81055 dan 1,37037 Å. Harga *d* berturut-turut 4,2116 ; 3,66542; 3,3133; dan 1,81055 Å adalah harga-harga *d* yang bersesuaian dengan mineral kuarsa (SiO₂), sedangkan puncak-puncak dengan harga *d* 2,5008; 2,4455 dan 1,37037 Å adalah harga-harga *d* yang sesuai untuk mineral mullit (Al₂O₃).



Gambar 2. Abu Dasar Batubara

Pada Gambar 3 juga terlihat puncak untuk mineral kuarsa yaitu pada sudut difraksi 26,2871° lebih tinggi jika dibandingkan puncak untuk mineral mullit pada sudut difraksi 36,72°; 50,3583° dan 68,4037°. Intensitas puncak mineral kuarsa lebih besar daripada intensitas puncak mineral mullit menunjukkan bahwa mineral kuarsa (SiO₂) merupakan komponen mayor dari abu dasar batubara.

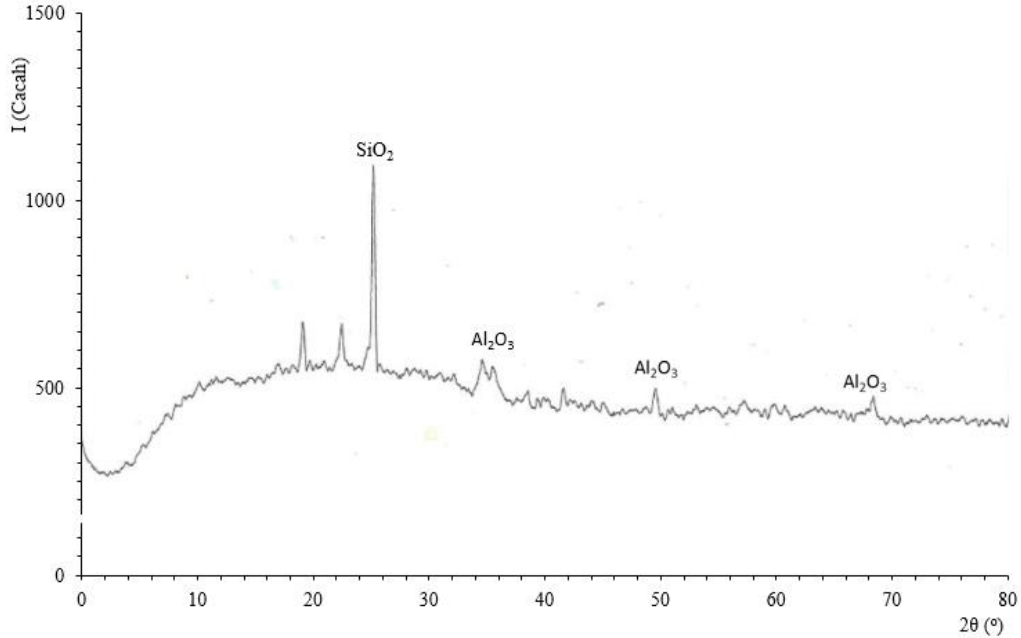
Pengaruh Waktu Kontak

Pada tahap ini larutan *acid red 114* diinteraksikan dengan sejumlah abu dasar batubara pada berbagai variasi waktu. Hasil adsorpsi pada tahap ini disajikan pada Gambar 4.

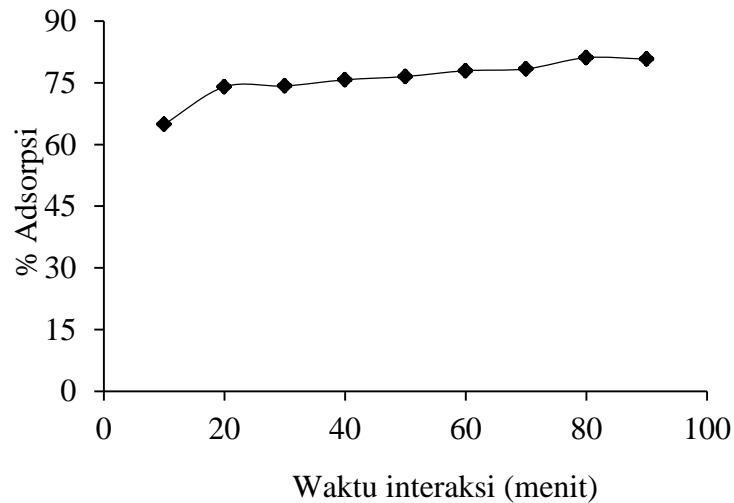
Berdasarkan Gambar 4 terlihat pada tahap awal terjadi adsorpsi yang relatif lebih cepat. Hasil tersebut dikarenakan pada tahap awal interaksi, masih terdapat banyak situs

aktif dari abu dasar batubara dan memungkinkan sebagai tempat untuk terjadinya adsorpsi sedangkan tahap setelahnya, sisa situs aktif sulit untuk ditempati adsorbat karena adanya gaya tolak-menolak antara molekul-molekul

adsorbat pada permukaan adsorben. Persen adsorpsi pada waktu interaksi 90 menit mengalami penurunan, sehingga waktu interaksi 80 menit ditetapkan sebagai waktu optimum adsorpsi.



Gambar 3. Difraktogram Sinar-X Abu Dasar Batubara

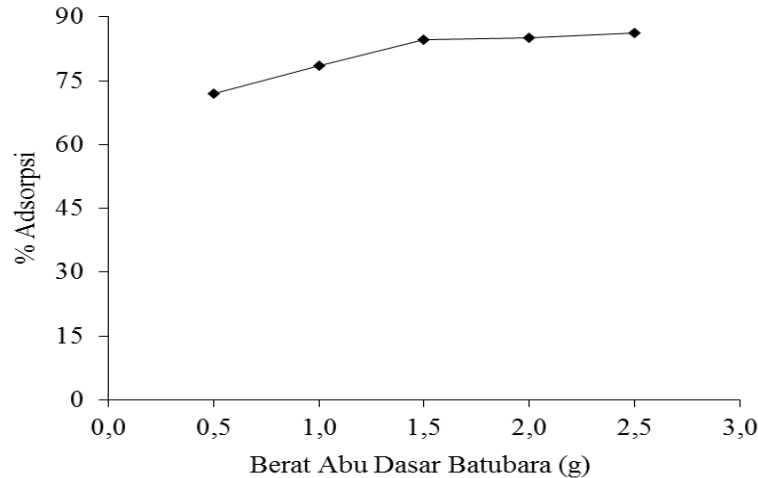


Gambar 4. Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Adsorpsi

Pengaruh Berat Adsorben

Kajian pengaruh berat abu dasar batubara pada adsorpsi *acid red 114* dilakukan dengan menginteraksikan larutan

acid red 114 dengan abu dasar batubara dengan berat yang bervariasi. Hasil penelitian pada tahap ini ditunjukkan pada Gambar 5.

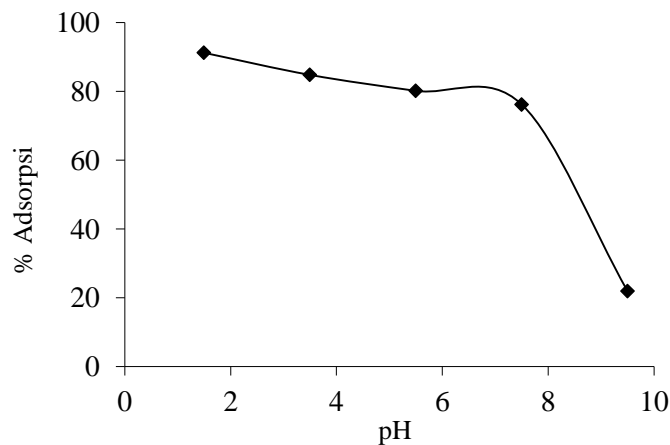


Gambar 5. Pengaruh Berat Abu Dasar Batubara terhadap Adsorpsi

Pengaruh pH

Kajian mengenai pengaruh pH pada adsorpsi abu dasar batubara terhadap *acid red 114* dilakukan dengan menginteraksikan abu dasar batubara dengan larutan *acid red*

114 yang telah divariasikan pH-nya. Hasil penelitian pengaruh pH terhadap adsorpsi *acid red 114* oleh abu dasar batubara disajikan pada Gambar 6.

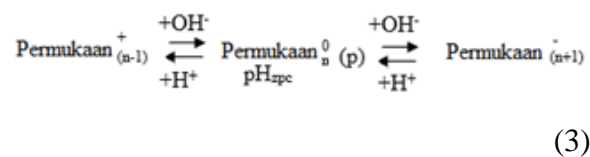


Gambar 6. Pengaruh pH terhadap Adsorpsi

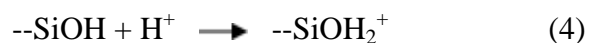
pH larutan zat warna memegang peranan penting dalam proses adsorpsi secara keseluruhan, terutama pada kapasitas adsorpsi. pH dapat berpengaruh pada muatan permukaan adsorben, disosiasi gugus fungsi pada situs aktif adsorben dan struktur zat warna dalam larutan. *acid red 114* memiliki gugus sulfonat ($\text{D-SO}_3\text{Na}$) ketika berada dalam lingkungan berair akan terdisosiasi (Persamaan 2).



Muatan permukaan adsorben secara lebih jelas dapat ditentukan dengan *zero point charge* (ZPC). Prinsip ZPC adalah mendiskripsikan kondisi ketika densitas muatan elektrik pada permukaan sama dengan nol. Permukaan abu dasar batubara akan bermuatan positif ketika pH sistem lebih rendah dari pH_{zpc} adsorben (5,8) (Ahmed, 1972); bermuatan negatif ketika pH sistem berada di atas pH_{zpc} dan tidak bermuatan ketika pH sistem sama dengan pH_{zpc} (Stumm and Morgan, 1996) seperti ditunjukkan pada Persamaan 3.



Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa hasil adsorpsi tertinggi dicapai ketika pH larutan *acid red 114* adalah 1,5 yaitu sebesar 91,20%. Ketika pH larutan meningkat, hasil adsorpsi *acid red 114* cenderung turun, bahkan pada pH larutan sebesar 9,5 adsorpsi *acid red 114* oleh abu dasar batubara hanya sebesar 21,92%. Adsorpsi tertinggi diperoleh pada pH rendah, hal ini berkaitan dengan interaksi elektrostatik antara gugus fungsi negatif $-\text{SO}_3^-$ pada *acid red 114* dengan muatan positif pada permukaan adsorben yang semakin meningkat (Persamaan 4)

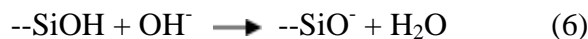


Ilustrasi interaksi *acid red 114* pada pH asam dituliskan dalam Persamaan 5:



Turunnya kapasitas adsorpsi *acid red 114* seiring dengan meningkatnya pH dapat dihubungkan dengan karakteristik muatan permukaan adsorben dan zat warna. Ketika jumlah ion hidroksi meningkat maka situs yang bermuatan positif pada permukaan abu dasar batubara berkurang sehingga gaya tolak menolak antara abu dasar batubara dengan zat warna anionik meningkat. Selain itu ion hidroksi yang meruah juga dapat berkompetisi dengan ion anionik *acid red*

114 sehingga dapat mengurangi kapasitas adsorpsi. Terlebih lagi ketika pH sistem di atas pH_{zpc} abu dasar batubara, permukaan abu dasar batubara menjadi bermuatan negatif seperti yang tertulis pada Persamaan 6.



Pada pH sistem = pH_{zpc} abu dasar batubara maka *acid red 114* dengan permukaan abu dasar batubara akan saling tolak menolak.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian adsorpsi zat warna *acid red 114* menggunakan abu dasar batubara, maka dapat diambil kesimpulan bahwa waktu interaksi, berat adsorben dan pH media optimum adsorpsi zat warna *acid red 114* menggunakan abu dasar batubara terjadi ketika waktu interaksi 80 menit, berat abu dasar sebesar 2,0 gram dan pH larutan 1,5.

Daftar Pustaka

- Adamson, A.W., 1990, *Physical Chemistry of Surface*, Fifth Edition, John Wiley and Son Inc., New York.
- Alzaydien, A.S., 2009, Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto a low-cost natural Jordanian Tripoli. *J. Am. Env. Sci.*, **5**, **3**, 197-208.
- Aziz, M., 2006, Karakterisasi abu terbang PLTU Suralaya dan evaluasinya untuk refraktori. *J. Tekmira.*, **36**, **14**, 1-8.
- Gupta V. K., 2005, Removal of dyes from wastewater using bottom ash. *J.Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**, 3655-3664.
- Gupta V. K. Gupta., 2006, Removal and recovery of the hazardous azo dye acid orange 7 through adsorption over waste materials: bottom ash and de-oiled soya. *J. Ind. Eng. Chem. Res.*, **45**, 1446-1453.
- Khan, T.A., dkk., 2009, Utilization of fly ash as low-cost adsorbent for the removal of methylene blue, malachite green and rhodamine B dyes from textile wastewater. *J. Environ Protect.*, **3**, 11-22.
- Leechart, P., Nakbanpote. W., dan Thiravetyan, P., 2009, Application of waste wood-shaving bottom ash for adsorption of azo reactive dye. *J. Environ.Manag.*, **90**, 912-920.
- Marsyaf, M. I., 2016, ESDM Dorong Pemanfaatan Limbah Batubara, *Koran Sindo*, 17 Februari, 2016
- Mukhtar S., 2003, Evaluation of bottom ash and composted manure blends as a soil amendment *Material. J. Bio.Tech.*, **89**, 217-228.
- National Toxicology Program, 1991, Toxicology and Carcinogenesis of C.I. Acid Red 114 in F344/N Rats. Departement of Health and Human Services.

- Panswad, T., Luangdilok, W., 2000, Decolorization of reactive dyes with differentmolecular structures under different environmental conditions. *J. Wat. Res*, **34**, 4177-4184.
- Speiser, C. dkk., 2000, Morphological and chemical characterization of calcium-hydrate phases, formed in alteration process of deposited municipal solid waste incinerator bottom ash. *Environ. Sci. Technol.*, **34**, 5030.
- Stumm, W. and Morgan, J.J., 1995, *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibrium and Rates in Natural Waters*, 3rd Ed. Wiley, New York. ISBN: 978-0-471-51185-4, 1040.
- Stumm, W. dan Morgan, J.J., 1981, *Aquatic Chemistry*, John Wiley and Son Inc., New York.
- Sukandarrumidi, 2006, *Batubara dan Pemanfaatannya, Pengantar Teknologi Batubara Menuju Lingkungan Bersih*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sunarti, 2008, Pembuatan Adsorben Termodifikasi dari Abu Dasar Batubara dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Logam Berat Timbal (Pb), Tesis S2 Jurusan Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta.