

PEMBUATAN BIO ADSORBEN DARI DAUN KETAPANG DENGAN AKTIVATOR ASAM SULFAT SECARA *MECHANOCHEMICAL* UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN RHODAMIN B PADA LIMBAH TEKSTIL

Inshirah Riski Walidah dan Anang Takwanto

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

ABSTRAK

Daun ketapang mengandung senyawa tanin yang memiliki banyak gugus hidroksil sehingga mampu digunakan sebagai bio adsorben. Salah satu cara untuk diperoleh biadsorben dengan kinerja yang baik maka perlu dilakukan proses aktivasi. Proses tersebut dapat dilakukan secara *mechanochemical*, proses ini adalah sebuah proses yang menggunakan energi mekanik untuk mengaktifkan material dan dapat merubah struktur. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh waktu *mechanochemical* (30 menit, 45 menit, dan 60 menit) terhadap daya serap bio adsorben yang dihasilkan, dan pengaruh lama proses adsorpsi (90 menit, 120 menit, dan 150 menit) terhadap daya serap bio adsorben yang dihasilkan. Variabel tetap yang digunakan ialah perbandingan massa serbuk daun ketapang dengan volume asam sulfat sebesar 1: 5 (b/v). Analisa yang dilakukan ialah uji kadar air, uji iodine dan uji konsentrasi Rhodamin B dengan menggunakan metode spektrofotometri. Hasil analisa yang diperoleh kondisi terbaik pada waktu *mechanochemical* 60 menit dengan waktu kontak adsorpsi 120 menit dengan % *removal* sebesar 91.86%, kadar air 10% dan daya serap iodine 1840,48 mg/g. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa daun ketapang dapat digunakan sebagai bio adsorbent dan mampu menyerap rhodamin B hingga 120 menit.

Kata kunci: *Bio adsorben, Daun Ketapang, Mechanochemical, Rhodamin B*

ABSTRACT

Ketapang leaves contain tannin compounds which have many hydroxyl groups so that they can be used as bio adsorbents. One way to obtain a good performance bio adsorbent is an activation process. The process can be carried out mechanochemically, it means a process that uses mechanical energy to activate the material and can change the structure. The purpose of this study was to analyze the effect of mechanochemical time (30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes) on the absorption of the resulting bio adsorbent, and the effect of the adsorption process time (90 minutes, 120 minutes, and 150 minutes) on the absorption of the resulting bio adsorbent. The fixed variable used was the ratio of the mass of ketapang leaf powder to the volume of sulfuric acid of 1: 5 (w/v). The analysis carried out was the moisture content, the iodine, and the Rhodamine B concentration test using the spectrophotometric method. The results of the analysis obtained the best conditions at a mechanochemical time of 60 minutes with an adsorption time of 120 minutes with % absorption of Rhodamin B of 91.86%, moisture content of 10%, and iodine absorption of 1840.48 mg/g. the results show that ketapang leaves can be used as bio adsorbents and can absorb rhodamine B until 120 minutes.

Keywords: *Bio adsorbent, Ketapang Leaf, Mechanochemical, Rhodamin B.*

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2019, industri tekstil mengalami pertumbuhan sebesar 15,35%, dengan pencapaian tersebut, perekonomian industri tekstil mengalami peningkatan [1]. Namun disisi lain, dengan meningkatnya industri tekstil, pencemaran lingkungan yang diakibatkan limbah zat warna semakin meningkat. Salah satu zat warna yang sering digunakan pada indutri tekstil ialah rhodamin B. Rhodamin B adalah pewarna sintetik yang berbentuk serbuk berwarna hijau. Saat ini tak jarang rhodamin B digunakan untuk pewarna makanan [2]. Hal ini maka dapat berdampak pada kesehatan manusia seperti kanker hati, keracunan, iritasi saluran pernapasan, iritasi kulit, dan iritasi saluran pernapasan. Apabila rhodamin B masuk ke lingkungan dalam skala besar dapat mengubah pH air dan fotosintesis dalam air terganggu sehingga berdampak pada ekosistem dalam air [3].

Saat ini berbagai metode telah dikembangkan untuk menanggulangi pencemaran yang diakibatkan limbah tekstil. Salah satu metode yang sering digunakan ialah adsorpsi dengan menggunakan bio adsorben. Hal ini karena sifatnya yang ramah lingkungan dan harga relatif murah [4]. Adsorpsi ialah proses penyerapan oleh adsorben terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan adsorben karena tertariknya atom atau molekul pada permukaan adsorben tanpa masuk menyeluruh [5].

Pohon ketapang banyak ditemukan di pinggir jalan sebagai penghijauan kota karena daunnya yang besar yang juga dapat memberikan keteduhan, sehingga tak heran daun ketapang ditemukan berserakan di pinggir jalan tanpa dimanfaatkan secara maksimal. Daun ketapang mengandung senyawa obat seperti flavonoid, alkaloid, triterpenoid/steroid, resin, saponin, dan tanin. Tanin sendiri merupakan senyawa yang memiliki banyak gugus hidroksil dan memiliki berat molekul yang tinggi [6]. Menurut Setiyanto, dkk. (2015) menjelaskan bahwa bahan alam organik yang memiliki gugus hidroksil dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat warna [7]. Oleh karena itu peneliti memanfaatkan daun ketapang untuk digunakan sebagai bio adsorben zat warna rhodamin B. Untuk menghasilkan bio adsorben dengan kinerja yang baik, maka perlu dilakukan proses aktivasi. Proses tersebut berfungsi untuk mengaktifkan pori dan sisi adsorben [8].

Kemampuan daun ketapang sebagai bio adsorben zat warna telah dilakukan oleh Hasna (2021) yang menyatakan bahwa bio adsorben dari daun ketapang tanpa aktivasi mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi zat warna Rhodamin B dengan persentase efisiensi tertinggi 88,47% untuk variasi massa, 86,62% untuk variasi waktu kontak, dan 82,94% untuk variasi konsentrasi. Sedangkan untuk bio adsorben daun ketapang teraktivasi memiliki efisiensi tertinggi 92,66% untuk variasi massa, 92,60% untuk variasi waktu kontak, dan 93,29% untuk variasi konsentrasi [4]. Dalam proses pembuatannya dilakukan proses aktivasi kimia dengan teknik perendaman menggunakan zat aktivator berupa asam fosfat selama 24 jam, sehingga proses tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu pada penelitian ini proses tersebut dilakukan secara *mechanochemical*. Proses ini adalah sebuah proses yang menggunakan energi mekanik untuk mengaktifkan material dan dapat merubah struktur. Energi tersebut berasal dari *mechanical milling* atau dari tumbukan antar bola dengan material [9]. Diharapkan dengan dilakukan aktivasi secara *mechanochemical* diperoleh bio adsorben dengan waktu yang lebih singkat dan memiliki daya serap yang baik terhadap rhodamin B. selain itu proses ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan secara

konvensional yaitu waktu proses lebih singkat, kapasitas adsorpsi yang dihasilkan lebih besar, dan volume teradsorpsi lebih banyak [10]. Berdasarkan uraian diatas dilakukan penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh waktu *mechanochemical* dan waktu tinggal adsorpsi terhadap penyerapan rhodamin B.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan ekperimental kuantitatif yaitu dengan melakukan praktikum skala laboratium di Laboratorium Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang. Tujuan penelitian untuk menganalisa pengaruh waktu *mechanochemical* (30 menit, 45 menit, dan 60 menit) terhadap daya serap bio adsorben yang dihasilkan, dan pengaruh lama proses adsorpsi (90 menit, 120 menit, dan 150 menit) terhadap daya serap bio adsorben yang dihasilkan. Variabel tetap yang digunakan ialah perbandingan massa serbuk daun ketapang dengan volume asam sulfat 0,3 M sebesar 1: 5 (b/v). Untuk mengetahui kemampuan bio adsorben dalam menyerap Rhodamin B dilakukan penentuan konsentrasi Rhodamin B dengan menggunakan metode spektrofotometri. Adapun tahapan pada penelitian ini sebagai berikut:

2.1. Persiapan bahan baku

Daun ketapang kering dicuci dengan cara dialiri air bersih. Selanjutnya dikeringkan dibawah terik matahari \pm 1 jam. Selanjutnya daun ketapang dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C selama 2 jam untuk mengurangi kadar airnya. Daun yang telah kering dihaluskan dengan menggunakan blender. Serbuk daun ketapang yang telah dihasilkan diayak dengan menggunakan ayakan 16 mesh (setara 1 mm).

2.2. Aktivasi Secara *Mechanochemical*

Pada proses aktivasi secara *mechanochemical*, pastikan *ball mill* siap digunakan. Silinder diisi dengan serbuk daun ketapang sebanyak 25 g dan asam sulfat 0,3 M sebanyak 125 mL. Selanjutnya bola baja dimasukkan ke dalam silinder dan tutup silinder hingga rapat serta ditaruh pada tempat putarannya. Kemudian kabel listrik motor penggerak dihubungkan pada stop kontak dan *ballmill grinder* dinyalakan. Digunakan kecepatan *ball mill* secara konstan dan ditunggu hingga waktu berakhir sesuai variabel yang telah ditentukan (30 menit, 45 menit, dan 60 menit). *Ball mill grinder* dimatikan dan bahan dikeluarkan dari silinder. Selanjutnya bahan disaring dan dilbilas dengan menggunakan aquadest hingga pH netral. Substrat yang dihasilkan lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 2 jam kemudian diletakkan dalam desikator untuk penyesuaian suhu ruang. Setelah alat selesai digunakan, kabel listrik motor penggerak *ball mill* dicabut dari stop kontak dan alat disimpan di tempat yang aman.

2.3 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch*. Proses adsorpsi dimulai dengan menyiapkan larutan artifisial Rhodamin B dengan konsentrasi 10 ppm. Sebanyak 50 mL Rhodamin B dimasukkan kedalam *beaker glass*. Ditimbang 300 mg bio adsorben dan dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi larutan rhodamin B. Selanjutnya dilakukan Pengadukan sesuai variabel yang telah ditentukan. Kemudian larutan tersebut di saring dengan menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh diuji konsentrasi Rhodamin B dengan menggunakan spetrofotometer UV-VIS.

2.4 Proses Analisa Produk

2.4.1 Kadar Air

Penentuan kadar air mengacu pada peneliti [4]. Dari analisa tersebut kadar air dapat dihitung dengan rumus 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)

2.4.2 Penentuan Konsentrasi Rhodamin B

Larutan rhodamin B diencerkan menjadi 1,2,3,4,5,6,7,8, dan 9 ppm. Setiap konsentrasi diukur adsorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Adapun panjang gelombang maksimum rhodamin B ialah 554 nm [11]. Dari nilai adsorbansi yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi dengan memplotkan sumbu X (konsentrasi) dan sumbu y (adsorbansi). Setelah diperoleh kurva kalibrasi diukur nilai adsorbansinya pada setiap sampel pada panjang gelombang maksimum. Konsentrasi rhodamin B dapat dihitung dari persamaan regresi linier.

2.4.3 Bilangan iodin

0.5 g bio adsorben ditambahkan ke dalam 25 mL larutan iodin 0,1 N. Selanjutnya dikocok selama 15 menit. Sampel disaring dan diambil filtratnya sebanyak 10 mL untuk dititrasikan dengan triosulfat 0,1 N hingga terbentuk warna kuning cerah. Selanjutnya ditambahkan indikator amilum 1% sebanyak 3 - 4 tetes dan dititrasikan kembali dengan menggunakan natrium triosulfat 0,1 N. Bilangan iodin dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Iod yang terserap (mg/g)} = \frac{(A - \frac{B \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{N \text{ iodin}}) \times 126,9 \times fp}{w} \quad (2)$$

Keterangan :

A = volume larutan iodin (mL)

B = volume Na₂S₂O₃ yang terpakai (mL)

FP = faktor pengenceran (g)

w = berat bio adsorben

N Na₂S₂O₃ = konsentrasi Na₂S₂O₃ (N)

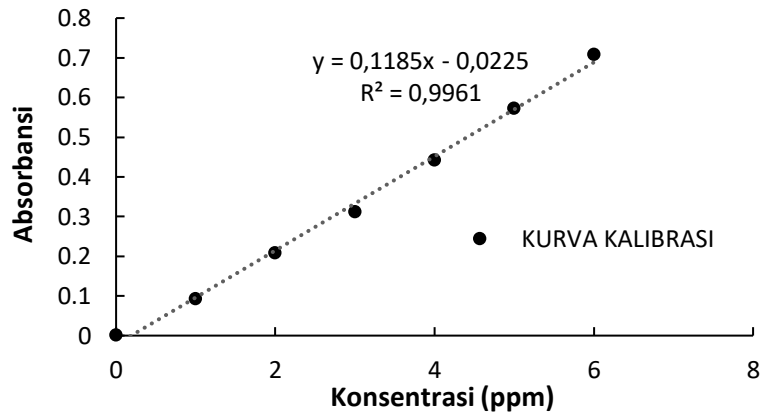
N iodin = konsentrasi iodin (N)

126,9 = jumlah iodin sesuai 1 mL larutan Na₂S₂O₃

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kurva kalibrasi

Panjang gelombang maksimum rhodamin B yang digunakan pada penelitian ini ialah 554 nm. Untuk memperoleh kurva kalibrasi maka dilakukan pengukuran nilai adsorbansi pada konsentrasi 1,2,3,4,5, dan 6 sehingga diperoleh kurva kalibrasi sebagai berikut:

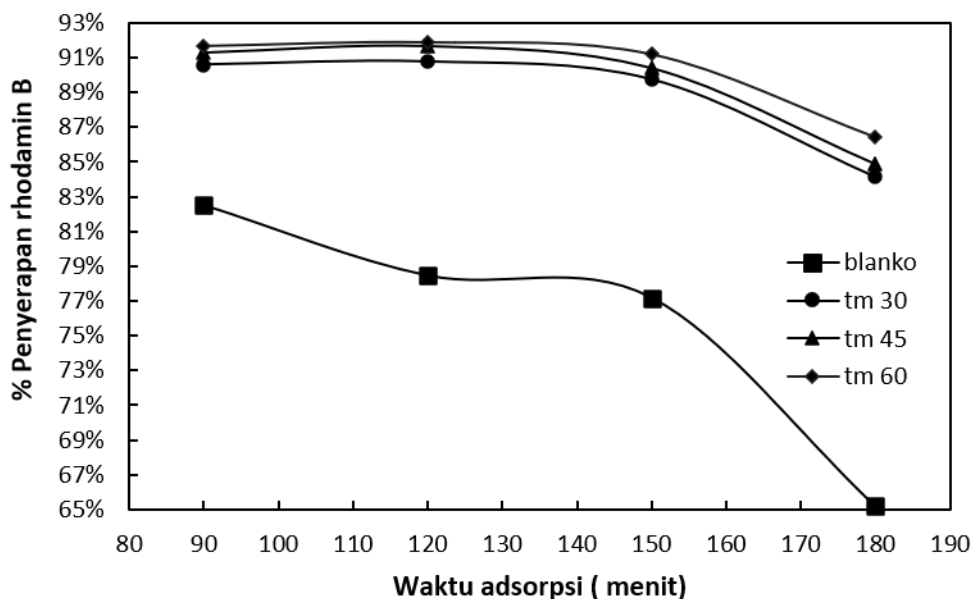


Gambar 1. Kurva kalibrasi Rhodamin B

Pada gambar 1 menunjukkan hubungan linier antara nilai adsorbansi dan konsentrasi. Diperoleh persamaan regresi linier ialah $y = 0,1185x - 0,0225$ dengan nilai koefisien sebesar 0,9961. Persamaan tersebut nantinya dipakai untuk menentukan konsentrasi rhodamin B setelah proses adsorpsi.

3.2. Pengaruh waktu *mechanochemical* dan waktu tinggal adsorpsi terhadap % penyerapan rhodamin B

Mekanisme yang terjadi pada proses *mechanochemical* ialah terjadinya gaya tumbukan yang kuat. Gaya tersebut dihasilkan dari bertumbuhannya antara bola-bola baja dengan daun ketapang sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan kisi didalam partikel. Sehingga mengurangi energi aktivasi difusi namun dapat mempercepat proses aktivasi dengan asam sulfat ke dalam permukaan daun ketapang. Sehingga dapat memperluas permukaan bio adsorben, dengan luasnya permukaan bio adsorben maka daya serap bio adsorben akan meningkat [10]. Berdasarkan hasil eksperimen menunjukkan Pengaruh waktu kontak adsorpsi dan *mechanochemical* terhadap % penyerapan rhodamin B yang digambarkan pada gambar 2.



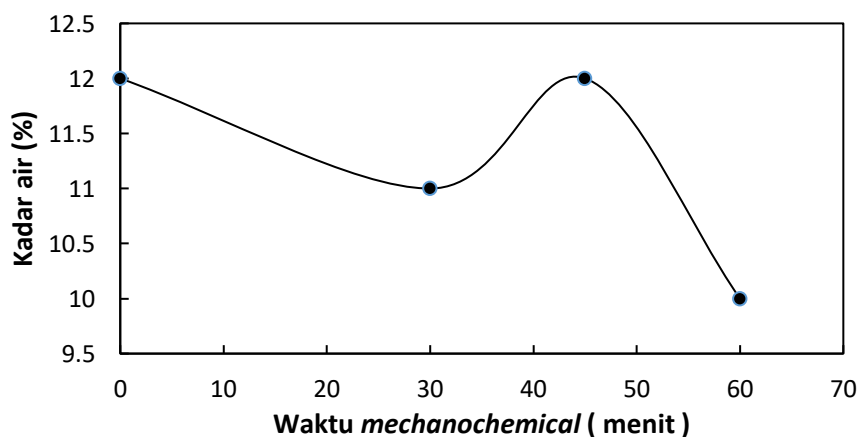
Gambar 2. Hubungan waktu kontak adsorpsi dan *mechanochemical* terhadap % penyerapan rhodamin B

Gambar 2 menunjukkan bio adsorben tanpa aktivasi, memiliki perbedaan yang signifikan bila dibandingkan dengan bio adsorben teraktivasi secara *mechanochemical*. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya perlakuan aktivasi mempengaruhi penyerapan rhodamin B. Hal ini dikarenakan permukaan pori-pori pada bio adsorben masih tertutup dan sedikitnya situs aktif pada bio adsorben sehingga kemampuan bio adsorben menyerap rhodamin B kurang maksimal [12]. Lama waktu *mechanochemical* mempengaruhi % penyerapan rhodamin B. % penyerapan rhodamin B mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu *mechanochemical*. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu *mechanochemical* menyebabkan ukuran partikel semakin kecil, sehingga akan menghasilkan luas permukaan yang besar, dengan demikian memudahkan rhodamin B bertinteraksi dan terserap oleh bio adsorben [9]. Hasil ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen, dkk. (2012) yang menjelaskan bahwa semakin lama waktu *mechanochemical* maka kemampuan bio adsorben dalam menyerap *methylen blue* mengalami kenaikan namun akan mengalami penurunan apabila melebihi waktu optimum [10].

Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi pengadukan 90, 120, 150, dan 180 menit. Bio adsorben yang digunakan sebanyak 300 mg dengan volume limbah artifisial sebanyak 50 mL. Berdasarkan proses adsorpsi diperoleh pada menit 90 dan 120 terjadi peningkatan. Peningkatan ini terjadi karena bio adsorben memiliki kesempatan yang besar untuk berinteraksi dengan rhodamin B. Hal ini menyebabkan semakin banyak rhodamin B yang terikat pada pori-pori bio adsorben, namun pada waktu kontak adsorpsi 150 menit dan 180 menit terjadi penurunan, hal ini di akibatkan oleh situs aktif pada bio adsorben sudah jenuh sehingga tidak mampu lagi untuk menyerap zat rhodamin B [3] [13]. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh waktu kontak adsorpsi terhadap % penyerapan rhodamin B ialah semakin lama waktu kontak maka % penyerapan rhodamin B mengalami peningkatan, namun akan mengalami penurunan apabila bio adsorben sudah jenuh.

3.3 Penentuan kadar air

Berikut merupakan hasil pengujian kadar air bio adsorben terhadap waktu aktivasi *mechanochemical*:



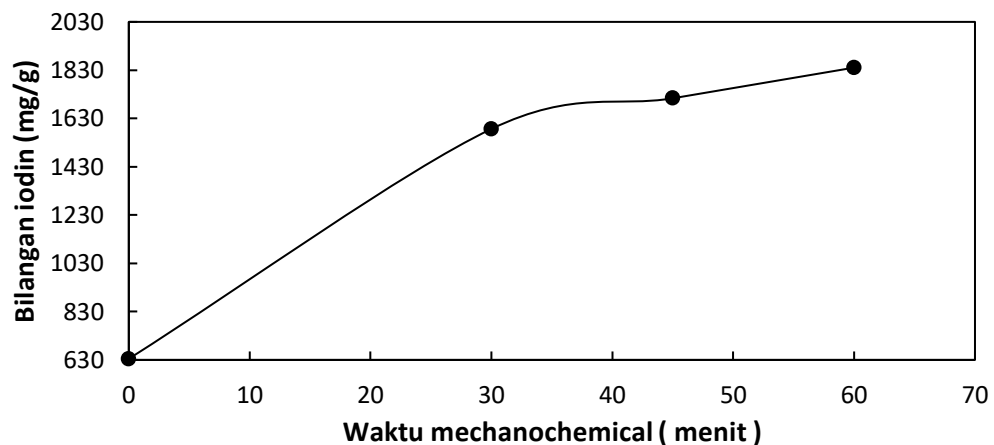
Gambar 3. Pengaruh waktu *mechanochemical* terhadap kadar air

Gambar 3 menunjukkan kadar air bio adsorben yang dihasilkan mengalami fluktuasi terhadap waktu aktivasi *mechanochemical*. Hal ini dikarenakan oleh sifat higroskopis dari bio adsorben, jumlah uap air dalam udara dan penetralan yang terkandung oleh bio

adsorben [14]. berdasarkan SNI 06-3730-1995 Standar kadar air sebesar $\leq 15\%$ Apabila hasil kadar air yang diperoleh dibandingkan dengan SNI maka bio adsorben yang dihasilkan telah memenuhi SNI.

3.4 Penentuan bilangan iodin

Kualitas bio adsorben yang dihasilkan diuji dengan kemampuan menyerap bilangan iodin. Berikut hasil pengujian bilangan iodin:



Gambar 4. Pengaruh waktu *mechanochemical* terhadap bilangan iodin

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu *mechanochemical* maka bilangan iodin dari bio adsorben mengalami kenaikan. Uji bilangan iodin menunjukkan kemampuan bio adsorben yang dihasilkan dalam menyerap zat warna. Semakin besar bilangan iodin yang dihasilkan maka kemampuan bio adsorben dalam menyerap adsorbat juga meningkat [15]. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen, dkk. (2012) menjelaskan bahwa semakin lama waktu *mechanochemical* maka bilangan iodin yang dihasilkan kian meningkat, namun akan mengalami penurunan apabila melebihi waktu maksimum [10]. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, syarat mutu bilangan iodin bio adsorben sebesar ≥ 750 mg/g [16]. Apabila bilangan iodin yang dihasilkan dibandingkan dengan SNI, maka bio adsorben dengan aktivasi *mechanochemical* telah memenuhi SNI, namun untuk bio adsorben tanpa aktivasi belum memenuhi SNI 06-3730-1995 [16].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh waktu *mechanochemical* terhadap % penyerapan rhodamin B yang dihasilkan. Semakin lama waktu *mechanochemical* maka % penyerapan rhodamin B yang dihasilkan akan meningkat, namun akan mengalami penurunan jika melebihi waktu optimum. Pengaruh waktu kontak adsorpsi terhadap % penyerapan rhodamin B semakin lama waktu kontak maka % penyerapan rhodamin B yang dihasilkan kian meningkat. Namun apabila bio adsorben mengalami kejenuhan maka % penyerapan rhodamin B akan mengalami penurunan. Kondisi optimum diperoleh pada waktu *mechanochemical* 60 menit dengan waktu kontak adsorpsi 120 menit dengan % penyerapan rhodamin B sebesar 91,86 %, dengan memiliki kandungan air 10% dan bilangan iod sebesar 1840,4850 mg/g. kemampuan biosorben dalam menyerap rhodamin B selama 2 jam. Saran untuk peneliti selanjutnya perlu melakukan penetralan secara khusus sehingga dapat menghasilkan bio dsorben dengan maksimal.

REFERENSI

- [1] “Kemenperin: Industri Tekstil Siap Keluar Dari Tekanan Global.” <https://kemenperin.go.id/artikel/21508/industri-tekstil-siap-keluar-dari-tekanan-global> (Diakses Mar 18, 2022).
- [2] P. A. Anjasmara, M. F. Romdhoni, dan M. R. Purbowati, “Pengaruh Pemberian Rhodamin B Peroral Subakut Terhadap Perubahan Ketinggian Mukosa Gaster Tikus Putih Galur Wistar (Rattus Norvegicus Strain Wistar),” *Saintika Med.*, Vol. 13, No. 2, Hal. 58, 2018, Doi: 10.22219/Sm.V13i2.5225.
- [3] E. Sahara, P. S. Gayatri, dan P. Suarya, “Adsorpsi Zat Warna Rhodamin-B Dalam Larutan Oleh Arang Aktif Batang Tanaman Gunitir Teraktivasi Asam Fosfat,” *Indones. E-Journal Appl. Chem.*, Vol. 6, No. 1, Hal. 37–45, 2018.
- [4] N. Hasna, “Pemanfaatan Daun Ketapang (Terminalia Sp.) Sebagai Bioadsorben Zat Warna Sintesis Rhodamin B Teraktivasi Asam Fosfat (H₃PO₄),” 2021.
- [5] A. Takwanto, A. Mustain, dan H. P. Sudarminto, “Penurunan Kandungan Polutan Pada Lindi Dengan Metode Elektrokoagulasi-Adsorpsi Karbon Aktif Untuk Memenuhi Standar Baku Mutu Lingkungan,” *J. Tek. Kim. Dan Lingkung.*, Vol. 2, No. 1, Hal. 11, 2018, Doi: 10.33795/Jtkl.V2i1.37.
- [6] H. N. Fajriah, “Pemanfaatan Daun Ketapang (Terminalia Cattapa L.) Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb) Dalam Air Menggunakan Aktivator Asam Sitrat (C₆H₈O₇),” *J. Tek. Lingkung.*, Vol. 2, No. 1, Hal. 1–13, 2018.
- [7] S. Setiyanto, I. Riwayati, dan L. Kurniasari, “Adsorpsi Pewarna Tekstil Rodhamin B Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi,” *J. Momentum UNWAHAS*, Vol. 11, No. 1, Hal. 115080, 2015.
- [8] S. Martini dan E. Yuliatwati, “Adsorben Organik Dari Kulit Buah Melon Dalam Menyerap Ion Logam Cr (III) Dari Limbah Cair Industri,” *Distilasi*, Vol. 4, No. 2, Hal. 33–40, 2019.
- [9] M. I. A. Diniati, “Aktif Batubara Untuk Media Penyimpanan,” 2012.
- [10] 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, Doi: 10.15376/Biores.7.4.5109-5116.
- [11] R. Septiana, S. B. Etika, E. Nasra, J. Kimia, F. Matematika, dan P. Alam, “Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Senyawa Metoda Batch,” Vol. 9, No. 1, Hal. 17–23, 2020.
- [12] Falahiyah, “Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Abu Dari Sabut Dan Tempurung Kelapa Teraktivasi Asam Sulfat,” 2015.
- [13] E. Mulyana dan M. Turmuzi, “Aplikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H₃PO₄ Untuk Penyerapan Logam Berat Cd Dan Pb,” *J. Tek. Kim. USU*, Vol. 3, No. 4, Hal. 5–10, 2014.
- [14] A. G. Haji, G. Pari, M. Nazar, dan H. Habibati, “Characterization Of Activated Carbon Produced From Urban Organic Waste,” *Int. J. Sci. Eng.*, Vol. 5, No. 2, Hal. 89–94, 2013, Doi: 10.12777/Ijse.5.2.89-94.
- [15] S. A. Ridhayanti, “Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Durian Sebagai Adsorben Limbah Industri Tahu Di Daerah Sepanjang, Sidoarjo,” *J. Ilm. Tek. Kim.*, Vol. 4, No. 1, Hal. 23, 2020, Doi: 10.32493/Jitk.V4i1.3842.
- [16] BSN, “Arang Aktif Teknis,” *Sni 06-3730-95*, Hal. 33–36, 1995.