

## Pengaruh Waktu Kontak Karbon Aktif dari Kulit Durian terhadap Kadar COD, BOD, dan TSS pada Limbah Cair Industri Tahu

Lydiana Eka Nabilla<sup>a,1,\*</sup>, Rusmini<sup>a,2</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang Surabaya 60231.

<sup>1</sup>lydiananabilla@mhs.unesa.ac.id\*; <sup>2</sup>rusmini@unesa.ac.id

\* corresponding author

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received November 11, 2019

Revised December 11, 2019

Accepted December 12, 2019

#### Keywords

Activated carbon from durian peel

Contact time

COD

BOD

TSS

### ABSTRACT

The disposal of tofu industrial wastewater into the environment without treatment can cause pollution. The purpose of this study was to utilize durian peel as activated carbon which is used to treat the tofu industrial wastewater through adsorption process. In addition, to determine the effect of variation in contact time on the adsorption process. Carbon from durian peel with chemical activation using KOH 25% containing 10.15% water, 6.14% ash, and iod adsorption of 1194.83 mg/g. Activated carbon from durian peel was tested by FTIR obtained by functional groups of -OH, C-H, and C=C aromatic. Porosity analysis of activated carbon using SAA with BET method obtained surface area of 471.6 m<sup>2</sup>/g, pore volume of 0.5698 cc/g, and average pore diameter of 24 Å classified as mesoporous. Adsorption process between activated carbon and tofu industrial wastewater variations in contact time during 30, 60, 90, and 120 minutes. Based on the study, the optimum contact time was 90 minutes. At that time, activated carbon from durian peel can reduce COD levels to 57%, BOD to 59%, and TSS to 72% from the initial levels of tofu industrial wastewater.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## 1. Pendahuluan

Pembuangan limbah cair industri tahu secara langsung ke lingkungan tanpa adanya pengolahan dapat menyebabkan terjadinya pencemaran. Limbah cair industri tahu merupakan limbah organik yang mengandung sejumlah karbohidrat, lemak, dan protein [1]. Limbah cair industri tahu dapat mengalami perubahan fisika maupun kimia menghasilkan zat beracun dan menciptakan media untuk tumbuhnya kuman dan penyakit. COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) merupakan dua indeks utama yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran dalam sistem perairan. BOD mencerminkan bagian yang dapat terbiodegradasi dari polutan, sedangkan COD mewakili total beban pencemar organik dari sebagian besar buangan air limbah [2]. Kadar COD dan BOD yang tinggi dalam perairan dapat mengganggu kehidupan organisme akuatik karena oksigen digunakan untuk menguraikan bahan pencemar. Selain itu, tingginya kadar TSS menyebabkan kekeruhan. Kekeruhan dapat menghalangi masuknya sinar matahari, sehingga menghambat proses fotosintesis tanaman air.

Berbagai metode pengolahan limbah cair dilakukan untuk mengurangi tingkat pencemaran. Beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengolah limbah diantaranya yaitu melalui proses koagulasi, oksidasi, degradasi dengan sinar UV, adsorpsi, dan menggunakan bantuan mikroorganisme [3]. Metode pengolahan limbah yang sederhana adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif. Adsorpsi merupakan salah satu metode pengolahan limbah yang memiliki keunggulan biaya rendah dan tidak menghasilkan polusi [4]. Efisiensi adsorpsi tergantung pada beberapa faktor seperti ikatan hidrogen, partisi hidrofobik, penghubung kation, kompleks logam, serta sifat adsorben [5]. Selain itu, proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh waktu kontak, pH, luas permukaan, jenis adsorbat, dan suhu [6]. Karbon aktif umumnya digunakan sebagai adsorben yang efektif karena

memiliki luas permukaan yang besar, porositasnya tinggi, dapat mengadsorpsi senyawa organik, serta biaya produksi murah karena dapat dibuat dari limbah biomassa [7].

Berdasarkan penelitian Sartika, dkk. [8], karbon aktif ampas bubuk kopi yang ditambahkan pada limbah cair industri tahu mampu menurunkan kadar BOD hingga 85% dengan massa karbon 0,4 gram dan waktu kontak 30 menit. Menurut penelitian Sedyaning, dkk. [9], karbon aktif dari limbah kulit kacang kedelai dapat menurunkan kadar COD dan BOD pada limbah cair industri tahu hingga 62% dan 82% dengan waktu kontak selama 50 menit. Menurut penelitian Sapta Dewi dan Buchori [10], kombinasi pasir kuarsa, karbon aktif, sekam padi, dan zeolit dengan perbandingan jumlah karbon aktif lebih banyak dapat menurunkan kadar COD pada limbah tahu hingga 60% dan menurunkan kadar TSS hingga 65%. Hal ini menandakan bahwa karbon aktif dapat efektif menurunkan kadar COD, BOD, maupun TSS pada limbah cair industri tahu.

Karbon aktif dapat dibuat dengan proses karbonisasi bahan yang mengandung karbon, kemudian diaktivasi secara fisika atau kimia sehingga diperoleh luas permukaan yang besar [11]. Kulit durian merupakan limbah biomassa yang jarang dimanfaatkan. Limbah kulit durian berpotensi untuk dijadikan karbon aktif karena memiliki kandungan 50%-60% *carboxy-methylcellulose* dan 5% lignin [12]. Menurut penelitian Hanum, dkk. [13], karbon aktif kulit durian dengan aktivator KOH memiliki luas permukaan maksimum sebesar 1785,26 m<sup>2</sup>/g dan dapat mengadsorpsi zat warna metilen biru. Pada penelitian Arisna, dkk. [14], limbah kulit durian yang dikarbonisasi dan diaktivasi secara kimia menggunakan KOH 25% mampu menurunkan konsentrasi Fe (II) pada air gambut hingga 81%. Hal ini menandakan bahwa limbah kulit durian dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif dan dapat menyerap zat pencemar.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kulit durian sebagai karbon aktif serta untuk mengetahui pengaruh waktu kontak karbon aktif kulit durian terhadap penurunan kadar COD, BOD, dan TSS pada limbah cair industri tahu.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Hereaus M140 *Muffle Furnace* untuk membuat karbon, ayakan 100 mesh untuk mengayak karbon sehingga memiliki ukuran yang sama, VWR *Hotplate Stirrer* sebagai alat untuk mengaduk pada proses adsorpsi, neraca analitik OHAUS, oven pengering Labtech Daihan LD LDO-030E untuk menentukan kadar air dan kadar TSS, *Niconet iS 10 FT-IR Spectrometer* untuk menganalisis gugus fungsional karbon aktif kulit durian, *Surface Area Analyzer (SAA)* model NOVA-1000 untuk menganalisis porositas karbon aktif kulit durian, Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1800 *Double Beam*, dan COD reaktor HACH 45600 untuk menguapkan bahan organik pada pengujian COD.

Bahan yang digunakan adalah kulit durian sebagai bahan baku karbon aktif, limbah cair tahu, larutan KOH 25% sebagai aktivator karbon, reagen *digestion*, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat untuk analisis COD, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, indikator amilum dan alkali iodida-azida untuk analisis BOD, aquademin, dan kertas saring.

### 2.2. Pembuatan Karbon Aktif Kulit Durian

Kulit durian yang telah bersih dan kering dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 400 °C selama 2 jam. Karbon yang terbentuk didinginkan, digerus, dan diayak dengan ayakan 100 mesh. Serbuk karbon diaktivasi dengan cara direndam dalam larutan KOH 25% selama 24 jam dengan perbandingan 1:2 b/v. Karbon yang telah diaktivasi dicuci menggunakan aquades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Karbon aktif yang terbentuk dikarakterisasi kadar air, kadar abu, daya serap iod, gugus fungsional dengan instrumen FTIR, dan analisis porositas menggunakan *Surface Area Analyzer (SAA)* dengan metode BET.

### 2.3. Proses Adsorpsi

Limbah cair industri tahu dimasukkan ke dalam gelas kimia kemudian ditambahkan karbon aktif kulit durian dengan perbandingan 1:20 b/v. Campuran dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 30, 60, 90, dan 120 menit. Filtrat disaring untuk uji parameter COD, BOD, dan TSS.

#### 2.4. Pengujian Kadar COD

Analisis kadar COD mengikuti metode SNI-6989.2:2009. Sebanyak 1,5 ml reagen *digestion* dan 3,5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat dimasukkan ke dalam tabung kultur dan dikocok perlahan agar larutan menjadi homogen. Langkah selanjutnya, ditambahkan 2,5 ml sampel uji. Tabung ditutup dengan rapat kemudian dikocok kembali. Kontrol blanko dilakukan dengan menggunakan air bebas mineral dan organik. Tabung kultur dipanaskan dengan COD reaktor pada suhu 150 °C selama 2 jam. Tabung didinginkan pada suhu ruang kemudian dibaca absorbansi sampel uji menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Kadar COD dihitung berdasarkan absorbansi dan persamaan kurva standar.

#### 2.5. Pengujian Kadar BOD

Analisis kadar BOD mengikuti metode SNI 6989.72:2009. Sampel yang akan diuji diencerkan dengan larutan pengencer jenuh oksigen, kemudian dimasukkan ke dalam 2 botol winkler sebagai DO<sub>0</sub> dan DO<sub>5</sub>. Botol winkler ditutup secara hati-hati agar tidak terdapat gelembung udara. Sampel DO<sub>5</sub> disimpan dalam inkubator suhu 20 °C pada kondisi gelap selama 5 hari, sedangkan botol DO<sub>0</sub> langsung dianalisis.

Penentuan kadar DO mengikuti metode SNI 06-6989.14:2004. Sampel DO dalam botol winkler ditambahkan 1 ml MnSO<sub>4</sub> dan 1 ml larutan alkali iodida-azida. Campuran larutan dihomogenkan hingga terbentuk endapan, kemudian ditambahkan 1 ml asam sulfat pekat. Campuran larutan dikocok kembali hingga endapan larut sempurna. Larutan diambil sebanyak 200 ml dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer. Larutan dalam erlenmeyer dititrasi dengan natrium tiosulfat sampai berwarna kuning. Tiga tetes larutan amilum ditambahkan sebagai indikator. Proses titrasi dilanjutkan hingga warna biru tepat hilang. Volume natrium tiosulfat yang dibutuhkan selama proses titrasi dicatat untuk menghitung DO. Kadar BOD ditentukan berdasarkan selisih DO<sub>0</sub> dan DO<sub>5</sub>.

#### 2.6. Pengujian Kadar TSS

Pengukuran total padatan tersuspensi menggunakan metode gravimetri sesuai dengan SNI 06-6989.3:2004. Kertas saring dibilas menggunakan aquades kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 103-105 °C selama 1 jam. Kertas saring tersebut ditimbang agar diketahui beratnya kemudian digunakan untuk menyaring 25 ml sampel yang telah homogen. Kertas saring dikeringkan kembali dengan oven pada suhu 103-105 °C selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam desikator. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan pada suhu 103-105 °C sampai berat konstan. Kenaikan berat saringan akibat residu yang tertahan mewakili kadar TSS.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Kadar Air, Kadar Abu, dan Daya Serap Iod Karbon Aktif Kulit Durian

Karbon aktif kulit durian hasil penelitian berupa serbuk berwarna hitam dan tidak berbau. Proses aktivasi karbon dilakukan secara kimia menggunakan larutan KOH 25%. Proses aktivasi dilakukan untuk memperbesar luas permukaan karbon dengan cara menghilangkan ikatan hidrokarbon pada permukaan karbon [15]. Analisis kadar air, kadar abu, dan daya serap iod pada karbon aktif kulit durian dilakukan untuk mengetahui kualitas karbon aktif kulit durian. Hasil analisis karbon aktif kulit durian disajikan pada Tabel 1.

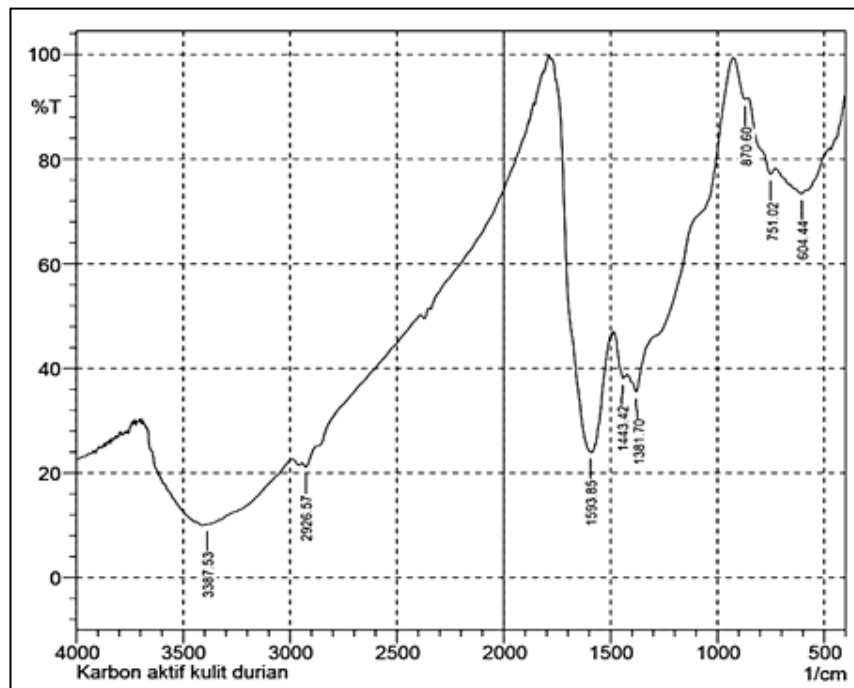
**Tabel 1.** Hasil analisis kualitas karbon aktif kulit durian

Parameter	Syarat Mutu Karbon Aktif (SNI 06-3730-1995)	Hasil Analisis
Kadar Air	Maks 15%	10,15%
Kadar abu	Maks 10%	6,14%
Daya serap iod	Min 750 mg/g	1194,83 mg/g

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa karbon aktif kulit durian hasil analisis memenuhi syarat mutu karbon aktif menurut SNI 06-3730-1995. Hal ini menunjukkan bahwa limbah kulit durian berpotensi dijadikan karbon aktif dengan kualitas yang baik.

### 3.2. Identifikasi Gugus Fungsional dan Porositas Karbon Aktif Kulit Durian

Identifikasi gugus fungsional dengan instrumen FTIR bertujuan untuk mendeteksi gugus-gugus aktif yang terdapat pada karbon aktif kulit durian. Gugus aktif pada karbon aktif mempengaruhi sifat kimia karbon aktif karena gugus ini yang akan berinteraksi dengan molekul adsorbat. Hasil spektrum FTIR karbon aktif kulit durian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FTIR karbon aktif kulit durian

Puncak serapan  $3387,53\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan ada ikatan  $\text{-OH}$ . Puncak serapan  $2926,57\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan ada ikatan  $\text{C-H}$  alkana. Puncak serapan  $1593,85\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan ada gugus  $\text{C=C}$  alkena aromatis. Gugus  $\text{C=C}$  menunjukkan adanya peningkatan kadar karbon. Puncak serapan  $1443,42\text{--}1381,70\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya ikatan  $\text{C-H}$  alkana. Dapat disimpulkan bahwa karbon aktif kulit durian memiliki gugus fungsional berupa ikatan  $\text{-OH}$ ,  $\text{C-H}$ , dan  $\text{C=C}$ . Gugus-gugus inilah yang digunakan untuk berinteraksi dengan adsorbat pada proses adsorpsi.

Analisis porositas karbon aktif kulit durian menggunakan SAA (*Surface Area Analyzer*) dilakukan untuk mengetahui permukaan pori karbon aktif kulit durian. Luas permukaan karbon aktif merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin besar luas permukaan karbon aktif maka semakin banyak zat yang teradsorpsi [14]. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh hasil luas permukaan karbon aktif kulit durian sebesar  $471,6\text{ m}^2/\text{g}$ ; volume pori  $0,5698\text{ cc/g}$ ; dan rata-rata diameter pori  $24\text{ \AA}$  yang tergolong mesopori.

### 3.3. Analisis Kadar COD

COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam sampel air. Kadar COD yang tinggi menandakan sedikitnya oksigen yang terlarut dalam air karena oksigen digunakan untuk mengoksidasi zat pencemar. Prinsip pengujian COD adalah oksidasi senyawa organik oleh  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  pada refluks tertutup dalam keadaan asam menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Pengukuran kadar COD mengikuti metode SNI-6989.2:2009. Berdasarkan metode tersebut, sampel ditambahkan dengan larutan *digestion* dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat. Larutan *digestion* mengandung  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  dan  $\text{HgSO}_4$ .  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  berfungsi sebagai penyedia oksigen untuk mengoksidasi bahan organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .  $\text{HgSO}_4$  berfungsi untuk menghilangkan kandungan klorida pada sampel. Pemanasan selama 2 jam pada COD reaktor suhu  $150\text{ }^\circ\text{C}$  bertujuan agar proses oksidasi berjalan dengan sempurna. Kadar COD ditentukan berdasarkan absorbansinya pada panjang gelombang  $600\text{ nm}$ . Hasil pengujian COD disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian COD

Waktu kontak (menit)	Kadar COD (mg/L)	Kadar COD Terserap (mg/L)	Presentase Penurunan (%)
0	8392,86	-	-
30	3816,33	4576,53	54
60	3676,02	4716,84	56
90	3561,22	4831,63	57
120	3625,00	4767,86	56

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu kontak karbon aktif kulit durian dengan limbah cair tahu maka kadar COD terserap semakin tinggi pula. Namun, pada waktu kontak 120 menit kadar COD terserap mengalami penurunan. Waktu kontak 90 menit merupakan waktu kontak optimum karena terjadi penurunan kadar COD yang tinggi yaitu 57% dari kadar awal.

### 3.4. Analisis Kadar BOD

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk menguraikan bahan organik dalam kondisi aerobik. Tingginya kadar BOD dapat menyebabkan menurunnya konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan, sehingga menimbulkan masalah bagi kehidupan organisme akuatik.

Prinsip pengujian BOD adalah selisih  $DO_0$  (oksigen terlarut 0 hari) dan  $DO_5$  (oksigen terlarut 5 hari). Penentuan kadar DO (oksigen terlarut) mengikuti metode SNI 06-6989.14:2004 dengan titrasi iodometri, dimana molekul iodium yang terbentuk ekuivalen dengan kadar oksigen terlarut. Hasil pengujian BOD disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil pengujian BOD

Waktu Kontak (menit)	Kadar BOD (mg/L)	Kadar BOD Terserap (mg/L)	Presentase Penurunan (%)
0	5899,11	-	-
30	2649,84	3249,27	55
60	2538,34	3360,77	56
90	2416,35	3482,76	59
120	2459,11	3440,00	58

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu kontak karbon aktif dari kulit durian dengan limbah cair tahu maka kadar BOD terserap semakin tinggi pula. Namun, pada waktu kontak 120 menit kadar BOD terserap mengalami penurunan. Waktu kontak 90 menit merupakan waktu optimum karena terjadi penurunan kadar BOD tertinggi yaitu hingga 59% dari kadar awal.

### 3.5. Analisis Kadar TSS

TSS atau *Total Suspended Solids* adalah jumlah padatan tersuspensi yang terdapat pada larutan. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh. Keekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik seperti bakteri, jamur, lumpur, oksida logam, serta sulfida yang tersuspensi, dan terlarut.

Prinsip analisis TSS adalah penyaringan sampel yang telah homogen dengan kertas saring yang telah diketahui massanya. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan pada suhu 103-105 °C sampai berat konstan. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Kadar TSS terserap pada berbagai waktu disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil pengujian TSS

Waktu Kontak (menit)	Kadar TSS (mg/L)	Kadar TSS Terserap (mg/L)	Presentase Penurunan (%)
0	762	-	-
30	382	380	49
60	292	470	61
90	210	552	72
120	216	546	71

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu kontak karbon aktif kulit durian dengan limbah cair tahu maka kadar TSS terserap semakin tinggi pula. Namun, pada waktu kontak 120

menit kadar TSS terserap mengalami penurunan. Waktu kontak 90 menit merupakan waktu kontak optimum karena terjadi penurunan kadar TSS yang paling besar yaitu 72% dari kadar awal.

Penurunan kadar COD, BOD, dan TSS terjadi karena adanya proses adsorpsi oleh karbon aktif kulit durian. Selama proses interaksi, partikel karbon aktif bersinggungan dengan senyawa yang akan diserap sehingga semakin lama waktu kontak maka daya adsorpsi semakin meningkat [6]. Adsorpsi dengan karbon aktif merupakan jenis adsorpsi fisika yang melibatkan pori dan gaya *van der waals*. Gaya *van der waals* terbentuk karena adanya gaya tarik-menarik antar molekul adsorben dan adsorbat. Selain itu, terbentuk ikatan hidrogen melalui interaksi gugus OH<sup>-</sup> pada karbon aktif dan H<sup>+</sup> pada bahan organik dalam limbah [15]. Adanya pori yang luas juga menyebabkan semakin banyak molekul adsorbat yang terserap.

Waktu kontak 90 menit merupakan waktu optimum karena pada waktu tersebut terjadi penurunan kadar COD, BOD, dan TSS paling tinggi. Pada waktu kontak 120 menit kadar COD, BOD, dan TSS terserap mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan karbon aktif telah jenuh dan tidak dapat menyerap zat pencemar sehingga terjadi proses desorpsi jika interaksi diteruskan. Desorpsi yaitu proses pelepasan kembali molekul-molekul adsorbat yang telah terserap pada karbon aktif karena kekuatan gaya *van der waals* relatif lemah.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa limbah kulit durian dapat dimanfaatkan menjadi karbon aktif dengan kualitas yang baik memenuhi SNI 06-3730-1995. Karbon aktif kulit durian memiliki gugus fungsional berupa ikatan -OH, C-H, dan C=C, dengan luas permukaan sebesar 471,6 m<sup>2</sup>/g. Semakin lama waktu kontak karbon aktif kulit durian dengan limbah cair industri tahu maka semakin besar kadar COD, BOD, dan TSS yang terserap hingga waktu tertentu. Waktu kontak optimum adalah 90 menit yaitu terjadi penurunan kadar COD sebesar 57%, BOD sebesar 59%, dan TSS sebesar 72% dari kadar awal.

#### Daftar Pustaka

- [1] Pranoto, "Penggunaan biofilter eceng gondok untuk menurunkan kadar COD limbah cair dari pabrik tahu," Skripsi, UNNES, 2005.
- [2] A. Tawfik, B. Klapwijk, F. el-Gohary, and G. Lettinga, "Treatment of anaerobically pretreated domestic sewage by a rotating biological contactor," *Water Research*, vol. 36, pp. 147-155, 2002.
- [3] Suyata, Irmanto, "Penurunan TSS, BOD, dan COD limbah cair industri tahu di Desa Cilangok Kab. Banyumas menggunakan sistem zeolit teraktivasi dan terimpregasi TiO<sub>2</sub>," *Jurnal Molekul*, vol. 4(2), hal. 83-93, 2009.
- [4] M. Xia, R. Zhao, X. Gong, C. Li, D. Wang, and D. Xia, "Denitration and adsorption mechanism of head-treated bamboo charcoal," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 5, pp. 6194-6200, 2017.
- [5] R.M. Pereira-Leal, R.F. Figueira, V.L. Tornisielo, and R.J. Borges, "Occurrence and adsorption of fluoroquinolones in poultry litters and soils from Sao paulo state, Brazil," *Sci. Total Environ*, vol. 432, pp. 344-349, 2012.
- [6] I. Syauqiyah, M. Amelia, dan H.A. Kartini, "Analisis variasi waktu dan kecepatan pengadukan pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif," *Jurnal Info Teknik*, vol. 12(1), hal. 11-20, 2011.
- [7] R.C. Bansal, M. Goyal, *Activated Carbon Adsorption*, USA: CRC Press, 2005.
- [8] Z. Sartika, Mariana dan M.D. Supardan, "Penurunan kadar COD, BOD, dan nitrit pada limbah pabrik tahu menggunakan karbon aktif ampas bubuk kopi," *Serambi Engineering*, vol. 4(2), hal. 557-564, 2019.
- [9] N. Sedyaning Laras, Yuliani, dan H. Fitrihidajati, "Pemanfaatan arang aktif limbah kulit kacang kedelai (*Glycine max*) dalam meningkatkan kualitas limbah cair tahu," *Jurnal Lentera Bio*, vol 4(1), hal. 72-76, 2015.
- [10] Y. Saptu Dewi dan Y. Buchori, "Penurunan COD, TSS pada penyaringan air limbah tahu menggunakan media kombinasi pasir kuarsa, karbon aktif, sekam padi, dan zeolit," *Jurnal Ilmiah Satya Negara Indonesia*, vol. 9(1), hal. 74-80, 2016.

- [11] M.T. Sembiring dan T.S. Sinaga, *Arang Aktif: Pengenalan Dan Proses Pembuatan*, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2003.
- [12] Soekardjo, *Kimia Anorganik*, Jakarta: Rineka Cipta, 1990.
- [13] F. Hanum, R.J. Gultom, dan M. Simanjuntak, "Adsorpsi zat warna metilen biru dengan menggunakan KOH dan NaOH sebagai aktivator," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol 6(1), hal. 49-55, 2017.
- [14] R. Arisna, T.A. Zaharah, dan Rudiyanasyah, "Adsorpsi besi dan bahan organik pada air gambut oleh karbon aktif kulit durian," *JKK*, vol. 5(3), hal. 31-39, 2016.
- [15] P.W. Atkins, *Kimia Fisika Edisi Ke-2, Terjemahan Kartahadiprojo Irma*, Jakarta: Erlangga, 1999.