

Kemampuan cangkang telur sebagai adsorben untuk meningkatkan baku mutu air limbah *laundry* (air deterjen)

The capability of eggshells as an adsorbent to reduce anionic surfactant levels in laundry wastewater

Siti Salamah^{1*}, Ilham Mufandi², Arida Ayu Krismawati³, Saniyah Humairrah⁴

^{1,3,4}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

²Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Darussalam Gontor, Indonesia

*Email: sitisalamah@che.uad.ac.id

Abstrak

Limbah *laundry* banyak mengandung zat surfactant yang dihasilkan dari sabun, detergen dan zat kimia lain. limbah *laundry* perlu dilakukan penanganan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan untuk mengurangi kadar surfactant. Salah satu teknologi yang efektif digunakan adalah proses adsorpsi. Fokus penelitian ini adalah menguji kemampuan adsorben yang diperoleh dari cangkang telur untuk meningkatkan mutu baku air limbah *laundry* (air deterjen). Metode penelitian yang dilakukan adalah membuat karbon aktif dari cangkang telur sebagai adsorben dengan mencuci bersih cangkang telur kemudian dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada suhu 110 °C. Cangkang telur kemudian dihaluskan dan dimasukan kedalam furnace dalam waktu 2 jam pada suhu 600 °C. Karbon aktif diaktivasi menggunakan H₃PO₄ 4N. Tahapan akhir adalah melakukan uji karakteristik meliputi luas permukaan spesifik, volume pori, dan diameter pori. Hasil penelitian diketahui bahwa adsorben memiliki luas permukaan spesifik 11,037 m²/g, diameter pori 6,550 nm dan volume pori 0,049 cc/g. Limbah *laundry* yang telah diadsorpsi menggunakan variabel berat dan waktu menghasilkan limbah *laundry* dengan penurunan kadar TDS) sebesar 7,79 %, TSS sebesar 67,82 %, COD sebesar 59,69 %, BOD sebesar 44,16 %, deterjen sebesar 84,6 %. Pengujian mutu baku air *laundry* dan kemampuan daya serap adsorben telah dijelaskan pada penelitian ini.

Kata Kunci: Adsorben, Cangkang Telur, limbah *laundry*, Surfaktan, Mutu Air

Abstract

Laundry waste contains a lot of surfactants which are produced from soaps, detergents and other chemicals. Laundry waste needs to be handled first before being discharged into the environment to reduce surfactant levels. One of the effective technologies used is the adsorption process. The focus of this research is to test the ability of adsorbents obtained from egg shells to improve the quality of raw laundry wastewater (detergent water). The research method used was to make activated charcoal from eggshells as an adsorbent by washing the eggshells clean and then drying them in an oven for 1 hour at 110 °C. The eggshells are then mashed and put into the furnace within 2 hours at 600 °C. Activated charcoal is activated using H₃PO₄ 4N. The final stage is to carry out characteristic tests including specific surface area, pore volume, and pore diameter. The results showed that the adsorbent had a specific surface area of 11.037 m²/g, pore diameter of 6.550 nm and pore volume of 0.049 cc/g. Laundry waste that has been adsorbed using weight and time variables produces laundry waste with a decrease in TDS) of 7.79 %, TSS of 67.82 %, COD of 59.69 %, BOD of 44.16 %, detergent of 84.6 %. Testing the quality of raw laundry water and the absorption capacity of the adsorbent has been described in this study.

Key Word: Adsorbents, egg shells, laundry waste, surfactants, water quality

1. PENDAHULUAN

Usaha *laundry* di Indonesia semakin diminati oleh masyarakat untuk meningkatkan perekonomian. Namun kondisi ini berbanding terbalik dengan kondisi lingkungan. Semakin banyak usaha *laundry* yang bermunculan maka semakin banyak air limbah *laundry* yang dihasilkan. Menurut (Ciabatti, dkk., 2009) proses 1 kg bahan pakaian yang dicuci akan menghasilkan limbah 400 m³ limbah *laundry*. Limbah *laundry* ini banyak dihasilkan oleh pengusaha *laundry* yang mengandung detergen, sabun dan bahan kimia lain Kandungan deterjen dalam limbah *laundry* adalah Fosfat yang merupakan yang dapat mencemari lingkungan dan menurunkan kualitas ekosistem biota air (Patel M., dkk. 2017). Bahan baku deterjen sebagian besar menggunakan LAS (*linear alkyl sulfonate*) (Rosariawari, F, 2008) yang merupakan *anionic surfaktan* dapat menurunkan tegangan permukaan air. Kandungan deterjen dalam limbah *laundry* adalah Fosfat yang berasal dari Sodium Tripolyphosphate (STPP) (HERA, 2003). Menurut Ciabatti, I. dkk. (2009), limbah *laundry* mengandung minyak, logam dan COD 1200-20.000 mg/L. Limbah *laundry* yang dibuang tanpa melalui proses pengolahan akan berdampak pada perairan seperti berkurangnya kadar oksigen seperti *eutrofikasi* dan terganggunya biota air (Zairinayati dan Heri, S., 2019).

Limbah *laundry* mengandung bahan berbahaya bagi lingkungan, jika sekaran langsung dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses lebih lanjut. Penanganan limbah *laundry* diperlukan untuk menjaga lingkungan. Menurut Utomo dkk., (2018) beberapa cara filtrasi, koagulasi, proses fotokatalis dan adsorpsi merupakan cara untuk mengurangi kadar pencemar dalam limbah. Adsorpsi adalah proses penyerapan dengan menggunakan material yang berpori (Jawad A.H., dkk, 2022) sebagai contoh penggunaan karbon aktif. Bahan baku pembuatan karbon aktif dapat dimodifikasi dengan material salah satunya adalah cangkang telur.

Telur merupakan salah satu komoditi yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Telur dapat dibuat untuk berbagai jenis makanan dan roti serta komponen penambah masakan lainnya. Selain rasanya yang enak, telur juga mengandung gizi yang baik untuk tubuh manusia. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2018 produksi telur ayam petelur di Indonesia mencapai 1.644.460 ton dan telur itik manila mencapai 292.035 ton. Dari data produksi tersebut dapat dilihat bahwa limbah dari cangkang

telur tersedia melimpah dan masih banyak yang belum diolah menjadi produk yang bermanfaat. Menurut (Zonato dkk., 2022) cangkang telur dapat dijadikan adsorben untuk menghilangkan pewarna dan ion logam dalam larutan berair. Adsorben dari cangkang telur juga dapat digunakan menghilangkan surfaktan potensial untuk air limbah cuci tangan (Turyasingura dkk., 2023). Selain itu, cangkang telur dapat digunakan dalam industri-industri kerajinan, pupuk organik dan pakan ternak. Dilihat dari zat-zat penyusun dari cangkang telur sendiri, ternyata cangkang telur dapat digunakan untuk media adsorben.

Cangkang telur merupakan material yang mengandung kalsium karbonat sebagai kristal, 30 % cangkang telur merupakan limbah padat (Ahmed, T.A.E., dkk, 2021). Cangkang telur mengandung kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Tembaga (Cu), Besi (Fe), perak (Ag), dan sulfur (S), (Patel, M., dkk., 2017). Menurut Ajala dkk., (2018), kandungan berbagai unsur dalam cangkang, potassium: 17,6 mg/L dan Cu: 0,063 mg/L. Adanya karbon dan oksigen dalam cangkang telur merupakan alternatif bahwa cangkang telur dapat digunakan sebagai adsorben dari logam yang terdapat dalam limbah.

Adsorben cangkang telur mempunyai lebih dari 7000 – 17000 mikropori. Kulit telur terdiri dari lapisan kutikula, lapisan *spons*, dan lapisan *mammillary* (Rivera, E.M, dkk., 1999). Pada lapisan *spons* dan *mammillary* terdiri dari serat protein dan berpori serta dapat digunakan sebagai penyerap. Sehingga difungsikan sebagai adsorben (Maslahat, M., dkk. 2015). Menurut Jasinda (2013) cangkang telur ayam dengan proses aktivasi pada temperatur 600 °C dapat menghasilkan luas permukaan 2700,978 m²/g sehingga dapat digunakan sebagai adsorben. Sifat adsorpsi yang signifikan dibuat dengan proses kimia dan termal (Ahmed dkk., 2022). Aplikasi adsorben banyak digunakan untuk pengolahan limbah cair (Jamilatun, 2021; Mufandi dkk., 2020).

Menurut Schaafsma, A., dkk. (2000) cangkang telur ayam mengandung CaCO₃ 39%. Menurut Utomo, A.W., (2018) kulit telur ayam, bebek, dan telur puyuh yang telah diendapkan menjadi CaCO₃ mengandung kalsium berturut-turut 263,97; 330,33; dan 317,28. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa kadar CaCO₃ yang paling tinggi ada pada cangkang telur bebek. Kalsium karbonat (CaCO₃) ini termasuk komponen polar yang dapat digunakan sebagai adsorben polar (Hajar, E.W.I., dkk. 2018, Norhusna, dkk., 2020).

Dari uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah cangkang telur menjadi karbon aktif sebagai adsorben. Pada penelitian ini, adsorben diaplikasikan untuk meningkatkan mutu baku air limbah *laundry* sehingga limbah *laundry* yang terbuang tidak mencemari lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

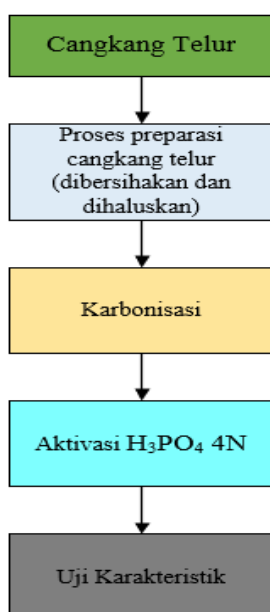
2.1. Bahan dan alat

Penelitian ini menggunakan limbah cair *laundry* yang diperoleh dari pengusaha *laundry* di sekitar Universitas Ahmad Dahlan. Bahan lain yang digunakan adalah aquades, cangkang kulit telur yang diperoleh dari kantin Universitas Ahmad Dahlan dan H_3PO_4 4N sebagai bahan aktivasi karbon aktif.

Alat yang digunakan adalah pengaduk kaca, sendok plastik, *magnetic stirrer*, *hot plate*, oven, erlenmeyer, *screening*, gelas beker 100 mL, cawan porselin, indikator pH, lumpang porselin, labu ukur 100mL, kertas saring, gelas arloji, corong gelas, timbangan analitik, serta *furnace*. Semua alat ini diperoleh dari laboratorium Teknik Kimia Universitas Ahmad Dahlan.

2.2. Prosedur Penelitian

Pada tahapan ini dijelaskan secara detail prosedur penelitian yang dilakukan. Dua proses penting pada penelitian ini adalah 1) pembuatan adsorben dari cangkang telur dan 2) pengujian adsorben. Prosedur pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pembuatan karbon aktif dari cangkang telur

Prosedur penelitian sebagai berikut:

2.2.1. Pembuatan Adsorben

Adsorben dibuat dari cangkang telur yang telah dicuci bersih kemudian dikeringkan menggunakan oven yang membutuhkan waktu selama 1 jam pada suhu 110 °C. Proses ini untuk menurunkan atau menghilangkan kadar air pada cangkang telur. Selanjutnya proses pembuatan karbon aktif dengan menggunakan alat *furnace*. Proses ini yang disebut proses karbonisasi. Cangkang telur dihaluskan sampai berukuran kecil dan dimasukkan ke dalam *furnace* menggunakan bantuan alat cawan porselin. Proses karbonisasi membutuhkan waktu kurang lebih 2 jam pada suhu 600 °C hingga cangkang telur menjadi arang. Proses selanjutnya adalah proses aktivasi dimana proses ini bertujuan untuk meningkatkan daya serap karbon aktif dan memperbesar pori. Proses aktivasi dapat memecah ikatan hidrokarbon yang dapat merubah sifat karbon aktif. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam 500 gram arang dalam larutan aktivator H_3PO_4 konsentrasi 4 N dengan waktu perendaman 1 hari. Suspensi disaring dan dicuci menggunakan aquades, karbon aktif yang telah dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C dengan waktu 3 jam. Karbon aktif kemudian dilakukan proses pengujian karakteristik meliputi luas permukaan spesifik, volume pori dan diameter pori dengan menggunakan alat *Surface Area Analyzer (SAA)* di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

2.3 Pengujian Adsorben

Pengujian adsorben diaplikasikan langsung pada limbah air *laundry*. Tahapan yang dilakukan adalah menimbang 5 gram karbon aktif yang sudah di aktivasi kemudian dimasukan kedalam gelas beaker yang berisi 200 ml air loundy. Campuran adsorben dan air *laundry* tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit, selanjutnya disaring. Volume larutan yang telah diabsorpsi diukur. Percobaan ini dilakukan dengan variasi berat yang berbeda yaitu 10, 15, dan 20 gram adsorben.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Karbon aktif

Pada penelitian ini, tiga karakteristik penting pada karbon aktif yang digunakan yaitu luas permukaan, diameter pori, dan volume pori. Tiga karakteristik ini menjadi parameter penting untuk mengetahui kualitas karbon aktif sebagai adsorben.

Luas permukaan sebagai parameter untuk menunjukkan kapasitas adsorpsi. Diameter pori digunakan untuk menentukan jenis pori. Hasil karakteristik karbon aktif dari cangkang telur terdapat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Karakteristik Karbon Aktif

Material	Luas Permukaan	Diameter Pori	Volume Pori
karbon aktif	11,037 m ² /g	6,550 nm	0,049 cc/g

Hasil analisis luas permukaan spesifik adsorben dari limbah cangkang telur adalah 11,037 m²/g. Luas permukaan spesifik berpengaruh pada daya penyerapan adsorben. Semakin luas permukaan karbon aktif maka daya penyerapan semakin tinggi (Putri Miftakhul Rohmah, 2008). Hasil pada penelitian ini relevan dengan hasil penelitian (Ni Ayu Putu Tejawati, 2010) yang telah melakukan penelitian karakteristik karbon aktif sebagai adsorben ion timbal (II) dan krom (III). Dari hasil penelitian (Ni Ayu Putu Tejawati, 2010) menunjukkan bahwa karbon yang telah diaktivasi dapat mengalami peningkatan luas permukaan.

Luas permukaan pada penelitian ini relatif kecil dikarenakan arang cangkang telur tidak dipanaskan saat proses aktivasi dan kurang lamanya waktu *furnace*. Menurut Hao, dkk. (2019), luas permukaan adsorben akan bertambah jika dipanaskan dalam suhu yang tinggi. Hal ini kemungkinan juga disebabkan adanya pengotor lain yang tidak larut dalam solven yang masih menempel di adsorben, menurut Ajaleta dkk., (2018) bahwa cangkang telur mengandung unsur Fe, Mg, Cu, dan S yang mana unsur tersebut dapat menjadi pengaruh pada kualitas adsorben sehingga perlu dilakukan proses kalsinasi pada suhu yang tinggi.

Volume pori pada penelitian ini menunjukkan volume ruang yang ada pada adsorben. Hal ini menunjukkan kapasitas ruang adsorben dalam menyerap air limbah *laundry*. Hasil dari pengujian yang diperoleh bahwa diameter pori cukup besar tetapi volume pori kecil yaitu 0,049 cc/g, hal ini menunjukkan bahwa bentuk dari ruangan di dalam pori semakin mengecil dan menyebabkan permukaan untuk menyerap zat kecil.

Material berpori dapat diklasifikasikan menjadi tiga katagori, menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) dibagi menjadi mikropori ($d < 2$ nm), mesopori ($d = 2-50$ nm) dan

makro pori ($d > 50$ nm) (Sotomayor., dkk., 2018). Berdasarkan penelitian tersebut diameter pori karbon aktif dari cangkang telur yang didapat yaitu sebesar 6,550 nm termasuk dalam kelompok material mesopori, sehingga dapat digunakan sebagai adsorben walaupun nilai dari luas permukaan dan volume porinya kecil.

3.2. Hasil Pengujian Limbah *Laundry* dengan Adsorben dari Cangkang Telur

Bahan baku mutu air limbah menjadi parameter penting untuk menjaga lingkungan. Berdasarkan Menteri Negara Lingkungan Hidup, mutu air merupakan ukuran batas atau kadar unsur pencemar yang ditetapkan pada air limbah. Maka air limbah yang dibuang ke lingkungan harus memenuhi baku mutu kualitas air. Parameter kualitas air dapat diketahui dari hasil pengujian. Menurut Situmorang (2017) kualitas air ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu: TDS, TSS, BOD, COD, Deterjen, suhu dan pH.

Pada penelitian ini air limbah *laundry* yang diuji adalah yang diberi perlakuan adsorben 25 gram dengan waktu 150 menit. Hal itu dikarenakan dari semua variabel yang digunakan pada penelitian ini bahwa adsorben 25 gram dengan waktu 150 menit menghasilkan air limbah yang paling jernih. Hasil pengujian mutu baku limbah *laundry* sebelum dan setelah diadsopsi dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Mutu Baku Limbah *Laundry*

Parameter	Hasil Uji	
	Sebelum	Setelah
BOD ₅ mg/L	637,5	356
COD mg/L	1698	684
TSS mg/L	404	130
TDS mg/L	1219	1124
Suhu °C	20,9	22,1
pH	7,3	7,9

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah ukuran berapa banyak oksigen yang digunakan oleh mikro organisme dalam proses oksidasi Aerob di dalam air yang mana proses BOD dapat digunakan oleh bakteri untuk mengoksidasi menjadi bahan anorganik. Menurut Umaly dan Cuvin, (1988), Dalam

BOD terdapat bahan organik yang akan terdekomposisi dan siap terurai (*readily decomposable organic matter*). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa penurunan nilai BOD sebesar 44,16 % yang nilai awalnya sebesar 637,5 mg/L menjadi 356 mg/L. Nilai COD dan BOD yang dihasil masih relatif tinggi meskipun sudah terjadi penurunan nilai, hal ini disebabkan karena luas permukaan adsorben yang relatif kecil, namun proses ini dapat membuktikan bahwa adsorben dari cangkang telur dapat menurunkan kadar BOD dan COD pada air limbah.

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, C.E., 1990). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan telah terjadi penurunan nilai COD sebesar 59,69 % yang nilai awalnya sebesar 1698 mg/L menjadi 684,5 mg/L. Menurut Standar kualifikasi Limbah cair yang ditetapkan pemerintah (Effendi, H., dkk., 2019) BOD limbah cair sebesar 150 mg/L dan COD limbah cair sebesar 300 mg/Lt.

Total Suspended Solid (TSS) adalah partikel-partikel yang tersuspensi dalam air berupa komponen biotik (fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi,dll). Partikel-partikel ini dapat berwujud mineral atau senyawa organik. Apabila di dalam cairan terdapat banyak butir padat yang tidak terlarut maka cahaya matahari berhamburan dan kekeruhan air meningkat. Hal ini dapat meningkatkan pertumbuhan organisme produser (Agustira, R., dkk., 2013). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan telah terjadi penurunan nilai TSS sebesar 67,82 % yang nilai awalnya sebesar 404 mg/L menjadi 130 mg/L. Menurut Standar kualifikasi Limbah cair yang ditetapkan pemerintah (Effendi, H., dkk., 2019) TSS limbah cair sebesar 200 mg/L. sehingga hasil dari proses adsorpsi ini sudah memenuhi baku mutu limbah yang dapat dibuang ke lingkungan.

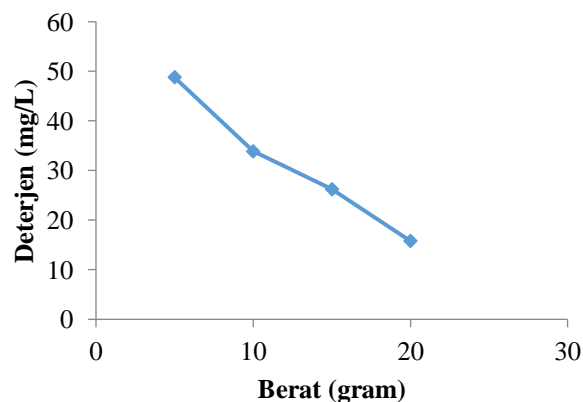
TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah ukuran jumlah partikel padat yang terlarut dalam cairan (Agustira, R., dkk., 2013). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan telah terjadi penurunan nilai TDS sebesar 7,79 % yang nilai awalnya sebesar 1219 mg/L menjadi 1124 mg/L. limbah yang dapat dilepas ke lingkungan.

Suhu pada sampel limbah *laundry* yang tidak diberi perlakuan sebesar 20,9 °C, namun pada limbah *laundry* yang telah diberi perlakuan mengalami kenaikan tetapi masih pada suhu normal yaitu 22,1 °C dikarenakan kedua sampel tersebut tidak diawetkan

dan melebihi waktu simpan. kemungkinan juga terjadi karena selama proses terjadi aliran air yang menyebabkan oksigen terlarut di dalam air mengalami penurunan akibatnya aktivitas mikroorganisme menurun sehingga suhu air limbah naik (Suharto, B., dkk., 2020). Hasil pH pada sampel limbah *laundry* yang tidak diberi perlakuan sebesar 7,3 namun pada limbah *laundry* yang telah diberi perlakuan mengalami kenaikan yang hampir mendekati basa yaitu 7,9 dikarenakan kedua sampel tersebut tidak diawetkan dan melebihi waktu simpan. Faktor yang mempengaruhi nilai pH yaitu suhu dan konsentrasi senyawa organik dan anorganik di dalamnya, salah satunya yaitu CaCO_3 .

3.3. Kemampuan Daya Serap Karbon aktif terhadap Deterjen

Daya serap karbon aktif menjadi parameter penting untuk menunjukkan kualitas karbon aktif pada proses adsorpsi. Karbon aktif yang bagus ditandai dengan daya serap yang tinggi. Pada penelitian ini, karbon aktif diaplikasikan untuk menyerap air limbah deterjen. Hasil uji daya serap/adsorpsi karbon aktif dengan variasi berat dan waktu 150 menit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Adsorpsi

Berdasarkan Gambar 2, berat karbon aktif berbanding lurus dengan daya serap pada deterjen. Deterjen yang terkandung dalam limbah *laundry* akan menurun dengan penggunaan karbon aktif yang semakin banyak. Hal itu disebabkan semakin besar luas permukaan adsorben sehingga zat yang diserap semakin banyak. Hal tersebut dikuatkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Abdi, S.S., (2008). Pada penggunaan adsorben karbon aktif semakin banyak maka luas permukaan pori semakin besar maka daya adsorpsinya juga semakin meningkat.

4. KESIMPULAN

Cangkang telur sebagai limbah yang melimpah dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk meningkatkan mutu baku air. Pada penelitian ini cangkang telur diproses menjadi karbon aktif yang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 4N. Aktivasi digunakan untuk meningkatkan kualitas adsorben dari cangkang telur. Karakteristik karbon aktif dari cangkang telur yang diuji memiliki luas permukaan 11,037 m^2/g , diameter pori 6,550 nm dan volume pori 0,049 cc/g . Perlakuan optimal absorbansi pada penelitian ini terjadi pada adsorben dengan berat 25 gram dengan waktu 150 menit yaitu penurunan kadar TDS sebesar 7,79 %, TSS sebesar 67,82 %, COD sebesar 59,69 %, BOD sebesar 44,16 %, deterjen sebesar 84,6 %. Penelitian ini mampu membuktikan bahwa adsorben dari cangkang telur dapat meningkatkan kualitas baku mutu air. Namun perlakuan adsorben dari cangkang telur perlu ditingkatkan lagi menggunakan variabel yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada LPPM Universitas Ahmad dahlan atas bantuan dana penelitian dengan nomor PD-238/SP3/LPPM-UAD/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, S.S., 2008, Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau sebagai Adsorben, *Thesis*, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia. <http://lib.ui.ac.id/bo/uibo/detail.jsp?id=128091&lokasi=lokal>
- Ahmed, A. S., Alsultan, M., Hameed, R. T., Assim, Y. F., & Swiegers, G. F. (2022). High Surface Area Activated Charcoal for Water Purification. *Journal of Composites Science*, 6(10), 1–9. <https://doi.org/10.3390/jcs6100311>
- Agustira, R., Lubis, K. S., dan Jamila, 2013, Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air dan Debit Sungai pada Kawasan Das Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka, *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1(3), 615-625, <https://doi.org/10.32734/jaet.v1i3.2939>.
- Ahmed, T.A.E., Wu, L., Younes, M. & Hincke, M., 2021, Biotechnological Applications of Eggshell: Recent Advances, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9(1): 1–19, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.675364>.
- Ajala, E., Eletta, O.A.A., Ajala, M.A. & Oyeniyi, S.K., 2018, Characterization and Evaluation of Chicken Eggshell for use as a Bio-Resource, *Arid Zone Journal of Engineering*, 14(1): 26–40.
- <https://www.azojete.com.ng/index.php/azojete/article/view/95>
- Boyd, C.E., 1990, Water Quality in Ponds for Aquaculture, Alabama Agricultural Experiment Station Auburn University, Alabama
- Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E. & Tognotti, F., 2009, Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater, *Desalination*, 245(1): 451–459, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.02.008>.
- Direktorat Jenderal Peternakan Dan Kesehatan Hewan, Kementan RI, 2019, Produksi Telur Itik/Itik Manila Menurut Provinsi, 2009-2018. <https://www.bps.go.id/dynamic/table/2015/12/22%2000:00:00/1080/produksi-telur-itik-itik-manila-menurut-provinsi-2009-2018.html>(Accessed 11.10.19)
- Effendi, H., Seroja, R. & Hariyadi, S., 2019, Response surface method application in tofu production liquid waste treatment, *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(2): 298–304, <https://doi.org/10.22146/ijc.31693>.
- Hajar, E.W.I., Sitorus, R.S., Mulianingti, N. & Welan, F.J., 2018, Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ dan Cd²⁺ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam, *Konversi*, 5(1): 1, <https://doi.org/10.20527/k.v5i1.4771>.
- Hao, P., Shi, Y., Li, S., Zhu, X. & Cai, N., 2019, Adsorbent Characteristic Regulation and Performance Optimization for Pressure Swing Adsorption via Temperature Elevation, *Energy and Fuels*, 33(3): 1767–1773, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02829>.
- HERA, 2003, Targeted Risk Assessment of Sodium Tripolyphosphate (STPP) CAS: 7758-29-4, *Technical Report*, Human & Environmental Risk Assessment, Belgium, <https://www.heraproject.com/files/13-F-04-HERA-STPP-full-web-wd.pdf>
- Jamilatun, S. (2021). Activation of Coconut Shell Charcoal and Application for Bleaching Waste Cooking. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 8(1), 56–65.
- Jasinda, 2013, Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur Bebek yang Diaktivasi Secara Termal, *Skripsi*, Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara. <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/20761>
- Jawad, A.H. & Surip, S.N., 2022, Upgrading low rank coal into mesoporous activated carbon via microwave process for methylene blue dye adsorption: Box Behnken Design and mechanism study, *Diamond and Related Materials*, 127(1): 109199, <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109199>

- Maslahat, M., Taufik, A. & Subagja, P.W., 2017, Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur sebagai Biosorben untuk Adsorpsi Logam Pb dan Cd, *Jurnal Sains Natural*, 5(1): 92, <https://doi.org/10.31938/jsn.v5i1.104>.
- Mufandi, I., Jamilatun, S., Purnama, D. A. A., & Melani Putri, R. U. (2020). Effectiveness Of Activated Carbon From Coconut Shell Through Potassium Hydroxide. *Al-Kimiya*, 7(2), 62–66. <https://doi.org/10.15575/ak.v7i2.7956>
- Ni Ayu Putu Tejawati, M. M. dan O. R. (2010). Karakterisasi Karbon Aktif Komersial Serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Timbal(Ii) Dan Krom(Iii). *Jurnal Kimia II*, 2(10), 181–186.
- Norhusna, M.N., Kamil, N.H.N., Mansor, A.I. & Maarof, H.I., 2020, Adsorption analysis of fluoride removal using graphene oxide/eggshell adsorbent, *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(1): 579–586, <https://doi.org/10.22146/ijc.43481>.
- Patel, M., Sheth, K.N. & Sheth, N., 2017, A Study on Characterization & Treatment of Laundry Effluent, *IJIRST-International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 4(1): 50–55. <http://www.ijirst.org/articles/IJIRSTV4I1017.pdf>
- Putri Miftakhul Rohmah, A. S. R. (2008). Pengaruh Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Sekam Padi Dengan Aktivator Koh. *Konversi*, 3(1), 39–49. <https://doi.org/10.1616/1476-2137.15487>
- Rivera, E.M., Araiza, M., Brostow, W., Castaño, V.M., Díaz-Estrada, J.R., Hernández, R. & Rodríguez, J.R., 1999, Synthesis of hydroxyapatite from eggshells, *Materials Letters*, 41(3): 128–134, [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(99\)00118-4](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(99)00118-4).
- Rosariawari, F., 2008, Penurunan Konsentrasi Limbah Deterjen Menggunakan Furnace Bottom Ash (FBA), *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 4(1): 1-2. http://eprints.upnjatim.ac.id/1319/1/TL-firra_43.pdf
- Schaafsma, A., Pakan, I., Hofstede, G.J.H., Muskiet, F.A.J., Van Der Veer, E. & De Vries, P.J.F., 2000, Mineral, amino acid, and hormonal composition of chicken eggshell powder and the evaluation of its use in human nutrition, *Poultry Science*, 79(1): 1833–1838, <https://doi.org/10.1093/ps/79.12.1833>.
- Situmorang, M., 2007, *Kimia Lingkungan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=1137203#>
- Sotomayor, F., Quantatec, A.P., Sotomayor, F.J., Cychosz, K.A. & Thommes, M., 2018, Characterization of Micro/Mesoporous Materials by Physisorption: Concepts and Case Studies, *Acc. Mater. Surf. Res.*, 3(2): 34–50. https://www.hyomen.org/en/wp-content/uploads/papers/vol3_no2/sotomayor/sotomayor_40.pdf
- Suharto, B., Anugroho, F. & Putri, F.K., 2020, Degradation Phosphate Level of Laundry Wastewater Using Column Adsorption with Granular Activated Carbon (GAC) Media, *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(1): 36–46, <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.01.5>.
- Turyasingura, M., Wakatuntu, J., Lubwama, M., Jjagwe, J., Hensel, O., & Olupot, P. W. (2023). Optimisation of eggshell-zeolite composite as a potential surfactant adsorbent for hand-washing wastewater. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7(December 2022), 100284. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100284>
- Umary, R.C, dan Ma L.A. Cuvin, 1988, *Limnology: Laboratory and field guide Physicochemical factors*, Biological factors, National Book Store, Inc. Publishers. Metro Manila.
- Utomo, A.W., 2018, Pemanfaatan Kulit Telur Ayam, Bebek dan Burung Puyuh pada Proses Pembekuan Darah, *Skripsi*, Jurusan Kimia, Universitas Negeri Semarang. <http://lib.unnes.ac.id/id/eprint/22994>
- Utomo, W.P., Nugraheni, Z.V., Rosyidah, A., Shafwah, O.M., Naashihah, L.K., Nurfitriah, N. & Ullfindrayani, I.F., 2018, Penurunan Kadar Surfaktan Anionik dan Fosfat dalam Air Limbah Laundry di Kawasan Keputih, Surabaya menggunakan Karbon Aktif, *Akta Kimia Indonesia*, 3(1): 127, <https://doi.org/10.12962/j25493736.v3i1.3528>
- Zairinayati, Z.R. & Shatriadi, H., 2019, Biodegradasi Fosfat pada Limbah Laundry menggunakan Bakteri Consortium Pelarut Fosfat, *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(1): 57, <https://doi.org/10.14710/jkli.18.1.57-61>.
- Zonato, R. de O., Estevam, B. R., Perez, I. D., Aparecida dos Santos Ribeiro, V., & Boina, R. F. (2022). Eggshell as an adsorbent for removing dyes and metallic ions in aqueous solutions. *Cleaner Chemical Engineering*, 2(May), 100023. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100023>