

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN DAN KONSENTRASI AKTIVATOR ARANG TEMPURUNG KELAPA PADA PROSES KOAGULASI-ADSORPSI LIMBAH LAUNDRY

Herry Purnama*, Chintya Artisya Santoso

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani 157, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57169, Indonesia

*E-mail: hp269@ums.ac.id

Abstract

The laundry industry is increasingly widespread and has the potential to have a dangerous impact on the surrounding environment and the health of living creatures because the materials used are toxic detergents. Meanwhile, solid coconut shell waste is widely available in Indonesia because some areas produce coconuts. The great potential of coconut shells can be made into micro-sized carbon particles or activated charcoal which are used as adsorbents or trapping polluting compounds in air and liquid waste. The objectives of this research are (1) to determine the effect of stirring time on the processing of liquid laundry waste using activated charcoal micro-particles from coconut shells; and (2) determine the effect of activator concentration on making coconut shell charcoal; and (3) determine the reduction in levels of chemical oxygen demand (COD) and total suspended solids (TSS) in the processing of liquid laundry waste using the activated charcoal-based coagulation-adsorption method. The research results show that the combined process is capable of treating laundry wastewater with an efficiency reduction of COD of 91.02% and a reduction of TSS of 87.10%.

Keywords: activated carbon; COD; coagulation-adsorption; laundry wastewater; TSS

Abstrak

Industri laundry semakin merebak dan berpotensi memiliki dampak yang berbahaya bagi lingkungan sekitar dan kesehatan makhluk hidup karena bahan yang digunakan yaitu deterjen yang bersifat toksik. Sementara itu limbah padat tempurung kelapa banyak terdapat di Indonesia karena sebagian wilayahnya sebagai penghasil kelapa. Potensi yang besar dari tempurung kelapa dapat dijadikan partikel karbon atau arang aktif berukuran mikro yang digunakan sebagai adsorben atau penjerab senyawa polutif dalam air maupun limbah cair. Tujuan penelitian ini adalah (1) mengetahui pengaruh dari waktu pengadukan pada pengolahan limbah cair laundry dengan menggunakan partikel mikro arang aktif dari tempurung kelapa; dan (2) mengetahui pengaruh dari konsentrasi aktivator pada pembuatan arang tempurung kelapa; serta (3) mengetahui penurunan kadar chemical oxygen demand (COD) dan total suspended solids (TSS) pada pengolahan limbah cair laundry dengan menggunakan metode koagulasi-adsorpsi berbasis arang aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gabungan proses tersebut mampu mengolah air limbah laundry dengan perolehan efisiensi penurunan COD sebesar 91,02% dan penurunan TSS sebesar 87,10%.

Kata Kunci: arang aktif; COD; koagulasi-adsorpsi; limbah cair laundry; TSS

1. Pendahuluan

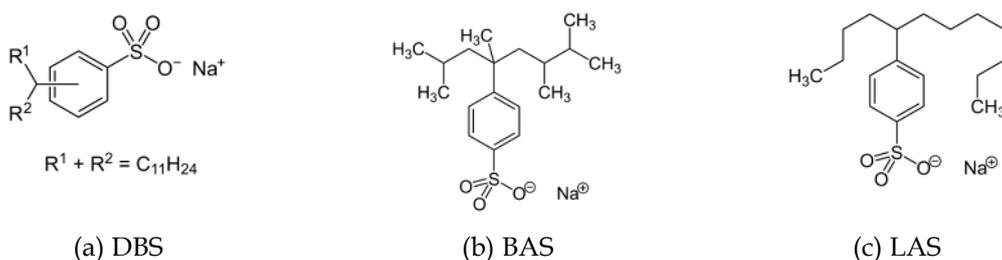
Tempurung kelapa yang dijadikan karbon aktif dan digunakan sebagai adsorben memiliki beberapa kelebihan antara lain, yaitu struktur alami, kinerja sangat baik dan juga memiliki kadar abu yang rendah[1]. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon baik organik maupun anorganik, tetapi yang paling umum beredar di pasaran berasal dari bahan tempurung kelapa, kayu, dan batubara[2]. Tempurung kelapa merupakan endokarp buah kelapa yang merupakan limbah dari kelapa, dapat digunakan sebagai bahan bakar juga bahan baku kerajinan. Pada umumnya, tempurung kelapa memiliki karakteristik sebagai berikut.

Tabel 1. Karakteristik tempurung kelapa

Karakteristik	Persentase (%)
Kadar air	7,8
Kadar abu	0,4
Kadar mineral mudah menguap	80,8
Karbon	18,8

Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat penurunan kadar COD dalam limbah cair laundry menggunakan berbagai variasi karbon aktif tempurung kelapa. Selain itu, penelitian lainnya menunjukkan penggunaan campuran adsorben alam sebagai media filtrasi terbukti dapat secara signifikan berpengaruh dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada sampel limbah laundry [3].

Bahan penyusun utama dari detergen laundry adalah *dodecyl benzena sulfonate* (DBS) yang merupakan surfaktan dan penghasil busa. Detergen dalam air dapat menimbulkan busa dan busa tersebut pada proses aerasi berada di atas permukaan gelembung udara sehingga berfungsi sebagai penghambat kontak oksigen dengan organik serta bakteri pengurai. DBS dapat dibedakan menjadi *branched alkyl sulfonate* (BAS) dan *linear alkyl sulfonate* (LAS). LAS merupakan detergen yang mudah didekomposisi oleh bakteri dibandingkan dengan BAS [4].

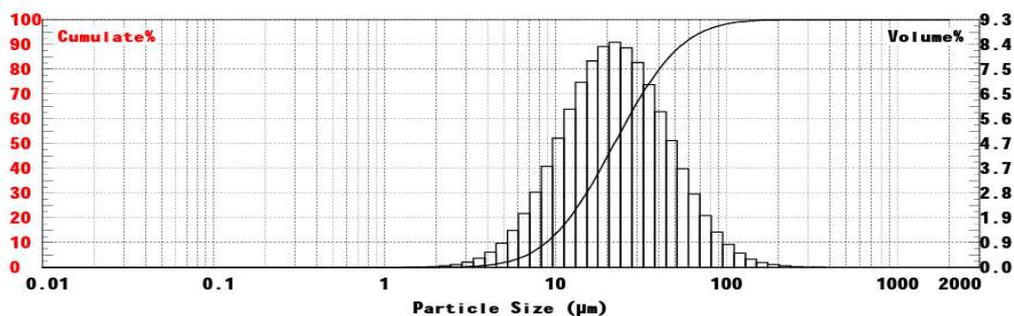


Gambar 1. Rumus Molekul (a) DBS, (b) BAS, dan (c) LAS

Koagulan pencampur yang digunakan pada umumnya dari bahan kimia seperti aluminium sulfat (Al₂(SO₄)₃·14H₂O) dan feri sulfat (Fe₂(SO₄)₃) [5]. Tawas dipilih sebagai koagulan karena harganya relatif murah, mudah didapatkan, dan aman terhadap lingkungan. Koagulan dalam bentuk larutan akan lebih efektif dibandingkan koagulan dalam bentuk serbuk atau butiran-butiran. Untuk koagulan tawas dengan ukuran butiran lebih kecil akan lebih cepat atau lebih mudah larut pada saat proses pengadukan, sehingga mudah bereaksi dengan fosfat dalam limbah cair laundry untuk membentuk flok. Sedangkan, untuk koagulan tawas dengan ukuran butiran

yang lebih besar akan lebih sukar atau lambat larut pada saat proses pengadukan sehingga, dikhawatirkan ada sebagian koagulan tawas yang tidak larut, dan dapat menyebabkan tawas tersebut tidak bereaksi dengan fosfat yang ada pada limbah cair laundry untuk membentuk flok [6]. Koagulan organik terdiri dari aluminium yang sangat tersedia dan merupakan koagulan yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air limbah tersebut [7].

Salah satu metode yang biasa digunakan untuk proses pengolahan limbah cair yaitu metode koagulasi-flokulasi dan adsorpsi. Koagulasi merupakan proses destabilisasi koloid dalam limbah cair dimana pada prosesnya ditambahkan koagulan dengan tujuan untuk mengendapkan partikel padatan berukuran kecil. Mekanisme reaksi koagulasi dapat terjadi karena interaksi antara ion positif dan ion negatif yang bergabung sehingga membentuk partikel koloid [8]. Metode koagulasi-flokulasi pada umumnya mampu menurunkan kandungan COD sebanyak 40-70% [9]. Flokulasi mengacu pada penggunaan polimer untuk membentuk hubungan antara flok dan pembentukan agregat besar. Partikel tersuspensi akan berflokulasi dan dapat dipisahkan dengan filtrasi, flotasi atau penyaringan [10]. Metode ini digunakan karena memiliki biaya yang rendah, prosesnya sederhana, dan hemat energi dibandingkan dengan metode lainnya. Proses pengolahan ini, dapat secara efektif menghilangkan padatan koloid yang tersuspensi dan terlarut melalui agregasi induksi partikel mikro dan makro menjadi partikel yang lebih besar dengan diikuti proses sedimentasi [11].

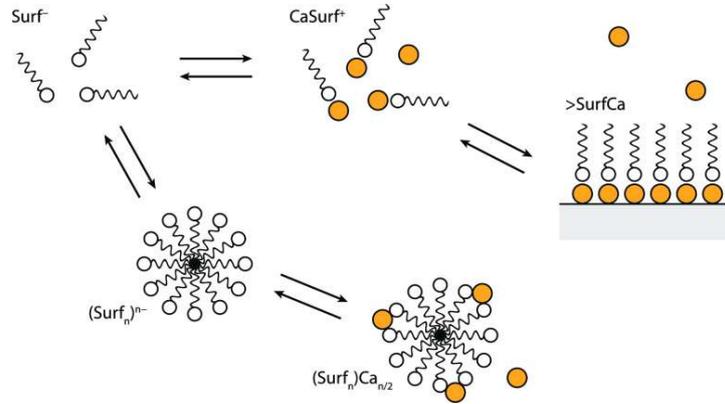


Gambar 2. Distribusi ukuran partikel arang aktif pada konsentrasi aktivator 4N menghasilkan rerata diameter partikel (D_p)=28,5µm dan $S/g=3521,3cm^2/g$

Mekanisme proses koagulasi-flokulasi dan proses adsorpsi telah banyak dibahas [12]. Di sekitar lapisan tunggal adsorpsi yang diperluas, gugus surfaktan atau misel melepaskan monomer untuk mengembalikan konsentrasi surfaktan kesetimbangan di permukaan dan dalam jumlah besar. Gradien konsentrasi menimbulkan difusi massal monomer dan misel. Pada saat bersamaan juga terjadi proses adsorpsi oleh arang aktif yang memungkinkan sebagian monomer surfaktan masuk ke dalam pori arang aktif. Sebagai ilustrasi, Gambar 3 menunjukkan jalur reaksi monomer surfaktan dalam larutan yang mengandung ion Ca^{2+} yang dihubungkan dengan permukaan padat adsorben.

COD atau *chemical oxygen demand* merupakan total oksigen yang diperlukan untuk melakukan oksidasi terhadap bahan organik yang terdapat dalam air secara kimiawi. Kualitas air yang semakin rendah ditandai dengan semakin tingginya nilai COD. TSS atau *total suspended solids* merupakan zat yang dihasilkan dari padatan total yang tertahan oleh saringan berukuran partikel paling banyak 2µm atau melebihi ukuran partikel koloid. Kadar TSS dan COD pada suatu air limbah harus sesuai dengan baku

mutu yang sudah ditetapkan. Standar baku mutu air limbah untuk kegiatan industri mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 mengenai baku mutu air limbah berikut ini [13].



Gambar 3. Ilustrasi proses adsorpsi surfaktan dari larutan misel [12]

Tabel 2. Baku mutu air limbah

Parameter	Kadar maksimum (mg/L)
pH	6-9
TSS	50
COD	150
BOD ₅	60

Air limbah yang dihasilkan sebagian besar akan ditandai dengan perbedaan yang signifikan dengan komposisi dan konsentrasi TSS, terutama karena adanya koloid, kandungan mineral terlarut dan/atau bahan organik TDS (*total dissolved solids*) dan TC (*total conductivity*). COD dan BOD₅ dengan warna tidak teratur menunjukkan perbedaan kurang signifikan [14].

2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilaksanakan merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan metode analisis kuantitatif untuk mengetahui kadar COD dan TSS. Masing-masing perlakuan selanjutnya ditentukan oleh persentase penurunan kadar. Semua data yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik dan tabel dengan menggunakan metode anova (analisis varian). Metode analisis yang digunakan adalah untuk mengukur tingkat efisiensi penurunan beban pencemar dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Ef = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

E_f : Efisiensi penurunan parameter (%)

C_0 : Kadar COD sebelum diberi perlakuan (mg/L)

C_i : Kadar COD sesudah diberi perlakuan (mg/L)

Pada penelitian ini digunakan tiga variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Variabel bebas terdiri dari konsentrasi aktivator arang aktif tempurung kelapa (1N, 3N, 4N) dan kecepatan pengadukan (150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, 240 rpm). Variabel terikat yang terdiri dari kadar COD dan TSS. Variabel kontrol yang dijaga tetap adalah suhu (105°C), konsentrasi koagulan tawas (3%), massa detergen (30 gram), volume laundry (1 liter), waktu pengadukan cepat (5 menit), kecepatan pengadukan lambat (40 rpm), dan waktu pengadukan lambat (20 menit).

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain alu dan mortar, ayakan 70 mesh, *ball mill*, bola hisap, cawan petri, desikator, erlenmeyer, *hot plate* (Thermo® Stirring Hotplate SP88850105), neraca analitik (Ohaus CP214), oven (Memmert UN55 Cap53), *particle size analyzer* (PSA LLPA-C10) dan berbagai peralatan gelas lainnya.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah detergen pakaian 190 gram, ferro ammonium sulfate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 9,75 gram, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,3475 gram, H_2SO_4 150 mL, HCl 170 mL, indikator Fenantrolin 0,74 gram, indikator Ferroin 28 tetes, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 2,452 gram, tawas 3 gram, tempurung kelapa 500 gram, dan aquades. Semua bahan kimia diperoleh dari Merck grade pro analysis.

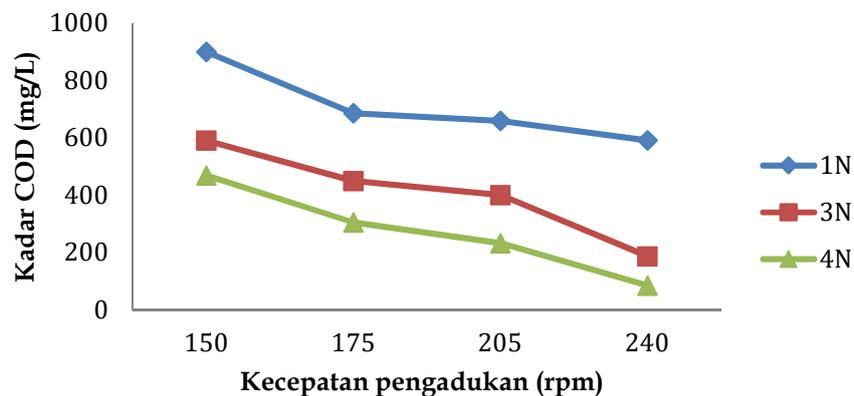
Tahapan penelitian yang dilakukan antara lain persiapan limbah cair laundry, pembuatan arang aktif dan proses pengolahan limbah laundry sebagai berikut: (1) Persiapan limbah cair laundry sampel limbah cair laundry dibuat dengan detergen sebanyak 30 gram. Setelah itu, dimasukkan ke dalam gelas beker dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 1000 mL. (2) Pembuatan arang aktif tempurung kelapa yang sudah dikarbonasi kemudian ditumbuk menggunakan alu dan mortal sampai sedikit halus. Setelah ditumbuk, kemudian diaktivasi dengan cara merendam arang tempurung kelapa di dalam gelas beker 100 mL menggunakan aktivator HCl dengan variabel konsentrasi 1N, 3N, dan 4N, kemudian didiamkan selama 2 hari. Campuran tersebut disaring, kemudian dicuci dengan aquades 500 mL sampai pH netral. Setelah netral ditiriskan menggunakan kertas saring untuk memisahkan arang aktif dengan larutannya. Selanjutnya, arang hasil dari aktivasi dioven pada suhu 105°C selama 2 jam untuk mendapatkan arang aktif yang siap digunakan. (3) Pengolahan limbah laundry dengan mengambil sampel limbah sebanyak 250 mL dan dimasukkan ke dalam gelas beker 250 mL. Sampel limbah tersebut diletakkan di atas *hot plate stirrer* kemudian diputar dan atur kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, dan 240 rpm selama 5 menit. Saat proses pengadukan berjalan tambahkan tawas 3% atau sebanyak 2,5 mL dan arang aktif sebanyak 2 gram. Setelah tahap pengadukan cepat berakhir, kemudian dilakukan pengadukan lambat dengan kecepatan 40 rpm selama 20 menit. Sampel limbah didiamkan selama 30 menit, kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan endapan. Selanjutnya dilakukan uji kadar COD dengan cara titrasi dan uji kadar TSS menggunakan metode gravimetri.

3. Hasil dan Pembahasan

Kecepatan pengadukan bertujuan untuk mencampurkan koagulan tawas ke dalam air limbah dengan dosis 2,5mL. Proses pengadukannya harus merata dengan menggunakan *hot plate* dengan kecepatan pengadukan 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, dan 240 rpm dengan waktu selama 5 menit. Peningkatan kecepatan pengadukan pada

proses koagulasi dapat meningkatkan potensi terjadinya tumbukan antara senyawa surfaktan dan koagulan sehingga kadar COD dan TSS semakin rendah. Pada tahap selanjutnya, kecepatan flokulasi 40 rpm selama 20 menit, hal ini dapat membentuk koagulan terdispersi dengan baik dan mudah mengendap. Namun jika kecepatan pengadukan terlalu cepat maka akan menyebabkan flok-flok yang telah terbentuk akan pecah dan kembali menjadi pengendapan yang tidak sempurna [15].

Nilai COD adalah suatu parameter yang digunakan sebagai pendeteksi pencemaran air yang disebabkan oleh zat-zat organik. Semakin tinggi nilai COD menyebabkan semakin tingginya konsentrasi O_2 yang terlarut dan menunjukkan pencemaran yang makin tinggi [16].



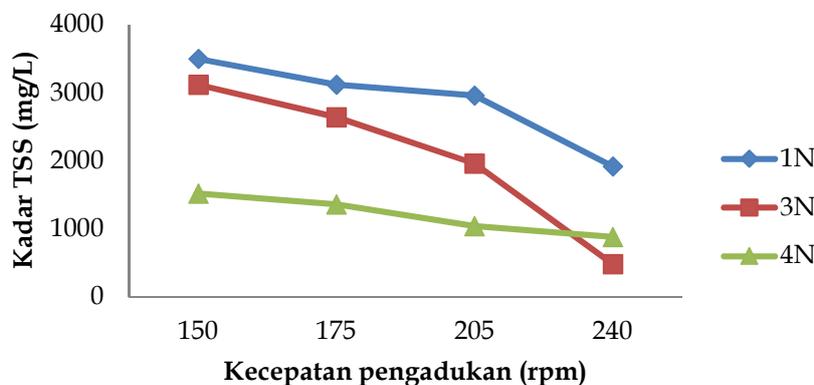
Gambar 4. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kadar COD

Berdasarkan hasil uji kadar COD yang didapat pada grafik dengan masing-masing konsentrasi dimana hubungan antara kecepatan pengadukan dan kadar COD yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka kadar COD semakin rendah. Pada Gambar 4 didapatkan kadar COD berturut-turut sesuai konsentrasi 1N dengan kecepatan 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, dan 240 rpm, hasil kadar COD yaitu 899,05 mg/L, 685,71 mg/L, 659,05 mg/L, dan 590,48 mg/L. Kadar COD berturut-turut sesuai konsentrasi 3N dengan kecepatan 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, 240 rpm hasil kadar COD yaitu 590,48 mg/L, 449,52 mg/L, 400,00 mg/L, 186,67 mg/L. Kadar COD berturut-turut sesuai konsentrasi 4N dengan kecepatan 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, 240 rpm hasil kadar COD yaitu 468,57 mg/L, 304,76 mg/L, 232,38 mg/L, 83,81 mg/L. Untuk penggunaan koagulan aluminium sulfat (tawas) didapatkan hasil optimum pada konsentrasi 4N dengan kecepatan pengadukan 240 rpm hasil kadar COD yaitu 83,81 mg/L efisiensi sebesar 91,02%.

Larutan tawas yang mengandung Al^{3+} berinteraksi dengan penyebab kekeruhan, yaitu partikel yang bermuatan negatif dimana interaksi tersebut akan mengurangi gaya tolak menolak antar partikel koloid limbah yang akan mengalami destabilisasi dan membentuk flok-flok. Mekanisme ini menyebabkan adanya gaya gravitasi terbentuk makroflok yang mengendap sehingga sebagian partikel penyebab kekeruhan pada limbah cair laundry akan berkurang dan mengalami penurunan. Penambahan koagulan menyebabkan terjadinya destabilisasi muatan negatif partikel koloid pada limbah cair.

TSS merupakan flok-flok yang terbentuk menjadi hasil dari netralisasi fase antara

muatan negatif dari koloid penyebab kekeruhan air yang ada pada air limbah dengan muatan positif dari koagulan. Penambahan koagulan berguna sebagai pengikat bahan pencemar dalam air limbah sehingga partikel-partikel yang muatannya stabil akan menjadi tidak stabil yang menyebabkan adanya gaya tarik menarik sehingga membentuk flok-flok yang mudah mengendap.



Gambar 5. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kadar TSS

Berdasarkan hasil uji kadar TSS yang didapat pada gambar grafik dengan masing-masing konsentrasi dimana hubungan antara kecepatan pengadukan dan kadar TSS yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka kadar TSS semakin rendah. Pada Gambar 5 didapatkan kadar TSS berturut-turut sesuai konsentrasi 1N dengan kecepatan 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, 240 rpm hasil kadar TSS yaitu 3500 mg/L, 3120 mg/L, 2960 mg/L, 1920 mg/L. Kadar TSS berturut-turut sesuai konsentrasi 3N dengan kecepatan 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, 240 rpm hasil kadar TSS yaitu 3120 mg/L, 2640 mg/L, 1960 mg/L, 480 mg/L. Kadar TSS berturut-turut sesuai konsentrasi 4N dengan kecepatan 150 rpm, 175 rpm, 205 rpm, 240 rpm hasil kadar TSS yaitu 1520 mg/L, 1360 mg/L, 1040 mg/L, 880 mg/L. Perolehan angka kadar TSS yang menurun ini menunjukkan pengaruh pengadukan cepat (tahap koagulasi) pada proses pembentukan flok, di mana molekul detergen dan koagulan saling bertumbukan sehingga lebih mudah mengendap dalam bentuk flok-flok pada saat periode pengadukan dengan kecepatan lambat yang stabil (tahap flokulasi). Efisiensi penurunan kadar TSS yang paling tinggi sebesar 87,10% pada penggunaan konsentrasi aktivator 3N.

4. Kesimpulan

Kondisi operasi yang optimum untuk penurunan kadar COD pada konsentrasi aktivator 4N dengan kecepatan pengadukan 240 rpm menghasilkan kadar COD yaitu 83,81 mg/L dengan efisiensi sebesar 91,02%. Kondisi operasi yang optimum untuk penurunan kadar TSS pada konsentrasi aktivator 3N dengan kecepatan pengadukan 240 rpm menghasilkan kadar TSS yaitu 480 mg/L dengan efisiensi sebesar 87,10%. Pengolahan limbah cair laundry dengan menggunakan kombinasi proses koagulasi menggunakan tawas dan proses adsorpsi arang aktif tempurung kelapa memberikan hasil yang efektif dalam penurunan kadar COD dan TSS.

Referensi

- [1] E. Erawati, Haryanto, N. W. Astuti, and A. M. Prasetyanti, "Characterization of Activated Coconut Shell Charcoal as a Zinc Absorbent for Used Oil Lubricant," *J. Chem. Eng. Environ.*, vol. 15, no. 2, pp. 111-122, 2020.
- [2] N. Salim, N. S. Rizal, and R. Vihantara, "Komposisi Efektif Batok Kelapa sebagai Karbon Aktif untuk Meningkatkan Kualitas Airtanah di Kawasan Perkotaan," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 24, no. 1, pp. 87-95, 2018.
- [3] R. M. Mefiana and A. Sugiharto, "Uji Efektivitas Karbon Aktif dan Abu Sekam Padi dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Limbah Cair Laundry," *J. Kartika Kim.*, vol. 4, no. 2, pp. 83-88, 2021.
- [4] T. S. Widyaningsih, "Pengolahan Limbah Cair Laundry dengan Menggunakan Bahan Koagulan Tawas Menjadi Air Bersih dengan Biaya Rendah," *J. Pendidik. Indones.*, vol. 3, no. 3, pp. 1-12, 2023.
- [5] K. Kasmudin, F. Fitria, and A. Artiningsih, "The Influence of Concentration Chitosan of A Shell Snail to Lower Levels of BOD and COD on Waste Laundry," *J. Appl. Sci. Eng. Technol. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 9-15, 2022.
- [6] R. Alfian, S. Hamzani, and A. Khair, "Pengaruh Tawas dan Waktu Pengadukan Terhadap Kadar Fosfat Pada Limbah Cair Laundry Di Martapura Kabupaten Banjar," *J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 14, no. 1, pp. 431-438, 2017.
- [7] V. Kumar, N. Othman, and S. M. Asharuddin, "Partial Replacement of Alum by Using Natural Coagulant Aid to Remove Turbidity from Institutional Wastewater," *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 241-251, 2020.
- [8] N. Nurhidayanti, N. I. Ilyas, and D. P. Lazuardini, "Studi Pengolahan Limbah Cair Laundry menggunakan Serbuk Biji Asam Jawa sebagai Biokoagulan," *J. Tekno Insentif*, vol. 16, no. 1, pp. 16-27, 2022.
- [9] D. A. C. Putri, T. Joko, and N. A. Yunita, "Kemampuan Koagulan Kitosan Dengan Variasi Dosis dalam Menurunkan Kandungan COD dan Kekeuhan Pada Limbah Cair Laundry," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 3, no. 3, pp. 711-722, 2015.
- [10] R. Vidu *et al.*, "Removal of Heavy Metals from Wastewaters: A Challenge from Current Treatment Methods to Nanotechnology Applications," *Toxics*, vol. 8, no. 101, pp. 1-37, 2020.
- [11] P. S. Kumara *et al.*, "A Critical Review On Recent Developments In The Low-Cost Adsorption Of Dyes From Wastewater," *Desalin. Water Treat.*, vol. 172, no. 19, pp. 395-416, 2019.
- [12] Groenendijk DJ, van Wunnik JNM. The Impact of Micelle Formation on Surfactant Adsorption-Desorption. *ACS Omega*. 2021 Jan;6(3):2248-2254.
- [13] B. L. Devy and H. A.R., "Pengaruh Beda Potensial dan Waktu Kontak terhadap

Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Batik menggunakan Metode Elektrokagulasi," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 10, no. 2, pp. 63-69, 2021.

[14] S. Zak and T. R. Zak, "Treatment of The Railway Freight Wagon Wash Effluents by Coagulation Methods On Accelator Reactor," *J. Environ. Heal. Sci. Eng.*, vol. 21, no. 19, pp. 1399-1412, 2021.

[15] G. I. Ramadhani and A. Moesriati, "Pemanfaatan Biji Asam Jawa (*Tamarindusindica*) Sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Menurunkan Kdar COD dan BOD dengan Studi Kasus pada Limbah Cair Industri Tempe," *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 22-26, 2013.

[16] S. Prihatin and A. Sugiharto, "Pengaruh Variasi Dosis Kapur Terhadap Penurunan Kadar COD dan Fosfat Pada Limbah Usaha Laundry," *Indones. J. Chem. Anal.*, vol. 4, no. 2, pp. 58-63, 2021.