

Pemanfaatan Ampas Kopi sebagai Bahan Karbon Aktif untuk Pengolahan Air Limbah Industri Batik

The Use of Coffee Grounds as Precursor of Activated Carbon for Wastewater Treatment of Batik Industry

Cindy Febrianti, Maria Ulfah*, Kusumastuti Kusumastuti

Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Stiper (INSTIPER)
Yogyakarta, Jl. Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta 55282, Indonesia

*Penulis korespondensi: Maria Ulfah, Email: ulfahmaria122@gmail.com

Submisi: 28 Juli 2021; Revisi: 27 Oktober 2021, 20 November 2021; Diterima: 3 Februari 2022;
Dipublikasi: 28 Februari 2023

ABSTRAK

Pengolahan air limbah industri batik dapat dilakukan menggunakan metode adsorpsi, diantaranya menggunakan karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis aktivator karbon aktif ampas kopi dan konsentrasi air limbah batik terhadap kualitas air limbah setelah proses adsorpsi dengan mengacu pada parameter baku mutu air limbah tekstil. Parameter pengamatan meliputi derajat keasaman (pH), *dissolved oxygen* (DO), *chemical oxygen demand* (COD), *biological oxygen demand* (BOD), *total suspended solid* (TSS), *total dissolved solid* (TDS), dan *total solid* (TS). Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Blok Lengkap (RBL) dengan dua faktor. Faktor pertama adalah jenis aktivator karbon aktif ampas kopi yang terdiri dari: (A₁) karbon aktif dengan aktivator HNO₃, (A₂) karbon aktif dengan aktivator H₃PO₄, (A₃) karbon aktif dengan aktivator ZnCl₂. Faktor kedua adalah konsentrasi air limbah industri batik yang terdiri dari: (B₁) 50%, (B₂) 75%, (B₃) 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis aktivator karbon aktif ampas kopi berpengaruh terhadap pH, TSS, COD, dan BOD air limbah industri batik. Konsentrasi air limbah berpengaruh terhadap TSS, TDS, dan TS. Proses adsorpsi air limbah industri batik terbaik diperoleh pada perlakuan A₃B₁ (karbon aktif dengan aktivator ZnCl₂ pada konsentrasi air limbah batik 50%), air limbah yang dihasilkan memiliki pH 6,33, TSS 0,6 mg/L, TDS 0,6 mg/L, TS 1,2 mg/L, COD 148,18 ppm, BOD 9,2 ppm, dan DO 3,6 mg/L.

Kata kunci: Karbon aktif; air limbah industri batik; ampas kopi; jenis aktivator

ABSTRACT

The wastewater treatment of batik industry can be carried out using adsorption methods, such as activated carbon. Therefore, this study aims to determine the effect of using coffee grounds as activated carbon activator for the treatment of batik wastewater with reference to textile wastewater quality standard parameters. The observed parameters include the degree of acidity (pH), dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), total suspended solids (TSS), total dissolved solids (TDS) and total solids (TS). A Randomized Complete Block Design (RCBD) with two factors was used. The first factor was the types of coffee ground activated carbon, with (A₁) HNO₃, (A₂) H₃PO₄, and (A₃) ZnCl₂. Meanwhile, the second factor was the

concentration of batik wastewater, namely (B_1) 50%, (B_2) 75%, (B_3) 100%. The results showed that the type of coffee grounds activated carbon activator affected pH, TSS, COD and BOD, while the concentration of wastewater affected TSS, TDS, and TS. The best batik industrial wastewater adsorption process was obtained in the A3B1 treatment consisting of activated carbon with $ZnCl_2$ activator and 50% batik wastewater concentration which had a pH of 6.33, TSS 0.6 mg/L, TDS 0.6 mg/L, TS 1.2 mg/L, COD 148.18 ppm, BOD 9.2 ppm and DO 3.6 mg/L.

Keywords: Activated carbon; batik wastewater; coffee grounds; types of activator

PENDAHULUAN

Batik merupakan jenis kain khas Indonesia yang dilestarikan dan berkembang sangat pesat. Seiring dengan perkembangan industri batik, jumlah limbah cair industri batik yang berwarna, keruh dan pekat akibat proses pewarnaan batik akan meningkat pula. Zat warna dari limbah industri batik pada umumnya berupa zat organik yang tidak dapat didegradasi, diantaranya berupa *remazol black*, *remazol red* atau *golden yellow*. Pada umumnya, zat warna tersebut hanya terpakai kurang lebih sebanyak 5% untuk pewarnaan kain dan sekitar 95% akan terbuang bersama air limbah. Sifat zat warna yang tidak mudah didegradasi di alam akan mengganggu lingkungan akibat zat warna yang pekat, sehingga menaikkan nilai COD.

Air limbah industri tekstil jika dialirkan di sungai tanpa pengolahan, maka akan mengganggu sistem kehidupan terutama untuk proses fotosintesis. Air Baku mutu air limbah industri tekstil tersebut diantaranya adalah BOD_5 maksimal 60 mg/L, COD maksimal 150 mg/L dan TSS maksimal 50 mg/L (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014). Jumlah oksigen terlarut yang digunakan oleh mikroorganisme pengurai bahan organik di air disebut dengan *biological oxygen demand* (BOD), sedangkan jumlah oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan terlarut dan partikel organik di air disebut dengan *chemical oxygen demand* (COD). Tingginya nilai COD menunjukkan bahwa jumlah bahan organik dalam air yang teroksidasi juga tinggi, sehingga mengakibatkan kandungan oksigen dalam air rendah. Hal ini berakibat menurunkan nilai *dissolved oxygen* (DO), sehingga mengganggu ekosistem perairan (Atima, 2015). Zat padat tersuspensi dalam air limbah merupakan parameter mutu yang disebut *total suspended solid* (TSS). Padatan tersuspensi dengan konsentrasi tinggi mengakibatkan turunnya aktivitas fotosintesis, sehingga oksigen dalam air berkurang dan kehidupan perairan, khususnya ikan menjadi terganggu. Padatan tersuspensi dengan konsentrasi tinggi mengakibatkan turunnya aktivitas fotosintesis, sehingga oksigen dalam air berkurang dan kehidupan perairan, khususnya ikan menjadi terganggu (Helfinalis dkk., 2012).

Metode adsorpsi merupakan salah satu metode penanganan limbah cair produksi tekstil (Suprihatin,

2014). Adsorpsi merupakan metode pemisahan antara dua fase, yaitu cair-cair, gas-cair, gas-padat atau cair-padat (Çeçen & Aktaş, 2012). Adsorpsi zat warna terutama terjadi pada permukaan pori adsorben. Adsorben merupakan bahan padat yang sangat berpori dan memiliki luas permukaan pori yang tinggi. Jenis adsorben yang biasa digunakan sebagai penjerap zat warna dalam limbah cair diantaranya adalah bentonit, sepiolit, zeolite dan karbon aktif (Nurwidanti dkk., 2016). Karbon aktif merupakan fase padat yang melibatkan lapisan luar antar muka antara fase padat dan cair dalam proses adsorpsi (Çeçen & Aktaş, 2012).

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben dengan kandungan karbon 85-95%, dihasilkan dari bahan berkarbon yang dikarbonasi dan diaktivasi, baik secara kimia maupun fisika untuk meningkatkan luas permukaan pori karbon aktif. Efektivitas karbon aktif dari bahan dengan kandungan karbon yang tinggi, tergantung dari proses aktivasinya. Aktivator dapat meningkatkan luas permukaan pori karbon aktif melalui pembukaan pori, sehingga kemampuan adsorpsinya meningkat. Struktur pori karbon aktif berhubungan dengan luas permukaan karbon aktif, sehingga menjadikan karbon aktif dapat sebagai adsorben, diantaranya dapat dimanfaatkan sebagai bahan penjernih air pada industri obat atau minuman (Saputro dkk., 2020). Karbon aktif dengan aktivasi secara fisika dilakukan melalui proses karbonasi bahan berkarbon pada suhu 400-850 °C dan dilanjutkan proses aktivasi pada suhu 600-900 °C. Aktivasi secara fisika juga dapat dilakukan melalui proses oksidasi menggunakan uap yang melibatkan pre-oksidasi, pirolisis dan aktivasi menggunakan *steam*. Dalam pre-oksidasi, udara diganti dengan N_2 , sehingga reaksi antara oksigen dan arang terhindar. Dalam proses aktivasi, pembentukan pori dan jalan masuk disebabkan karena gas pengoksidasi, seperti uap, N_2 atau CO_2 akan masuk ke dalam pori arang dan menghilangkan tar yang menutup pori arang. Proses gasifikasi akan menghilangkan komponen reaktif dari karbon sehingga menghasilkan porositas (Yahya dkk., 2015).

Aktivasi kimiawi dalam pembuatan karbon aktif pada umumnya dari bahan berlignoselosa. Proses aktivasi kimia, dilakukan dengan merendam bahan dalam kimia pengaktif. Bahan kimia pengaktif yang dapat digunakan diantaranya adalah KOH, NaOH, $ZnCl_2$, H_3PO_4 , dan H_2SO_4 .

Bahan kimia pengaktif bekerja dengan cara mengoksidasi bahan berkarbon dan memodifikasi permukaan bagian dalam bahan, sehingga pori akan terbentuk dan daya adsorpsi meningkat. Aktivasi karbon secara kimia menggunakan H_3PO_4 telah dilakukan oleh (Ulfah dkk., 2019), bahan berkarbon yang digunakan adalah cangkang sawit. Partikel cangkang sawit yang telah direndam dengan asam fosfat 65% dengan rasio 2-3 mL/g dalam waktu 24 jam dan dikarbonasi dengan suhu 500 °C dalam waktu 30-75 menit dengan kecepatan pemanasan $16,3 \pm 1,9$ °C/menit dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan antara 1383,98-1459,06 m²/g.

Ampas kopi merupakan residu dalam pembuatan minuman kopi. Rendemen ampas kopi robusta setelah penyeduhan berkisar antara 70,11 – 78,36% dengan kadar abu berkisar antara 1,88-2,20%, kadar lemak berkisar antara 12,20-13,51%, kadar protein 11,34-13,43%, total polifenol 2,61-6,79 mg GAE/g, aktivitas antioksidan 70,29-82,33%, *water holding capacity* (WHC) 210,96-223,54% dan *oil holding capacity* (OHC) 143,48-167,13% (Sutono, 2017). Ampas kopi mengandung 47,8 – 58,9% total karbon, 1,9 – 2,3% total nitrogen, 0,43 – 1,6% abu, dan 21% selulosa (Caetano dkk., 2012), sehingga memiliki potensi sebagai prekursor karbon aktif yang dapat digunakan sebagai adsorben. Karbon aktif dari ampas kopi sebagai adsorben dapat mengurangi nilai BOD dan COD dari air limbah domestik dengan hasil serapan sebesar 99% (Astutik, 2015), untuk penyerapan limbah cair ammonia (Aman dkk., 2018; Fauzi, 2020), menurunkan konsentrasi limbah usaha laundry (Suhariyanto dkk., 2019), menurunkan kadar kadmium pada air sumur (Moelyaningrum, 2019). Karbon aktif dari ampas kopi yang dibuat melalui pirolisis dilanjutkan aktivasi menggunakan kalium hidroksida mampu mengadsorpsi metilen biru sebesar 12.455 mg/g/ μ M, kapasitas adsorpsi 179 mg/g, adsorpsi terhadap 3-klorofenol 81,53 mg/g/ μ M dengan kapasitas adsorpsi= 3765 mg/g pada larutan model (Rosson dkk., 2020).

Penelitian tentang pemanfaatan karbon aktif dari ampas kopi untuk pengolahan air limbah industri batik penting dilakukan. Air limbah industri batik yang mengandung bahan organik teroksidasi akan meningkatkan nilai COD (*chemical oxygen demand*), sehingga akan menyebabkan terjadinya penurunan nilai *dissolved oxygen* (DO) yang dapat mengganggu ekosistem perairan. Air limbah industri batik dapat diolah menggunakan karbon aktif dari ampas melalui metode adsorpsi. Pengaruh jenis aktivator karbon aktif dari ampas kopi dan konsentrasi air limbah industri batik terhadap kualitas air limbah setelah proses adsorpsi dengan mengacu pada baku mutu air limbah tekstil. Baku mutu air limbah tersebut meliputi derajat keasaman (pH), *dissolved oxygen* (DO), *chemical oxygen demand* (COD),

biological oxygen demand (BOD), *total suspended solid* (TSS), *total dissolved solid* (TDS) dan *total solid* (TS). Penelitian ini juga untuk memperoleh jenis aktivator karbon aktif dari ampas kopi dan konsentrasi air limbah untuk pengolahan air limbah industri batik.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan untuk penelitian terdiri dari ampas kopi dari Coffeagato Jl. Agro Yogyakarta, air limbah industri batik didapat dari salah satu griya batik di Yogyakarta. Bahan kimia *pro-analysis* (pa), untuk penelitian ini meliputi: aquades, HNO_3 , H_3PO_4 , $ZnCl_2$, I_2 , metilen biru, amillum, $HgSO_4$, $K_2Cr_2O_7$, aquades, H_2SO_4 , KI, $Na_2S_2O_3$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $KMnO_4$, $K_2C_2O_4$ dan $MnSO_4$.

Alat

Alat-alat untuk penelitian meliputi: US sieve ukuran 40 dan 100 mesh, Memmert Oven, Thermolyne Muffle Furnace, UV-Vis Spectrophotometer (Shimadzu UVmini 1240), kertas saring Whatman No. 1 dan No. 42, *stirring hot plate* (Thermo Scientific Cimarec™), DO meter (Hana HI9147), pH meter (Lutron), neraca analitik (Ohaus), desikator, dan alat-alat gelas lainnya.

Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Kopi

Preparasi ampas kopi

Ampas kopi dioven 1 malam pada suhu 80 °C, dilanjutkan 2 jam pada suhu 110 °C hingga kering. Setelah dingin, ampas kopi kering diayak dan diambil yang lolos mesh 40 dan tertahan pada mesh 100.

Perendaman ampas kopi ke dalam bahan pengaktif

Ampas kopi dengan ukuran seragam direndam dalam bahan kimia pengaktif (aktivator) dengan konsentrasi 0,1 M untuk menyiapkan karbon aktif ampas kopi dengan 3 jenis aktivator, yaitu: HNO_3 (A_1), H_3PO_4 (A_2), dan $ZnCl_2$ (A_3). Perendaman ampas kopi dilakukan dengan rasio ampas kopi:bahan pengaktif (1:3 b/v), yang dikerjakan dengan merendam sebanyak 150 g ampas kopi ke dalam bahan pengaktif sebanyak 450 mL dengan waktu 24 jam. Setelah waktu perendaman tercapai, selanjutnya ampas kopi disaring menggunakan kertas Whatman No.1 dan ditiriskan hingga diperoleh ampas kopi yang siap di-semi karbonasi.

Semi karbonasi

Ampas kopi yang sudah dipreparasi menggunakan bahan kimia pengaktif dioven pada suhu 105 – 110 °C

hingga kering selama 4 jam, selanjutnya disemi karbonasi pada suhu 170 °C dengan waktu 2 jam, sehingga diperoleh ampas kopi semi karbonasi untuk dilanjutkan pembuatan karbon aktif pada tahap karbonasi.

Karbonasi

Karbonasi dilakukan dengan mengacu pada penelitian (Ulfah dkk., 2016). Ampas kopi semi karbonasi selanjutnya dikarbonasi dalam *muffle furnace* selama 60 menit dengan suhu 500 °C, sehingga diperoleh karbon aktif kasar. Karbon aktif kasar setelah dingin kemudian dimurnikan dengan dicuci menggunakan akuades panas hingga tercapai pH sebesar 5 – 6, selanjutnya dioven selama 24 jam dengan suhu 80 °C dan dilanjutkan 3 jam menggunakan suhu 110 °C dan ditimbang hingga berat konstan.

Dari serangkaian proses pembuatan karbon aktif tersebut, maka akan diperoleh karbon aktif ampas kopi dengan 3 jenis aktivator. Ketiga jenis karbon aktif tersebut meliputi: karbon aktif ampas kopi yang diaktivasi menggunakan HNO_3 (A_1), karbon aktif ampas kopi yang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 (A_2), dan karbon aktif dari ampas kopi dengan aktivator ZnCl_2 (A_3). Selanjutnya, karbon aktif dikarakterisasi, meliputi: kadar air (SNI, 1995), kadar abu (SNI, 1995), daya serap iod (SNI, 1995) dan daya serap metilen biru (Huda & Yulitaningtyas, 2018).

Karbon Aktif dari Ampas Kopi untuk Adsorpsi Air Limbah Industri Batik

Penentuan konsentrasi adsorben

Adsorpsi air limbah batik menggunakan karbon aktif dari ampas kopi dilakukan secara *batch*. Penentuan jumlah karbon aktif untuk adsorpsi dilakukan pada beberapa konsentrasi, meliputi: 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Karbon aktif dengan berbagai konsentrasi tersebut, selanjutnya digunakan untuk mengadsorpsi warna air limbah industri batik yang sudah diencerkan hingga konsentrasi 50%. Konsentrasi karbon aktif terpilih selanjutnya digunakan dalam penelitian ini. Pengujian daya adsorpsi warna dilakukan berdasarkan daya adsorpsi maksimum metilen biru yaitu pada panjang gelombang 665 nm (Huda & Yulitaningtyas, 2018).

Adsorben sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam 40 mL larutan metilen biru konsentrasi 50 mg/L, kemudian diaduk 50 menit. Campuran adsorben dengan larutan metilen biru disaring menggunakan kertas Whatman No. 42, filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya pada panjang gelombang 665 nm. Daya serap metilen biru dihitung dengan rumus 1.

$$\% \text{ Daya serap metilen biru} = \frac{\text{Absorbansi awal} - \text{Absorbansi akhir}}{\text{Absorbansi Awal}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Pengolahan air limbah batik dengan metode adsorpsi

Pengolahan air limbah batik dilakukan menggunakan rancangan percobaan blok lengkap 2 faktor. Faktor I adalah konsentrasi air limbah industri batik, meliputi: (B_1) 50%; (B_2) 75%; (B_3) 100%. Faktor II adalah karbon aktif dengan jenis aktivator yang berbeda, meliputi: (A_1) HNO_3 ; (A_2) H_3PO_4 ; (A_3) ZnCl_2 . Penelitian diulang sebanyak 2 kali.

Air limbah industri batik diencerkan masing-masing dengan konsentrasi (B_1) 50%; (B_2) 75%; (B_3) 100% (tanpa pengenceran). Volume dari masing-masing seri konsentrasi air limbah 100 mL dituang ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambah karbon aktif (A_1) HNO_3 ; (A_2) H_3PO_4 ; (A_3) ZnCl_2 sebanyak konsentrasi terpilih. Proses adsorpsi dilakukan pada suhu ruang dengan pengadukan 60 rpm selama 30 menit. Setelah proses adsorpsi selesai, air limbah difiltrasi menggunakan kertas Whatman No. 1, selanjutnya filtrat dianalisis kualitasnya. Parameter analisis kualitas air limbah sebelum dan setelah adsorpsi meliputi: pH (SNI, 2004a), DO menggunakan DO meter (Hana HI9147), COD (SNI, 2009a), BOD (SNI, 2009b) yang dimodifikasi, TSS (SNI, 2004b), TDS (SNI, 2005b), dan TS (SNI, 2005a).

Analisis Data

Data hasil pengamatan selanjutnya dilakukan uji keragaman dan Uji Duncan pada jenjang nyata 5% untuk perlakuan yang berpengaruh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Karbon Aktif dari Ampas Kopi

Karbon aktif dari ampas kopi yang dihasilkan dari penelitian ini meliputi: karbon aktif dari ampas kopi- HNO_3 (A_1), karbon aktif dari ampas kopi- H_3PO_4 (A_2) dan karbon aktif dari ampas kopi- ZnCl_2 (A_3) dengan rendemen masing-masing sebesar 16,15%, 13,41% dan 11,05%. Komposisi karbon aktif dari ampas kopi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi karbon aktif dari ampas kopi

Komposisi	Jenis karbon aktif		
	HNO_3 (A_1)	H_3PO_4 (A_2)	ZnCl_2 (A_3)
Kadar air (%)	27,31	16,33	8,71
Kadar abu (%)	3,22	2,10	8,14
Daya adsorpsi iod (mg/g)	388,42	364,22	302,32
Daya adsorpsi metilen biru (%)	82,86	29,95	6,04

Kadar air

Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar air karbon aktif dari ampas kopi 8,71–27,31%. Menurut SNI karbon aktif tahun 1995, kadar air maksimal adalah 15%, sehingga karbon aktif yang memenuhi syarat mutu ditinjau dari kadar air adalah karbon aktif ampas kopi-ZnCl₂ (A₃). Karbon aktif-HNO₃ (A₁) mengandung air tertinggi, yaitu 27,305%, sedangkan yang terendah adalah karbon aktif-ZnCl₂ yaitu sebesar 8,71%. Besar kecilnya pH dari aktivator akan mempengaruhi jumlah air yang diperlukan untuk pencucian. Makin asam aktivator, maka air yang diperlukan untuk pencucian makin banyak, sehingga karbon aktif juga lebih banyak menyerap air. Aktivator jenis asam berperan dalam merusak kompleks oksigen pada saat aktivasi, sehingga kadar air karbon aktif lebih kecil dibandingkan aktivator jenis basa (Erawati & Fernando, 2018).

Keberhasilan aktivator untuk mengikat air dalam bahan dan lepasnya air bebas maupun terikat dari bahan selama proses karbonasi ditunjukkan rendahnya kadar air karbon aktif (Esterlita & Herlina, 2015). Aktivator yang paling cocok digunakan untuk pembuatan karbon aktif dari bahan berlignoselulosa adalah ZnCl₂ dan H₃PO₄. Aktivator tersebut bertindak sebagai dehidrator dan oksidan, yaitu membantu proses dehidrasi kerangka makromolekul karbon, mengurangi produksi tar dan senyawa volatil serta meningkatkan rendemen (Alcañiz-Monge dkk., 2022).

Kadar abu

Kadar abu karbon aktif ampas kopi berkisar antara 3,22 – 8,14%, sehingga memenuhi standar SNI, berdasar SNI Nomor: 06-3730 Tahun 1995 maksimal 10%. Tingginya kadar abu karbon aktif menyebabkan tersumbatnya pori karbon aktif (Herlandien, 2013). Tingginya kadar abu karbon aktif berakibat pada daya adsorpsi yang rendah, hal ini disebabkan adanya mineral seperti K, Na, Ca dan Mg menutup pori karbon aktif (Tatra dkk., 2014).

Daya adsorpsi iod

Kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi adsorbat dengan molekul berukuran 10 Å dinyatakan dalam suatu parameter yang disebut daya adsorpsi iod atau daya serap iod. Daya adsorpsi iod menunjukkan banyaknya iod (mg) adsorbat yang dapat diserap oleh 1 g karbon aktif (Imawati & Adhitiyawarman, 2015). Daya adsorpsi iod yang makin tinggi menunjukkan bahwa kristalinit heksagonal dari atom karbon yang terbentuk makin banyak dan pori atau celah di antara lapisan kristalinit juga makin besar (Kusdarini dkk., 2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya adsorpsi ion karbon aktif dari ampas kopi masih lebih rendah dibandingkan

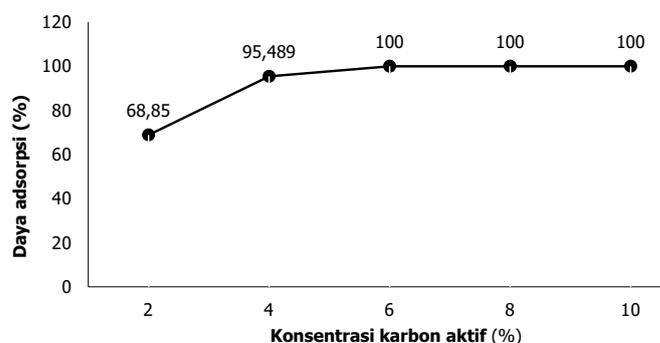
SNI, berdasar SNI Nomor: 06-3730 Tahun 1995 daya adsorpsi iod minimal 750 mg/g. Makin tinggi daya serap iod karbon aktif mengindikasikan makin banyak mikropori yang terbentuk (Imawati & Adhitiyawarman, 2015).

Daya adsorpsi metilen biru

Kemampuan karbon aktif untuk menyerap adsorbat dengan ukuran 15-25 Å dinyatakan sebagai daya adsorpsi metilen biru. Tinggi rendahnya nilai daya adsorpsi metilen biru menunjukkan banyaknya pori dari karbon aktif berukuran mesopori (Imawati & Adhitiyawarman, 2015). Daya serap iodium karbon aktif ampas kopi berturut-turut untuk karbon aktif dengan bahan pengaktif HNO₃ (A₁) 82,86%, H₃PO₄ (A₂) 29,95% dan ZnCl₂ (A₃) 6,04%.

Konsentrasi Karbon aktif Ampas Kopi untuk Adsorpsi Air Limbah Batik

Penentuan konsentrasi karbon aktif dalam penelitian ini menggunakan pendekatan melalui adsorpsi zat warna dalam air limbah batik. Air limbah batik dalam penelitian ini mengandung zat warna metilen biru *BB (Basic Blue 9)*. Karbon aktif untuk menyerap warna air limbah batik adalah karbon aktif- HNO₃ (A₁) dengan pertimbangan memiliki rendemen, daya serap iodium dan daya adsorpsi metilen biru terbesar. Adapun daya adsorpsi zat warna industri batik oleh karbon aktif dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Daya adsorpsi zat warna air limbah pada konsentrasi 50% dengan variasi konsentrasi karbon aktif- HNO₃ (A₁) berdasarkan penurunan intensitas warna. Pengujian daya serap warna dilakukan berdasarkan daya serap metilen biru pada panjang gelombang 665 nm (Huda & Yulitaningtyas, 2018)

Gambar 1 menunjukkan bahwa proses adsorpsi dari karbon aktif dengan konsentrasi 6%, 8%, dan 10% menunjukkan penurunan intensitas warna mencapai hingga 100%. Berdasarkan kemampuan karbon aktif mengadsorpsi zat warna air limbah industri batik sebagaimana pada Gambar 1, maka karbon aktif konsentrasi 6% digunakan untuk penelitian selanjutnya.

Tabel 2. Karakteristik air limbah batik

Parameter	Kadar
pH	8,32
TSS (mg/L)	2,40
TDS (mg/L)	0,66
TS (mg/L)	3,04
COD (ppm)	1070,16
BOD (ppm)	54,40
DO (mg/L)	1,20

Karakteristik Air Limbah Batik Sebelum Adsorpsi

Sifat air limbah batik untuk penelitian ini disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, karakteristik atau sifat air limbah batik memiliki pH, TSS dan BOD masih pada ambang batas mutu air limbah industri menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Nilai COD air limbah batik sebesar 1070,16 mg/L, sehingga melebihi ambang batas mutu air limbah yaitu maksimal 150 mg/L.

Karakteristik Air limbah Batik Setelah Adsorpsi

Air limbah batik diolah dengan 3 seri pengenceran, yaitu: 50%, 75%, dan 100% (tanpa pengenceran). Tabel 3 menunjukkan karakteristik mutu air limbah industri batik yang telah diadsorpsi karbon aktif dari ampas kopi.

pH

pH dari air limbah industri batik setelah adsorpsi menggunakan karbon aktif- H_3PO_4 (A_2) memiliki pH<6, sedangkan air limbah yang diadsorpsi menggunakan karbon aktif- HNO_3 (A_1) dan karbon aktif- $ZnCl_2$ (A_3) memiliki pH>6. Air limbah setelah adsorpsi menggunakan karbon aktif- H_3PO_4 (A_2) memiliki pH lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan lain. Asam fosfat merupakan asam lemah dan dapat terionisasi sebagian dalam air, sehingga pada saat netralisasi pada pembuatan karbon aktif menggunakan aquades panas, ion hidrogen yang melekat pada karbon aktif tidak semua larut dalam air dan masih berada di dalam pori karbon aktif. Kondisi ini menyebabkan ion hidrogen tersebut ikut keluar dalam air limbah pada saat proses adsorpsi, sehingga terjadi penurunan pH air limbah setelah proses adsorpsi menggunakan karbon aktif- H_3PO_4 (A_2). Kondisi ini berlawanan dengan pH limbah setelah adsorpsi menggunakan dengan karbon aktif- HNO_3 (A_1). Asam nitrat (HNO_3) merupakan asam kuat yang mampu melepaskan semua ion hidrogen ke dalam air dan larut bersama aquades yang digunakan untuk netralisasi karbon aktif- HNO_3 , sehingga kandungan asam dalam karbon aktif rendah.

Hasil penelitian (Ulfah dkk., 2019), menunjukkan bahwa karbon aktif yang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 setelah netralisasi menggunakan aquades panas masih mengandung gugus permukaan asam, berupa *alkyl mercaptan* dari *S-H stretch*, *alcohol* dan *phenol* dari *H-bonded*, *phosphine* dari *P-H*, *C-H out-of-plane bend* dalam *vinyl* dan *C-H bend* dalam *alkyne*.

Tabel 3. Kualitas air sisa pengolahan batik setelah adsorpsi

Perlakuan	pH	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	TS (mg/L)	COD (ppm)	BOD (ppm)	DO (mg/L)
A_1B_1	6,50	0,54	0,53	1,06 ^d	428,06	29,60	3,68
A_1B_2	6,17	0,92	0,65	1,56 ^{bcd}	428,06	28,00	3,78
A_1B_3	6,59	0,60	0,80	2,08 ^{ab}	428,06	27,60	3,40
A_2B_1	4,51	0,51	0,63	1,14 ^d	296,35	21,60	3,40
A_2B_2	5,07	0,40	1,04	1,44 ^{cd}	296,35	22,40	3,50
A_2B_3	5,06	0,80	0,79	1,22 ^d	263,42	23,20	3,63
A_3B_1	6,33	0,60	0,60	1,20 ^d	148,18	9,20	3,55
A_3B_2	6,26	0,80	0,79	1,81 ^{abc}	164,64	11,20	3,50
A_3B_3	6,31	1,60	0,80	2,40 ^a	131,71	15,20	3,70
Standar*	6 - 9	Maks 50	-	-	Maks 150	Maks 50	-

Keterangan: Data yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama maka terdapat beda antar perlakuan pada tingkat kepercayaan 95%. Jenis karbon aktif: $A_1 = HNO_3$; $A_2 = H_3PO_4$; $A_3 = ZnCl_2$. Konsentrasi air limbah: $B_1 = 50\%$; $B_2 = 75\%$; $B_3 = 100\%$. Sumber: * = Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2014)

Konsentrasi air limbah tidak berpengaruh terhadap pH air limbah setelah proses adsorpsi dari pH 8,32 menjadi pH < 7. Dapat dijelaskan bahwa karbon aktif untuk adsorpsi telah diaktivasi menggunakan asam, sehingga pada permukaan pori karbon aktif masih mengandung gugus permukaan fungsional asam yang akan terdesorpsi ke dalam air limbah dan mengakibatkan penurunan pH air limbah.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, menyatakan bahwa pH air limbah menurut baku mutu air limbah industri tekstil adalah 6-9, sehingga limbah industri batik setelah proses adsorpsi yang memenuhi baku mutu limbah tersebut adalah yang adsorpsi menggunakan karbon aktif-HNO₃ (A₁) dan ZnCl₂ (A₃).

Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) air limbah batik setelah adsorpsi menggunakan karbon aktif-H₃PO₄ (A₂) sebesar 0,45 mg/L, sedangkan yang diadsorpsi menggunakan karbon aktif-HNO₃ (A₁) mengandung TSS 0,91 mg/L dan karbon aktif-ZnCl₂ (A₃) mengandung TSS sebesar 1 mg/L. Nilai TSS air limbah yang diadsorpsi menggunakan karbon aktif-H₃PO₄ (A₂) adalah yang terendah, dikarenakan karbon aktif -H₃PO₄ (A₂) lebih murni berdasar rendahnya kadar abu dibandingkan dengan karbon aktif A₁ dan A₃, sebagaimana tersaji pada Tabel 1. Karbon aktif A₁ dan A₃ menyerap padatan tersuspensi lebih sedikit, karena pori karbon aktif tertutup oleh mineral. Data ini didukung oleh kadar abu karbon aktif HNO₃ (3,22%) dan ZnCl₂ (8,14%) lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif H₃PO₄ (2,1%). Kadar abu menunjukkan banyaknya kandungan residu mineral seperti kalium, natrium, magnesium, kalsium, dan lain-lain yang tersebar di pori-pori karbon aktif (Zulkania dkk., 2018). Kandungan karbon dari karbon aktif akan mendukung kemampuannya dalam mengadsorpsi komponen non polar dari suatu adsorbat (Ulfah dkk., 2019).

Konsentrasi air limbah batik yang lebih tinggi sebanding dengan kadar TSS air limbah setelah adsorpsi yang juga masih tinggi. Makin tinggi konsentrasi air limbah pewarna sintesis, maka penurunan kandungan TSS dalam air limbah setelah proses adsorpsi juga makin rendah (Nurlela, 2018).

Total Dissolved Solid (TDS)

Kandungan bahan terlarut dalam air yang diameternya berukuran < 10⁻³ µm disebut sebagai *total dissolved solid* (TDS) (Rinawati dkk., 2016). Zat terlarut di dalam air limbah dapat berupa bahan kimia, zat warna maupun zat pengunci warna dalam proses pembuatan batik. Zat kimia dapat berupa NaOH, Na₂CO₃, H₂SO₄, sulfit

dan nitrit. Zat warna terdiri dari zat warna asam, basa, direk, reaktif, naftol dan bejana. Mordan merupakan bahan pengunci warna untuk fiksasi (Indrayani, 2018). Tingginya kandungan TDS akan berbahaya terhadap kehidupan air, karena adanya perubahan salinitas dan peningkatan toksisitas dari ion-ion. Salinitas perairan akan berpengaruh pada kehidupan fitoplankton yang dapat hidup pada salinitas rendah (Buana dkk., 2021).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *Total Dissolved Solid* (TDS) air limbah terendah setelah pengolahan adalah yang diadsorpsi menggunakan karbon aktif-HNO₃, hal ini disebabkan kemampuan karbon aktif menyerap zat terlarut dalam air limbah batik tertinggi. Hal ini didukung bahwa karbon aktif-HNO₃ memiliki kemampuan mengadsorpsi ion maupun metilen biru masing-masing sebesar 388,42 mg/g dan 82,86%, daya adsorpsi ini lebih tinggi dibandingkan karbon aktif lainnya.

Total Solid (TS)

Total solid (TS) adalah jumlah zat padat terlarut dan yang tersuspensi baik organik maupun anorganik. *Total solid* (TS) yang tinggi mengindikasikan tingginya padatan tersuspensi dan padatan terlarut didalam limbah yang dapat mencemari lingkungan apabila langsung dibuang (Rohmah & Sugiarto, 2008).

Total Solid (TS) air limbah batik setelah perlakuan adsorpsi menggunakan karbon aktif mengalami penurunan 49% atau dari 3,04 mg/L turun menjadi ± 1,54 mg/L. Kemampuan mengadsorpsi total padatan dalam air limbah batik belum optimal, ini disebabkan oleh karbon aktif dari ampas kopi dihasilkan belum sesuai SNI Nomor: 06-3730 Tahun 1995, apabila dilihat dari daya adsorpsi iod karbon aktif ampas kopi masih berkisar antara 302,32-388,42 mg/g, sedangkan standarnya minimal adalah 750 mg/g.

Makin rendah konsentrasi air limbah, maka TS air limbah setelah perlakuan adsorpsi menggunakan karbon aktif juga makin rendah. Hal ini disebabkan karena pada limbah konsentrasi 50% TSS dan TDS pada limbah cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan konsentrasi limbah 75% dan 100%.

Chemical Oxygen Demand (COD)

Air limbah batik mengandung COD awal sebesar 1070,16 ppm, setelah dilakukan adsorpsi memakai karbon aktif dari ampas kopi-HNO₃ (A₁), H₃PO₄ (A₂) dan ZnCl₂ (A₃) mengalami penurunan masing-masing menjadi 428,06 ppm, 285,38 ppm dan 148,18 ppm. Penurunan COD air limbah batik tertinggi dihasilkan oleh karbon aktif yang diaktivasi menggunakan ZnCl₂, namun berlawanan dari parameter mutu pada rendahnya daya adsorpsi ion maupun metilen biru dibandingkan karbon

aktif yang diaktivasi dengan H_3PO_4 (A_1) dan HNO_3 (A_2). Berdasarkan kondisi tersebut, kemungkinan mekanisme adsorpsi karbon aktif- H_3PO_4 (A_1) dan HNO_3 (A_2) adalah adsorpsi secara fisika dan secara umum oleh gaya *Van der Waals* dengan adsorbat yang mudah lepas dari adsorben. Jenis adsorpsi terhadap zat organik dapat berlangsung secara adsorpsi fisik yang didominasi oleh gaya *Van der Waals*. Melalui gaya *Van der Waals*, adsorbat akan terikat ke permukaan pori karbon aktif secara lemah, sehingga bebas bergerak tanpa antar muka dan terikat lemah (Çeçen & Aktaş, 2012), sehingga adsorbat dapat lepas kembali ke dalam cairan. Sedangkan pada penggunaan karbon aktif dari ampas kopi dengan aktivator $ZnCl_2$, kemungkinan sifat adsorpsinya mengikuti tipe adsorpsi kimia, sehingga bahan organik terikat secara kuat dan menghasilkan nilai COD yang lebih rendah (Çeçen & Aktaş, 2012).

Konsentrasi air limbah batik tidak berpengaruh terhadap nilai COD setelah proses adsorpsi. Hal ini dapat diartikan bahwa oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik yang terkandung di air limbah batik tidak signifikan jumlahnya. Kadar COD berdasar baku mutu air limbah industri tekstil adalah 150 mg/L, sehingga limbah industri batik setelah adsorpsi yang memenuhi persyaratan adalah limbah yang diadsorpsi menggunakan karbon aktif- $ZnCl_2$ (A_3).

Biological Oxygen Demand (BOD)

Kadar BOD air limbah industri batik sebelum proses adsorpsi sebesar 54,40 ppm, setelah proses diadsorpsi oleh karbon aktif dari ampas kopi- HNO_3 (A_1), H_3PO_4 (A_2), dan $ZnCl_2$ (A_3) mengalami penurunan masing-masing menjadi 28,40 ppm, 22,40 ppm, dan 11,87 ppm. Kadar BOD air limbah industri batik hasil penelitian ini linier linier dengan kadar COD, sehingga mekanisme adsorpsi bahan organik pada air limbah juga sama dengan yang telah dijelaskan pada sub bab kadar COD setelah adsorpsi.

Seiring dengan pekatnya konsentrasi air limbah, nilai BOD juga meningkat. Hal ini disebabkan nilai BOD berhubungan dengan kandungan bahan organik maupun pencemar dalam air (Prastiwi dkk., 2014). Nilai BOD air limbah industri batik setelah pengolahan berkisar antara 9,2 – 29,6 ppm. Kadar BOD air limbah industri batik hasil penelitian telah memenuhi Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil yaitu 60 mg/L.

Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut dalam air merupakan parameter kualitas air yang disebut sebagai *dissolved oxygen* atau *oxygen demand* (DO). Oksigen demand merupakan faktor penting untuk kehidupan ikan, ikan dapat hidup pada DO 5-6 mg/L, minimum 3 mg/L (Ningsih, 2017). Hasil penelitian menunjukkan DO air limbah sebelum

adsorpsi sebesar 1,2 mg/L dan setelah adsorpsi naik menjadi 3,4 – 3,78 mg/L. Kenaikan kadar DO tersebut disebabkan arang aktif ampas kopi telah menyerap zat organik dari air limbah industri batik, kadar oksigen terlarut dalam air (DO) juga meningkat, sedangkan nilai COD dan BOD menurun. Kadar DO air limbah industri batik setelah adsorpsi menggunakan ampas kopi telah memenuhi standar DO yang dapat memenuhi kebutuhan oksigen organisme dalam air yaitu 2 ppm (Salmin, 2005).

KESIMPULAN

Karbon aktif ampas kopi dengan aktivator HNO_3 , H_3PO_4 dan $ZnCl_2$ dapat digunakan untuk mengolah air limbah industri batik melalui proses adsorpsi, jika dilihat dari parameter mutu air limbah batik sebelum diolah dibandingkan dengan air limbah yang sudah diolah. Penggunaan adsorben ampas kopi dengan aktivator $ZnCl_2$ mampu memperbaiki kualitas air limbah industri batik. Air limbah batik dengan kualitas terbaik diperoleh setelah adsorpsi menggunakan adsorben ampas kopi dengan aktivator $ZnCl_2$ pada pengenceran air limbah 50%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada INSTIPER sehingga publikasi dari hasil penelitian yang didanai melalui DIP TA 2019 dapat diterbitkan.

KONFLIK KEPENTINGAN

Judul artikel "Pemanfaatan Ampas Kopi sebagai Bahan Karbon Aktif untuk Pengolahan Air Limbah Industri Batik" ini tidak memiliki potensi konflik kepentingan antar penulis maupun pemberi dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S., Khan, M. S., Bibi, W., Zekker, I., Burlakovs, J., Ghangrekar, M. M., Bhowmick, G. D., Kallistova, A., Pimenov, N., & Zahoor, M. (2021). Preparation of Activated Carbon from the Wood of *Paulownia tomentosa* as an Efficient Adsorbent for the Removal of Acid Red 4 and Methylene Blue Present in Wastewater. *Water*, 13(11), 1453. <https://doi.org/10.3390/w13111453>
- Alcañiz-Monge, J., Román-Martínez, M. del C., & Lillo-Ródenas, M. Á. (2022). Chemical Activation of Lignocellulosic Precursors and Residues: What Else to Consider? *Molecules*, 27(5), 1630. <https://doi.org/10.3390/molecules27051630>
- Aman, F., Mariana, M., Mahidin, M., & Maulana, F. (2018). Penyerapan Limbah Cair Amonia Menggunakan Arang

- Aktif Ampas Kopi. *Jurnal Litbang Industri*, 8(1), 47–52. <https://doi.org/10.24960/JLI.V8I1.3685.47-52>
- Astutik, A. (2015). *Pemanfaatan Ampas Kopi Sebagai Adsorben Pada Penurunan BOD, dan COD Dalam Limbah Cair Domestik* [Sarjana, Universitas Brawijaya]. <https://doi.org/10/medium.jpg>
- Atima, W. (2015). OD Dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Biosel: Biology Science and Education*, 4(1), 83. <https://doi.org/10.33477/bs.v4i1.532>
- Buana, S., Tambaru, R., Selamat, Muh. B., Lanuru, M., & Massinai, A. (2021). The role of salinity and Total Suspended Solids (TSS) to abundance and structure of phytoplankton communities in estuary Saddang Pinrang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1), 012081. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012081>
- Caetano, N., Silva, V., & Mata, T. M. (2012). Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Chemical Engineering Transactions*, 26, 267–272. <https://doi.org/10.3303/CET1226045>
- Çeçen, F., & Aktaş, Ö. (2012). Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment. Dalam *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9783527639441>
- Erawati, E., & Fernando, A. (2018). Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *JURNAL INTEGRASI PROSES*, 7(2), 58–66. <https://doi.org/10.36055/JIP.V7I2.3808>
- Esterlita, M. O., & Herlina, N. (2015). Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl₂, KOH, DAN H₃PO₄ dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepeh Aren (*Arenga Pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 47–52. <https://doi.org/10.32734/JTK.V4I1.1460>
- Fauzi, A. (2020). Penurunan Kadar Amonia Dengan Menggunakan Arang Aktif Ampas Kopi. *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 1(2), 22–26.
- Helfinalis, H., Sultan, & Rubiman. (2012). Padatan Tersuspensi Total di Perairan Selat Flores Boleng Alor dan Selatan Pulau Adonara Lembata Pantar. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 17(3), 148–153. <https://doi.org/10.14710/IK.IJMS.17.3.148-153>
- Herlandien, Y. L. (2013). *Pemanfaatan Arang Aktif sebagai Absorban Logam Berat dalam Air Lindi di TPA Pakusari Jember*. Universitas Jember.
- Huda, T., & Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Selulosa dari Alang-Alang. *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, 1(01), 9–19. <https://doi.org/10.20885/IJCA.VOL1.ISS1.ART2>
- Imawati, A., & Adhitiyawarman. (2015). Kapasitas Adsorpsi Maksimum ION Pb(II) oleh Arang Aktif Ampas Kopi Teraktivasi HCl dan H₃PO₄. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(2), 50–61.
- Indrayani, L. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik sebagai Salah Satu Percontohan Ipal Batik di Yogyakarta. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 12(2), 173–185. <https://doi.org/10.24843/EJES.2018.V12.I02.P07>
- Kusdarini, E., Budiarto, A., & Ghafarunnisa, D. (2017). Produksi karbon aktif dari datubara bituminus dengan aktivasi tunggal H₃PO₄, kombinasi H₃PO₄-NH₄HCO₃, dan termal. *Reaktor*, 17(2), 74–80. <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.2.74-80>
- Moelyaningrum, A. D. (2019). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Sebagai Adsorben Kadmium Pada Air Sumur. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 7(1), 011–019. <https://doi.org/10.26418/JTLB.V7I1.31115>
- Ningsih, D. A. (2017). *Uji Penurunan Kandungan BOD, COD, Dan Warna Pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Scirpus Grosuss Dan Iris Pseudacorus Dengan Sistem Pemaparan Intermittent*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nurlela. (2018). Pengolahan Air Limbah Batik Cap Khas Palembang. *Jurnal Redoks*, 3(1), 14–20. <https://doi.org/10.31851/REDOKS.V3I1.2787>
- Nurwidanti, O., Wignyanto, & Hidayat, N. (2016). Teknologi Dekolorisasi Limbah Cair Batik dengan Menggunakan Zeolit dan Arang Termodifikasi Pada Sistem Kontinyu. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*, 7(2), 96–103.
- Prastiwi, D. A., Santoso, J., & Wardiatno, Y. (2014). *Penggunaan ZnCl₂ sebagai Aktivator Karbon Aktif dari Limbah Padat Agar dan Aplikasinya sebagai Adsorben pada Limbah Cair Industri Tahu*. Institut Pertanian Bogor.
- Rinawati, Hidayat, D., Suprianto, R., & Dewi, P. S. (2016). Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid dan Total Suspended Solid) di Perairan Teluk Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 36–46.
- Rohmah, N., & Sugiarto, A. T. (2008). Penurunan TS (Total Solid) pada Limbah Cair Industri Perminyakan dengan Teknologi AOP. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*, 44–48.
- Rosson, E., Garbo, F., Marangoni, G., Bertani, R., Lavagnolo, M. C., Moretti, E., Talon, A., Mozzon, M., & Sgarbossa, P. (2020). Activated Carbon from Spent Coffee Grounds: A Good Competitor of Commercial Carbons for Water Decontamination. *Applied Sciences*, 10(16), 5598. <https://doi.org/10.3390/app10165598>
- Salmin. (2005). Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*, 30(3), 21–26.

- Saputro, E. A., Wulan, V. D. R., Winata, B. Y., Yogaswara, R. R., & Erliyanti, N. K. (2020). Process of Activated Carbon form Coconut Shells Through Chemical Activation. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 9(1), 23–28. <https://doi.org/10.22487/25411969.2020.v9.i1.15042>
- SNI. (1995). Arang Aktif Teknis (SNI 06-3730-1995). Dalam *Badan Standardisasi Nasional Indonesia* (SNI 06-3730-1995; hlm. 1–20). toaz.info-arang-aktif-teknis-sni-06-3730-1995-pr_50aa6d921c79ec6a6739d12adc8010ea.pdf.
- SNI. (2004a). *Air dan air limbah – Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter (SNI 06-6989.11-2004)* (hlm. 1–3). Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI. (2004b). *Air dan air limbah- Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri (SNI 06-6989.3-2004)* (hlm. 1–6). Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI. (2005a). *Air dan air limbah – Bagian 26: Cara uji kadar padatan total secara gravimetri (SNI 06-6989.26-2005)* (hlm. 1–5). Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI. (2005b). *Air dan air limbah – Bagian 27: Cara uji kadar padatan terlarut total secara gravimetri (SNI 06-6989.27-2005)* (hlm. 1–5). Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI. (2009a). *Air dan air limbah – Bagian 73: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara titrimetri (SNI 6989.73:2009)* (hlm. 1–7). Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI. (2009b). *Air dan air limbah-Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/COD) (SNI 6989.72:2009)* (hlm. 1–20). Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Suhariyanto, R., Purwanti, E., Setyawan, D., & Permana, F. H. (2019). Kemampuan Adsorben Arang Aktif Ampas Kopi dalam Mengurangi Kadar Limbah Industri Laundry. *Prosiding Seminar Nasional V 2019 Peran Pendidikan dalam Konservasi dan Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 234–251.
- Suprihatin, H. (2014). Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya. *Jurnal Kajian Lingkungan*, 2(2), 130–138.
- Sutono, N. A. (2017). *Karakteristik Ampas Kopi Robusta (Coffea canephora) pada Berbagai Tingkat Penyangraian dan Suhu Penyeduhan*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas jember.
- Tatra, S. J., Santoso, J., & Wardiatno, Y. (2014). *Pemanfaatan Karbon Aktif dengan Aktivator H3PO4 dari Limbah Padat Agar sebagai Penjerap pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit*. Institut Pertanian Bogor.
- Ulfah, M., Raharjo, S., Hastuti, P., & Darmadji, P. (2016). The potential of palm kernel shell activated carbon as an adsorbent for β -carotene recovery from crude palm oil. *AIP Conference Proceedings*, 1755(1), 130016. <https://doi.org/10.1063/1.4958560>
- Ulfah, M., Raharjo, S., Hastuti, P., & Darmadji, P. (2019). The influence of textural and chemical properties of palm kernel shell activated carbon on the adsorption capacity and desorption efficiency of β -carotene in a model system. *International Food Research Journal*, 26(1), 345–353.
- Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., & Ngah, C. W. Z. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218–235. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.02.051>
- Zulkania, A., Ghina Hanum, G., & Rezki, A.S. (2018). The potential of activated carbon derived from bio-char waste of bio-oil pyrolysis as adsorbent. *MATEC Web of Conferences* 154, 01029 (2018):1-6. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815401029> ICET4SD 2017