

# PEMANFAATAN DAUN KETAPANG SEBAGAI BIO ADSORBEN ZAT WARNA RHODAMIN B TERAKTIVASI ASAM SITRAT SECARA *MECHANOCHEMICAL*

Surya Wati Oktaviani dan Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia  
[suryawatioktaviani29@gmail.com](mailto:suryawatioktaviani29@gmail.com) ; [[a.takwanto@gmail.com](mailto:a.takwanto@gmail.com)]

## ABSTRAK

Rhodamin B merupakan salah satu zat warna dalam limbah cair hasil proses produksi industri tekstil yang dapat berbahaya bagi kesehatan dan menimbulkan pencemaran ketika dibuang ke lingkungan dengan konsentrasi tinggi. Solusi permasalahan tersebut adalah mengurangi konsentrasi Rhodamin B menggunakan metode adsorpsi dengan memanfaatkan bio adsorben salah satunya daun ketapang yang telah diaktivasi terlebih dahulu dengan cara *mechanochemical*. *Mechanochemical* merupakan proses pemanfaatan energi mekanik untuk mengaktivasi bahan dan merubah struktur bahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu aktivasi *mechanochemical* terhadap kualitas bio adsorben daun ketapang dan pengaruh waktu kontak adsorpsi terhadap daya serap bio adsorben yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan variabel tetap perbandingan bio adsorben daun ketapang dengan asam sitrat 1:5 (b/v) dan variabel berubah waktu aktivasi *mechanochemical* 30; 45; 60 menit dan waktu kontak adsorpsi 90; 120; 150; 180 menit. Analisis yang dilakukan pada pengujian bio adsorben daun ketapang adalah kadar air, daya serap iodium, dan penyerapan Rhodamin B. Hasil analisis terbaik yang diperoleh dari ketiga pengujian tersebut adalah kadar air sebesar 11%, daya serap iodium sebesar 1903,95 mg/g, dan penyerapan Rhodamin B sebesar 92,28 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa daun ketapang dapat digunakan sebagai bio adsorben zat warna Rhodamin B.

**Kata kunci:** bio adsorben, daun ketapang, rhodamin B, waktu aktivasi

## ABSTRACT

*Rhodamine B is one of the color substances in liquid waste produced by the textile industry production process that can be harmful to health and cause pollution when discharged into the environment with high concentrations. The solution to this problem is to reduce the concentration of Rhodamine B using the adsorption method by utilizing bio adsorbents, one of which is ketapang leaves that have been activated first by mechanochemical means. Mechanochemical is a process of using mechanical energy to activate and change the structure of materials. This study aims to analyze the effect of mechanochemical activation time on the quality of the bio adsorbent of ketapang leaves and the effect of adsorption contact time on the absorption of the resulting bio adsorbent. This study used quantitative methods with fixed variables ratio of ketapang leaf bio adsorbents with citric acid 1:5 (b/v) and variables change activation time mechanochemically 30; 45; 60 minutes and adsorption contact time 90; 120; 150; 180 minutes. The analysis carried out on the bio adsorbent testing of ketapang leaves is the moisture content, iodine absorption, and adsorption of Rhodamine B. The best analysis results obtained from the three tests were moisture content of 11%, iodine absorption of 1903,95 mg/g, and adsorption of Rhodamine B of 92,28%. These results indicate that ketapang leaves can be used as bio-adsorbent for Rhodamine B dye.*

**Keywords:** activation time, bio adsorbent of ketapang leaves, rhodamine B

## 1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini, industri Indonesia mengalami pertumbuhan setiap tahun salah satunya yaitu industri tekstil. Industri tekstil di Indonesia berperan penting dalam meningkatkan nilai ekonomi negara yang menjadi orientasi ekspor ke luar negeri dalam memenuhi kebutuhan pasar internasional [1]. Badan Pusat Statistik Indonesia mencatat bahwa kelompok industri tekstil mengalami pertumbuhan secara cepat dari 6,48% pada tahun 2018 menjadi 20,71% pada tahun 2019 [2]. Jumlah produksi industri tekstil mengalami kenaikan yang berakibat pada peningkatan hasil limbah cair sisa proses produksi, sehingga sektor ini menjadi salah satu penyumbang pencemaran terbesar di dunia [3]. Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tekstil salah satunya yaitu limbah zat warna. Proses pewarnaan tekstil berada dalam rentang 100–200 mg/L dimana 50% zat warna akan terserap dan untuk sisanya akan dibuang sebagai limbah atau didaur ulang [4]. Salah satu zat warna yang biasanya terdapat pada limbah cair industri tekstil adalah Rhodamin B. Rhodamin B merupakan salah satu zat warna dasar dalam industri tekstil yang mudah diperoleh dan harganya ekonomis. Pengolahan air limbah industri tekstil berwarna telah banyak dilakukan salah satunya dengan metode penyerapan seperti reverse osmosis, adsorpsi, dan koagulasi-flokulasi. Saat ini adsorpsi merupakan alternatif yang paling mudah untuk dilakukan karena dapat menggunakan bahan organik atau alam, kesederhanaan teknologi yang terlibat dan biaya operasional yang rendah [5].

Bahan alam yang dapat digunakan untuk adsorpsi yaitu daun ketapang. Daun ketapang memiliki kandungan senyawa tanin dengan berat molekul tinggi, banyak gugus hidroksil, dan gugus lainnya seperti karboksil [6]. Gugus hidroksil yang dimiliki oleh tanin pada daun ketapang inilah yang menjadi alasan digunakan sebagai adsorben alami atau bio adsorben karena sangat berpotensi sebagai penyerap [7]. Penelitian sebelumnya terkait proses adsorpsi terhadap zat warna telah dilakukan oleh Fajriah (2018) diperoleh bahwa kemampuan penyerapan adsorben daun ketapang tanpa aktivasi 17,27 mg/g dan kemampuan daun ketapang teraktivasi asam sitrat yaitu 18,52 mg/g [6]. Penelitian serupa dilakukan oleh Hasna (2021) diperoleh bahwa kemampuan daun ketapang dalam mengadsorpsi Rhodamin B ditunjukkan dengan hasil persentase efisiensi tertinggi untuk variasi massa, variasi waktu kontak, variasi konsentrasi bio adsorben daun ketapang tanpa aktivasi masing-masing yaitu sebesar 88,47%, 86,62%, dan 82,94% [7]. Sedangkan untuk bio adsorben daun ketapang teraktivasi asam fosfat memiliki efisiensi tertinggi untuk variasi massa, variasi waktu kontak, variasi konsentrasi masing-masing yaitu sebesar 92,66%, 92,60% dan 93,29%. Kedua penelitian tersebut dilakukan dengan melalui proses aktivasi berupa perendaman dengan waktu yang lama yaitu 24 jam.

Daun ketapang sebagai bahan bio adsorben dimodifikasi dengan penambahan aktivator untuk proses aktivasi yang berfungsi untuk membuka dan memperbesar pori, memperluas permukaan bio adsorben serta dapat memberikan pengaruh terhadap gugus aktif bio adsorben [7]. Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi Rhodamin B oleh bio adsorben daun ketapang dengan proses aktivasi yang cukup singkat yaitu dengan cara *mechanochemical*. *Mechanochemical* merupakan proses pemanfaatan energi mekanik untuk mengaktifkan bahan atau material serta merubah struktur bahan [8]. Hasil yang diharapkan dari aktivasi *mechanochemical* diantaranya memperoleh struktur pori seragam dan menghasilkan luas permukaan besar pada bio adsorben daun ketapang, sehingga dapat

menyerap Rhodamin B dengan maksimal. Kelebihan aktivasi secara *mechanochemical* daripada aktivasi secara konvensional adalah kapasitas adsorpsi lebih besar, jumlah zat terserap yang teradsorpsi lebih tinggi, dan waktu proses lebih singkat [9].

Berdasarkan penjelasan diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu aktivasi secara *mechanochemical* terhadap kualitas bio adsorben daun ketapang, serta menganalisis pengaruh waktu aktivasi secara *mechanochemical* dan waktu kontak adsorpsi terhadap kemampuan adsorpsi bio adsorben daun ketapang dalam menyerap Rhodamin B.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif yang dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang. Teknik pengumpulan data dilakukan dari hasil penelitian variabel yang akan digunakan berupa variabel tetap yaitu perbandingan massa bio adsorben daun ketapang dengan volume larutan asam sitrat 2 M (1:5) dan variabel berubah yaitu waktu aktivasi secara *mechanochemical* (30; 45; 60 menit) serta waktu kontak adsorpsi (90; 120; 150; 180 menit). Pengujian dan analisis data hasil penelitian menggunakan perhitungan kadar air, daya serap iodium dan persentase penyerapan Rhodamin B yang disajikan dalam bentuk grafik.

### 2.1. Pembuatan Bio adsorben Daun Ketapang

Daun ketapang kering dikumpulkan, dicuci bersih lalu dikeringkan dibawah sinar matahari  $\pm 1$  jam. Daun ketapang yang telah dikeringkan, lalu dilakukan pengecilan ukurannya terlebih dahulu kemudian diayak menggunakan ayakan  $\pm 26$  mesh (0,630 mm) hingga berbentuk serbuk. Setelah itu menuju tahap proses aktivasi. Daun ketapang sebanyak 25 g dan larutan asam sitrat 2 M sebanyak 125 mL dimasukkan ke dalam *ball mill* dan dilakukan proses aktivasi dengan variabel waktu 30, 45, dan 60 menit. Daun ketapang tanpa aktivasi digunakan sebagai pembanding. Sampel hasil aktivasi diambil, disaring, dinetralkan dan dikeringkan dengan oven pada suhu  $120^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam untuk mengurangi kadar air kemudian diletakkan dalam desikator untuk penyesuaian suhu ruang.

### 2.2. Analisis Kadar Air Bio adsorben Daun Ketapang

Sampel bio adsorben daun ketapang tanpa aktivasi dan teraktivasi asam sitrat sebanyak 1 g ditimbang dalam cawan porselen. Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam. Hasil pengovenan diletakkan dalam desikator selama 15 menit untuk penyesuaian suhu ruang lalu ditimbang dan dilakukan perhitungan kadar air sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan :

a = berat sampel sebelum dikeringkan (g)

b = berat sampel setelah dikeringkan (g)

### 2.3. Analisis Daya Serap Iodium

Sampel bio adsorben daun ketapang tanpa aktivasi dan teraktivasi asam sitrat sebanyak 0,5 g ditambah dengan 25 mL larutan Iodium 0,1 N kemudian dikocok selama 15 menit. Sampel disaring dan filtratnya diambil sebanyak 10 mL untuk dilakukan titrasi

dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,1 N hingga berubah warna menjadi kuning cerah. Setelah itu ditambah indikator amilum 1% dan tirasi kembali dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,1 N kemudian dilakukan perhitungan daya serap iodine sebagai berikut:

$$\text{Daya serap iod} = \frac{A - \frac{B \times N(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{N(\text{Iodin})} \times 126,93 \times fp}{a} \quad (2)$$

Keterangan:

- A = Volume larutan iodine (mL)  
 B = Volume  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  yang terpakai (mL)  
 fp = Faktor pengenceran  
 N ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) = Konsentrasi  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (N)  
 N (Iodin) = Konsentrasi Iodin (N)  
 BA Iod = Berat atom iodine (126,93)  
 a = berat bio adsorben daun ketapang (g)

#### 2.4. Adsorpsi Rhodamin B

Proses adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch*. Daun ketapang hasil aktivasi diayak dengan ukuran  $\pm 42$  mesh (0,355 mm) agar hasilnya seragam. Daun ketapang tanpa aktivasi dan teraktivasi asam sitrat 2 M sebanyak 300 mg dan diaplikasikan pada limbah buatan Rhodamin B sebanyak 10 ppm sebanyak 50 mL yang ada dalam *beaker glass*. Sampel diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu kontak adsorpsi 90, 120, 150, dan 180 menit kemudian disaring dengan kertas saring. Filtrat hasil penyaringan diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum Rhodamin B dengan Spektrofotometer UV-Vis.

#### 2.5. Analisis Penyerapan Rhodamin B

Pembuatan kurva standar dari larutan induk Rhodamin B sebanyak 10 ppm kemudian diencerkan dengan variasi konsentrasi 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 ppm. Pada panjang gelombang maksimum, Rhodamin B diukur nilai absorbansinya dengan Spektrofotometer UV-Vis sehingga dapat dibuat kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi menghasilkan sebuah persamaan sehingga didapatkan nilai konsentrasi Rhodamin B dari hasil adsorpsi untuk menghitung persentase penyerapannya. Perhitungan persentase penyerapan Rhodamin B sebagai berikut:

$$\% \text{ penyerapan} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

- $C_0$  = Konsentrasi awal (mg/L)  
 C = Konsentrasi akhir (mg/L)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adsorpsi adalah proses penyerapan pada permukaan zat padat terhadap zat tertentu karena adanya gaya tarik molekul atau atom tanpa meresap ke dalam [10]. Kemampuan adsorpsi pada penyerapan Rhodamin B oleh bio adsorben daun ketapang dapat dilihat dari proses aktivasinya. Pada penelitian ini, bio adsorben daun ketapang diaktivasi kimia dengan mencampurkannya dengan bahan kimia, yaitu asam sitrat. Tujuan dari aktivasi adalah untuk menghasilkan luas permukaan bio adsorben yang semakin besar serta membuka dan

memperbesar pori [11]. Proses aktivasi dilakukan secara *mechanochemical* di *ball mill*. Daun ketapang hasil aktivasi diuji kualitasnya untuk mengetahui kelayakan dalam menyerap Rhodamin B. Pengujian kadar air dan daya serap iodium pada penelitian ini menggunakan persyaratan Standar Nasional Indonesia (06-3730-1995) yang disajikan dalam bentuk tabel seperti Tabel 1.

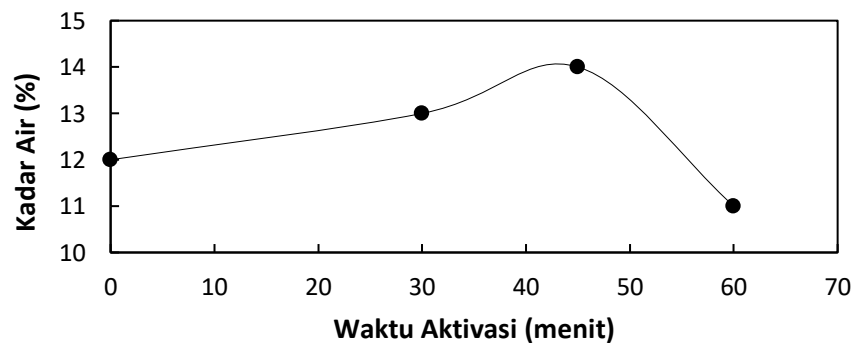
**Tabel 1.** Syarat mutu arang aktif teknis (SNI 06-3730-1995)

Parameter	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Kadar Air (%)	maks. 4,4	maks. 15
Daya Serap Iodium (mg/g)	min. 750	min. 750

[12]

### 3.1. Pengaruh Waktu Aktivasi terhadap Kadar Air

Kualitas bioadsorben daun ketapang dapat ditentukan dari kadar airnya. Pengujian terhadap kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari bio adsorben daun ketapang. Sifat higroskopis dapat berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan bio adsorben daun ketapang. Semakin tinggi kadar air yang terdapat pada bio adsorben daun ketapang akan mengakibatkan pori-pori akan semakin tertutup oleh air sehingga luas permukaan menjadi kecil dan kemampuan adsorpsinya menjadi berkurang [12,13]. Berdasarkan hasil pengujian kadar air dari sampel daun ketapang dengan variasi waktu aktivasi 30, 45, dan 60 menit disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 1.



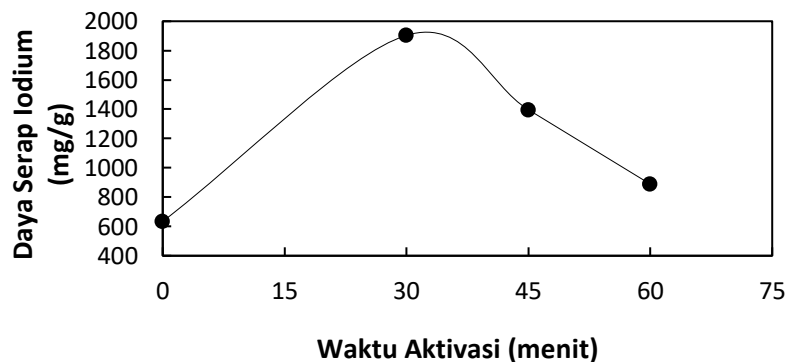
**Gambar 1.** Pengaruh waktu aktivasi terhadap kadar air (%)

Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa kadar air yang dihasilkan dari sampel bio adsorben daun ketapang dengan variasi waktu aktivasi adalah berkisar 11%–14% sehingga telah memenuhi syarat kualitas SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal sebesar 15%. Nilai kadar air semakin mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu aktivasi. Hal ini juga terjadi pada penelitian Suryani, dkk. (2018) yang menunjukkan bahwa nilai kadar air mengalami penurunan ketika semakin lama waktu aktivasi [15]. Hal ini dikarenakan keberhasilan agen aktivator kimia dalam mengikat molekul air yang terkandung dalam bahan baku serta kandungan air terikat yang terdapat dalam bahan baku terlepas [16]. Hasil analisis kadar air yang memenuhi standar SNI menunjukkan bahwa daun ketapang yang teraktivasi menghasilkan bio adsorben berkualitas baik. Pada saat kadar air memiliki nilai paling

rendah, maka nilai tersebut diambil sebagai nilai terbaik 11% dengan waktu aktivasi 60 menit.

### 3.2. Pengaruh Waktu Aktivasi terhadap Daya Serap Iodium

Kualitas bioadsorben daun ketapang dapat ditentukan dari daya serap iodiumnya. Pengujian terhadap daya serap iodium bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari bio adsorben daun ketapang. Berdasarkan hasil pengujian daya serap iodium dari sampel daun ketapang dengan variasi waktu aktivasi 30, 45, dan 60 menit disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 2.

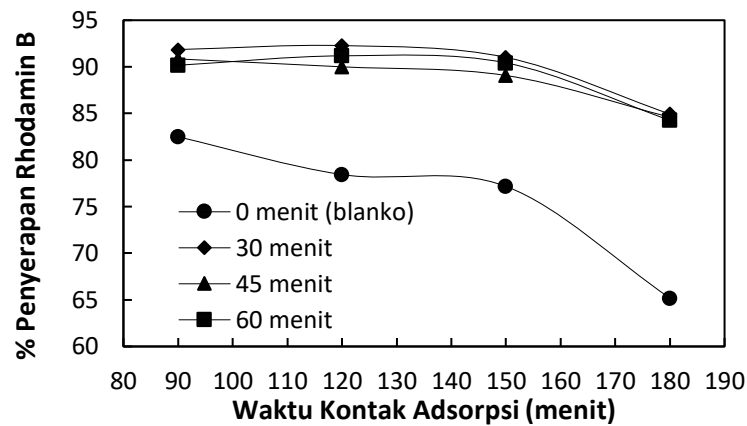


**Gambar 2.** Pengaruh waktu aktivasi terhadap daya serap iodium (mg/g)

Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa daya serap iodium yang dihasilkan dari sampel bio adsorben daun ketapang dengan variasi waktu aktivasi adalah berkisar 634,65 mg/g–1903,95 mg/g. Bio adsorben daun ketapang pada waktu aktivasi 0 menit memiliki nilai daya serap iodin 634,65 mg/g dimana nilai tersebut tidak memenuhi syarat kualitas SNI 06-3730-1995 (min.750 mg/g), sedangkan hasil dari ketiga waktu aktivasi telah memenuhi syarat kualitas SNI 06-3730-1995. Bio adsorben pada waktu aktivasi setelah 30 menit mengalami penurunan daya serap iodium. Hal ini juga terjadi pada penelitian Sahara, dkk. (2020) yang menjelaskan bahwa setelah waktu aktivasi optimum, dinding pori arang aktif mulai erosi atau rusak yang mengakibatkan luas permukaan pori kembali menurun atau mengecil sehingga penyerapan arang berkurang [13]. Hasil analisis daya serap iodium yang memenuhi standar SNI menunjukkan bahwa daun ketapang yang teraktivasi menghasilkan bio adsorben berkualitas baik. Pada saat daya serap iodium mencapai nilai maksimal, maka nilai tersebut diambil sebagai nilai terbaik 1903,95 mg/g dengan waktu aktivasi 30 menit.

### 3.3. Pengaruh Waktu Aktivasi dan Waktu Kontak Adsorpsi terhadap Persentase Penyerapan Rhodamin B

Perlakuan aktivasi dengan larutan asam dapat melarutkan pengotor pada suatu material, sehingga mulut pori menjadi lebih terbuka, akibatnya luas permukaan spesifik porinya menjadi meningkat [17]. Pada penelitian ini menggunakan aktivator larutan asam sitrat 2 M dengan variasi waktu aktivasi 30, 45, dan 60 menit dan waktu kontak adsorpsi 90, 120, 150, dan 180 menit. Berdasarkan hasil pengujian Spektrofotometer UV-Vis dari sampel bio adsorben daun ketapang dengan waktu aktivasi dan waktu kontak adsorpsi menghasilkan persentase penyerapan Rhodamin B disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Pengaruh waktu aktivasi dan waktu kontak adsorpsi terhadap persentase penyerapan Rhodamin B

Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa nilai persentase penyerapan Rhodamin B dari sampel bio adsorben daun ketapang dengan variasi waktu aktivasi dan waktu kontak adsorpsi adalah berkisar 65,19%–92,28% yang mengalami penurunan. Penurunan tersebut terjadi seiring bertambahnya waktu kontak adsorpsi. Hal ini juga terjadi pada penelitian Dwijayanti, dkk. (2020) yang menjelaskan bahwa waktu kontak yang semakin lama antara adsorbat dan adsorben akan memungkinkan terjadinya penyerapan zat warna yang meningkat, tetapi jika terlalu lama waktu kontak dapat menurunkan tingkat penyerapan karena adanya desorpsi, yaitu terlepasnya zat warna yang telah terikat oleh adsorben [18]. Selain itu, semakin lama waktu aktivasi juga menyebabkan persentase penyerapan Rhodamin B semakin menurun. Hal ini juga terjadi pada penelitian Chen, dkk. (2012) yang menjelaskan bahwa adsorpsi menurun diakibatkan oleh pemurnian partikel dan aglomerasi serbuk secara terus-menerus [9]. Aglomerasi adalah merupakan proses bergabungnya partikel-partikel kecil menjadi struktur yang lebih besar [19]. Pada saat persentase penyerapan Rhodamin B mencapai nilai maksimal, maka nilai tersebut diambil sebagai nilai terbaik 92,28%.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa kualitas bio adsorben daun ketapang dipengaruhi oleh waktu aktivasi secara *mechanochemical*, yaitu semakin lama waktu aktivasi maka kualitas bio adsorben daun ketapang yang dihasilkan semakin baik. Tetapi, kualitas bio adsorben daun ketapang pada pengujian daya serap iodium akan kurang baik jika waktu aktivasi yang terlalu lama karena melebihi waktu aktivasi optimum. Kualitas bio adsorben daun ketapang sesuai syarat mutu SNI 06-3730-1995 diperoleh hasil terbaik kadar air 11% pada waktu aktivasi 60 menit dan daya serap iodium 1903,95 mg/g serta kemampuan adsorpsi dalam menyerap Rhodamin B diperoleh hasil terbaik sebesar 92,28% pada waktu aktivasi 30 menit.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan aktivasi secara *mechanochemical* dengan bahan aktivator dan bahan baku lain dengan variabel-variabel yang sama ataupun berbeda agar mengetahui hasil terbaik dari penyerapan zat warna Rhodamin B.

## REFERENSI

- [1] I. Dianggoni, E. Saputra, dan J. A. Pinem, "Pengolahan Zat Warna Tekstil (Rhodamine B) dengan Teknologi AOP (Advance Oxidation Processes) menggunakan Katalis Ce@Carbon Sphere dan Oksidan Peroxymonosulfate," *JOM FTEKNIK*, vol. 4, no. 2, hal. 1–7, 2017.
- [2] S. W. Ahmad, N. A. Yanti, dan F. A. Albakar, "Biodegradasi Pewarna Tekstil Rhodamin B oleh Bakteri Pembentuk Biofilm," *ALCHEMY J. Penelit. Kim.*, vol. 17, no. 2, hal. 151–158, 2021, doi: 10.20961/alchemy.17.2.49010.151-158.
- [3] L. Ernawati *dkk.*, "Fotodegradasi Zat Pewarna Tekstil (Rhodamin B) Menggunakan Adsorben Berbasis Material Komposit Kalsium Titanate (CaTiO<sub>3</sub>)," *J. Tek. Kim.*, vol. 14, no. 2, hal. 32–39, 2020.
- [4] I. N. Sukarta dan N. K. S. Lusiani, "Adsorpsi Zat Warna Azo Jenis Remazol Brilliant Blue Oleh Limbah Daun Ketapang(Terminalia catappa.L.)," in *Prosiding Seminar Nasional MIPA*, 2016, hal. 311–316.
- [5] C. L. Asih, Sudarno, dan M. Hadiwidodo, "Pengaruh Ukuran Media Adsorben dan Konsentrasi Aktivator NaOH Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) dan Warna Limbah Cair Industri Galvanis Menggunakan Arang Sekam Padi," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 4, no. 1, hal. 1–9, 2015.
- [6] H. N. Fajriah, "Pemanfaatan Daun Ketapang (Terminalia Cattapa L.) Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb) Dalam Air Menggunakan Aktivator Asam Sitrat (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>)," 2018.
- [7] N. Hasna, "Pemanfaatan Daun Ketapang (Terminalia sp.) Sebagai Bioadsorben Zat Warna Sintesis Rhodamin B Teraktivasi Asam Fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)," Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya, 2021.
- [8] T. Matari, "Perlakuan Mekanokimia Kering Pada Karbon Aktif Arang Batok Untuk Media Penyimpan Hidrogen," Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [9] C.-X. Chen, B. Huang, T. Li, dan G.-F. Wu, "Preparation of Phosphoric Acid Activated Carbon From Sugarcane Bagasse by *Mechanochemical* Processing," *BioResources*, vol. 7, no. 4, hal. 5109–5116, 2012.
- [10] A. Takwanto, A. Mustain, dan H. P. Sudarminto, "Penurunan Kandungan Polutan pada Lindi dengan Metode Elektrokoagulasi-Adsorpsi Karbon Aktif," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 2, no. 1, hal. 11–16, 2018.
- [11] N. Hasna, D. Suprayogi, dan A. Hakim, "Use Of Phosphoric Acid As Bioadsorbent Activator Of Ketapang Leaves (Terminalia sp.) To Reduce Rhodamine B Contaminants," *Konversi*, vol. 10, no. 2, hal. 81–88, 2021, doi: 10.20527/k.v10i2.11072.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *Arang Aktif Teknis*. Surabaya: P.T. Lautan Luas, 1995.
- [13] E. Sahara, I. K. Y. Resyana, dan A. A. I. A. M. Laksimawti, "Optimasi Waktu Aktivasi Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gunitir Dengan Aktivator NaOH," *J. Kim. (Journal Chem.)*, vol. 14, no. 1, hal. 63–70, 2020.
- [14] F. Risfiandi, Yusnimar, dan S. Helianty, "Penentuan Daya Jerap Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Terhadap Ion Cu(II)," *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 1, hal. 1–6, 2016.
- [15] D. A. Suryani, F. Hamzah, dan V. S. Johan, "Variasi Waktu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa," *Jom Faperta Ur*, vol. 5, no. 1, hal. 1–10, 2018.
- [16] M. O. Esterlita dan N. Herlina, "Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl<sub>2</sub>, KOH, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (Arenga Pinnata)," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 1, hal. 47–52, 2015.
- [17] A. S. Irviyanti, "Modifikasi Batang Jagung Menggunakan Asam Sitrat Sebagai Biosorben



- Methylene Blue,” Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2019.
- [18] U. Dwijayanti, Gunawan, D. S. Widodo, A. Haris, L. Suyati, dan R. A. Lusiana, “Adsorpsi Methylene Blue (MB) Menggunakan Abu Layang Batubara Teraktivasi Larutan NaOH,” *Anal. Anal. Environ. Chem.*, vol. 5, no. 01, hal. 1–14, 2020.
- [19] S. D. Prasetyo, “Kajian Produksi Nano Partikel Dari Arang Bambu Dengan Peningkatan Energi Tumbukan Bola Baja Diameter 5/32 Inchi,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.