



Pengolahan Air Limbah *Laundry* Menggunakan Adsorpsi Cangkang Telur Ayam

Novita Sari Fasihah¹, Yeyen Maryani², Heri Heriyanto³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Abstract

Received: 21 September 2022
Revised: 25 September 2022
Accepted: 30 September 2022

The increase in the number of washing industries each year parallels the increase in waste production. Without previous treatment, the created laundry waste will be disposed of straight into the environment, causing environmental damage. Laundry waste is characterized by high concentrations of BOD, COD, and LAS, which contribute to environmental damage. This study's objective is to treat laundry waste by adsorption using shell waste. Observed variables included powder size (50, 100, 150, and 200 mesh) and contact time (30, 60, 90 and 120 minutes). The filtrate was tested to determine the concentrations of BOD, COD, and LAS. The obtained results indicate that the optimal adsorbent size is 150 mesh, which can lower BOD levels by 80%, LAS levels by 38.85%, and COD levels by 67.34 %. The optimal period for decreasing COD and BOD levels is 90 minutes, which can reduce BOD levels by 80 percent and COD levels by 74.5 percent, and 120 minutes, which can cut LAS levels by 35.67 percent. The appropriate LAS adsorption isotherm is the Freundlich isotherm with R² of 0.95023. The use of eggshell waste as an adsorbent demonstrates the significance of environmentally friendly waste treatment technology to laundry waste treatment.

Keywords: Laundry Wastewater Treatment, Chicken Egg, Shell Adsorption.

(*) Corresponding Author: novitafasihah10@gmail.com

How to Cite: Fasihah, N., Maryani, Y., & Heriyanto, H. (2022). Pengolahan Air Limbah Laundry Menggunakan Adsorpsi Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(20), 129-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7239004>

PENDAHULUAN

Salah satu segmen ekonomi rumahan yang tumbuh paling cepat adalah bisnis *laundry*. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Asosiasi Laundry Indonesia pertumbuhan usaha laundry di Indonesia mencapai 20% per tahun (Marifati, 2020). Peningkatan jumlah jasa laundry setiap tahunnya juga terjadi di pedesaan misalnya di Kecamatan Anyer Kabupaten Serang Provinsi Banten. Berdasarkan hasil survei peneliti Kecamatan Anyer yang memiliki luas 56,81 km² pada tahun 2021, Kecamatan Anyer memiliki lebih dari 25 industri *laundry* rumahan yang aktif melakukan kegiatan laundry setiap harinya. Kegiatan *laundry* yang diawali dengan mencuci pakaian, menjemur, dan terakhir menyetrika pakaian (Nugroho et al., 2020). Adanya peningkatan jumlah jasa laundry akan berbanding lurus dengan banyaknya limbah cair yang dihasilkan pada akhir kegiatannya (Nugroho et al., 2020). Volume tipikal limbah cair yang dihasilkan oleh industri *laundry* adalah 13 liter per kilogram pencucian, sehingga volume harian air limbah yang dihasilkan oleh sektor laundry rumahan adalah 2.160 liter (Nisa et al., 2019). Limbah yang dihasilkan tersebut akan dibuang langsung ke lingkungan. Bahkan industri *laundry*



merupakan industri penghasil limbah cair terbesar yang menyebabkan pencemaran lingkungan limbah cair (Giagnorio et al., 2017).

Penggunaan sabun dan deterjen untuk membersihkan pakaian yang kotor menghasilkan limbah cair dari *laundry* (Patel et al., 2017). Komponen utama pada sabun maupun deterjen yang memiliki komposisi lebih banyak dibanding dengan komponen lainnya adalah surfaktan (Ramcharan & Bissessur, 2017). Surfaktan berfungsi sebagai bahan aktif pada deterjen yang berfungsi untuk mengangkat kotoran, minyak dan lemak dari pakaian. Salah satu surfaktan yang berperan sebagai senyawa aktif dan paling sering digunakan di dunia karena rendahnya biaya produksi pada deterjen adalah Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) (Faria et al., 2019). Kandungan LAS pada limbah laundry jika berkontak dengan air tanah yang digunakan manusia untuk aktifitas sehari-hari dapat dianggap sebagai zat yang berpotensi beracun bagi kesehatan manusia (Rahayu, 2020). Selain itu kandungan LAS pada limbah laundry dengan kadar diatas 50 mg/L dapat sulit mengalami biodegradasi sehingga dapat menimbulkan kerusakan lingkungan (Palmer & Hatley, 2018).

Kementerian LHK Republik Indonesia belum menetapkan persyaratan kualitas khusus untuk limbah cair *laundry*. Air limbah *laundry* di tentukan dari golongan air sungai yang nantinya akan dialiri limbah *laundry* dan disesuaikan dengan baku mutu limbah domestic yaitu Peraturan Kementerian LHK nomor: P68/MENLHK/Setjen/Kum.1/8/2016. Penelitian mengenai karakterisasi limbah *laundry* yang dilakukan oleh Ilyas (2020) menunjukkan bahwa limbah *laundry* mengandung surfaktan 183,1 mg/L, COD 733 mg/L, BOD 155 mg/L dengan pH larutan 4,3. Sedangkan hasil penelitian oleh Abma (2019) menunjukkan karakteristik limbah laundry memiliki kandungan surfaktan 480 mg/L, COD 513,6 mg/L dan BOD 45,7 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa limbah laundry telah melampaui baku mutu yang telah disyaratkan sehingga membutuhkan upaya penanganan air limbah *laundry*.

Penanganan limbah laundry telah banyak dilakukan oleh para peneliti dengan banyak cara baik dengan cara filtrasi, koagulasi, flokulasi, adsorpsi, flotasi, oksidasi, fotokatalis maupun secara biologis (Delforno et al., 2020) dengan bantuan mikro-organisme (Giagnorio et al., 2017). Proses adsorpsi dijadikan salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair dengan keunggulan proses yang sederhana, berbagai jenis dan rentang aplikasi yang luas (Chen et al., 2019). Adsorpsi merupakan proses perpindahan suatu massa pada permukaan pori-pori butiran adsorben (Pungut et al., 2021) Pada proses adsorpsi terdapat dua fase yang terlibat di dalamnya yaitu fase penyerap yang disebut dengan adsorben dan fase yang diserap atau disebut adsorbat (Lutfianingsih & Mulyani, 2020). Banyaknya adsorben yang digunakan, suhu, luas permukaan adsorben, pH dan konsentrasi adsorbat, serta lama waktu kontak adsorben dengan adsorbat merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Isoterm adsorpsi dapat didefinisikan untuk menjelaskan dinamika interaksi adsorben-adsorbat (Wibowo & Astuti, 2021).

Penggunaan biosorben sebagai adsorben pada proses adsorpsi diyakini memiliki kelebihan karena lebih murah dan mudah didapatkan dibandingkan dengan proses pengolahan limbah laundry yang lainnya. Adsorben yang terbuat dari bahan alami tidak terlalu berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan

dibandingkan dengan bahan sintetisnya, oleh karena itu istilah "biosorben". Cangkang telur merupakan salah satu bahan penyerap yang potensial (Mulyati, 2018). Struktur cangkang telur ayam yang mempunyai pori-pori serta nutrisi kalsium karbonat tinggi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk penanganan limbah cair yang baik (Li et al., 2021).

Pori-pori pada cangkang telur dapat diperbesar dengan menggunakan proses aktivasi sehingga dapat meningkatkan luas permukaan dan mempengaruhi kinerja adsorpsi (Wibowo & Astuti, 2021). Aktivasi cangkang telur ayam sebagai adsorben dengan cara dibakar pada temperatur 600°C terjadi reaksi kalsinasi. Proses kalsinasi menyebabkan terjadinya perubahan komposisi dari kulit telur. Selain terjadi perubahan komposisi, proses kalsinasi juga menyebabkan perubahan morfologi dan struktur pori-pori dari kulit telur (Pardede et al., 2020). Aktivasi cangkang telur ayam pada suhu 600oC memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan perlakuan yang lain pada suhu 110oC dan 800oC sebesar 2700,978 m²/g dan telah sesuai dengan standar luas permukaan adsorben komersial yang ada (Nadeak et al., 2019).

Penelitian sebelumnya mengenai cangkang telur ayam sudah sering diteliti untuk menangani limbah cair diantaranya cangkang telur efektif untuk menurunkan kadar COD (Purwaningsih et al., 2021), menurunkan kadar pewarna metilen biru dan metil oranye pada limbah pabrik batik (Haqiqi, 2018; Hasan et al., 2019), menurunkan kadar fosfor, boron, nitrogen dan timbal pada limbah cair domestik (Al-Ghouthi & Salih, 2018; Dervinytė, 2020; Li et al., 2021; Torit & Phihusut, 2019), serta dapat menurunkan kadar surfaktan pada larutan sintesis linear alkil benzen sulfonat (Ersa et al., 2021).

Berlandaskan pemaparan latarbelakang di atas tujuan penelitian ini adalah mengkaji proses adsorpsi cangkang kulit telur ayam untuk menurunkan kadar BOD, COD dan *Linear Alkylbenzen Sulfonate* (LAS) pada limbah *laundry*. Persamaan isoterm adsorpsi yang sesuai dengan proses adsorpsi dengan kulit telur ayam juga diturunkan menggunakan persamaan Langmuir dan Freundlich, memungkinkan peneliti untuk menyelidiki interaksi dan mekanisme adsorpsi. Penelitian ini akan membuka jalan bagi potensi penggunaan cangkang telur ayam di masa depan dalam teknologi pengolahan limbah *laundry* alternatif.

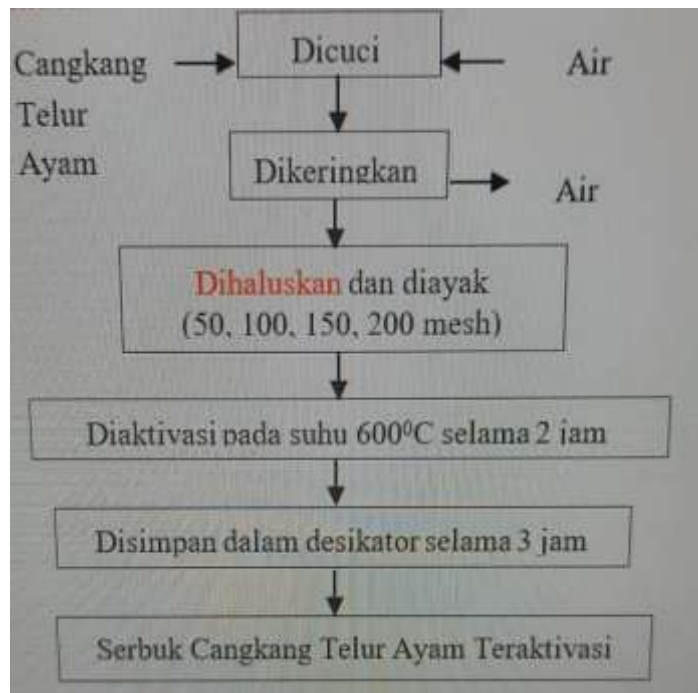
METODE

Alat dan Bahan

Studi ini menggunakan instrumen, yaitu: mortar dan alu, ayakan, *furnish*, dsikator, *magnetic stirrer*, gelas kimia 1L, dan neraca analitik. Penelitian ini menggunakan limbah *laundry* dan kulit telur ayam sebagai bahannya.

Aktivasi Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur ayam yang digunakan diperoleh dari pedagang kue dan martabak di sekitar kecamatan Anyer. Proses aktivasi adsorben dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Proses aktivasi cangkang telur ayam

Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan untuk menentukan kondisi optimum berupa waktu dan ukuran adsorben pada proses adsorpsi secara batch. Studi ini menggunakan sampel limbah *laundry* dari lima industri *laundry* rumahan yang berada di kecamatan Anyer dengan teknik grab sampling dimana sampel diambil sebelum masuk ke perairan sesuai dengan SNI 6989.59:2008. Sampel sebelum dan sesudah proses adsorpsi diteliti untuk mengetahui penurunan kadar BOD, COD dan LAS. Analisis kadar BOD, COD dan LAS pada penelitian ini disesuaikan dengan SNI seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji parameter BOD, COD dan LAS

Parameter	Metode	SNI
BOD	Iodometri (modifikasi azida)	SNI 6989.72-2009
COD	Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri	SNI 6989.2-2009
LAS	Methylen Blue Active Surfactant (MBAS) secara spektrofotometri	SNI 06- 6989.51-2005

Selama satu jam, larutan air limbah cucian dan adsorben diaduk dengan kecepatan 300 rpm dalam gelas kimia, metode yang dikenal sebagai metode batch.. Adsorben kemudian disaring menggunakan kertas saring. Tingkat efisiensi penurunan kadar BOD, COD dan LAS diukur dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Persentas penurunan} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Dengan:

C_0 = konsentrasi COD, BOD dan LAS Inlet

C_1 = konsentrasi COD, BOD dan LAS Outlet

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Limbah Laundry

Karakterisasi limbah laundry diawali dari penentuan golongan sungai yang akan dilewati oleh limbah laundry. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi air sungai Cianyer yang berada di kecamatan Anyer Kabupaten Serang Banten. Karakterisasi air sungai Cianyer dideskripsikan melalui Tabel 2.

Tabel 2. Karakterisasi air sungai Ci Anyer

No.	Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Kadar (mg/L)
1.	BOD	3	2,82
2.	COD	25	8,6
3.	LAS	0,2	0,19

Sumber: Baku Mutu Air Nasional Lampiran VI PP RI No: 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Table 1 Baku Mutu Air Sungai Dan Sejenisnya.

Berdasarkan Tabel 2, kadar BOD, BOD dan LAS untuk air sungai Ci Anyer dibawah baku mutu sehingga sungai Cianyer di golongkan sebagai sungai kelas 1. Sehingga limbah laundry yang dibuang ke sungai Cianyer berdasarkan Peraturan Kementerian LHK nomor:P.68/ MENLHK/Setjen/ Kum.1/8/2016 mengikuti baku mutu golongan 1. Berdasarkan uji karakteristik awal pada air limbah laundry yang diambil dari lima industri laundry yang berada di sekitar sungai Cianyer digambarkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik limbah *laundry*

No.	Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Kadar (mg/L)
1.	BOD	50	305,64/254,7
2.	COD	100	583,04/778,58
3.	LAS	5	2,81/1,57

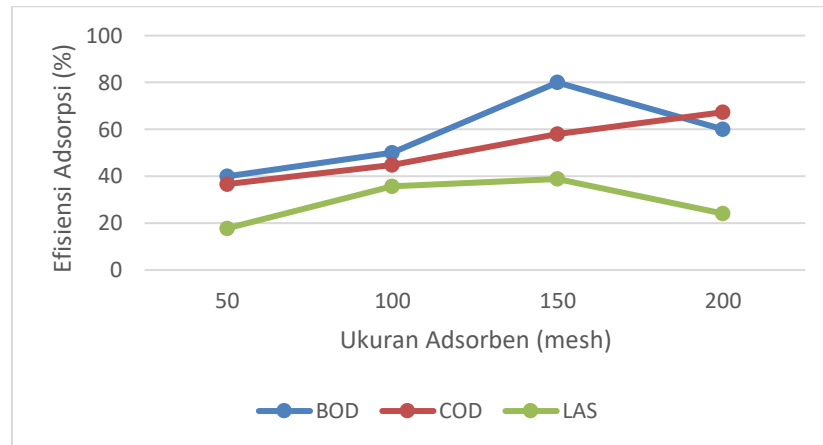
Sumber: Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor:P68/Menlhk/Setjen /Kum.1/8/ 2016.

Pada Tabel 3 terlihat bahwa baku mutu air limbah *laundry* melebihi baku mutu berdasarkan baku mutu golongan 1 pada Peraturan Kementerian LHK nomor:P.68/ MENLHK/Setjen/ Kum.1/8/2016.

2. Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Kadar Polutan Pada Limbah Laundry

Untuk mengetahui kondisi optimum ukuran adsorben terhadap penurunan kadar BOD, COD dan LAS dilakukan penelitian dengan memvariasi-kan ukuran

adsorbennya sebanyak sebanyak 50, 100, 150 dan 200 mesh yang telah diaktivasi secara fisika dengan dibakar pada temperatur 6000C dengan waktu adsorpsi 60 menit dan dilakukan proses pengadukan menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 300 rpm. Pengaruh ukuran adsorben terhadap kadar BOD, COD dan LAS disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi adsorbansi BOD, COD dan LAS pada limbah laundry

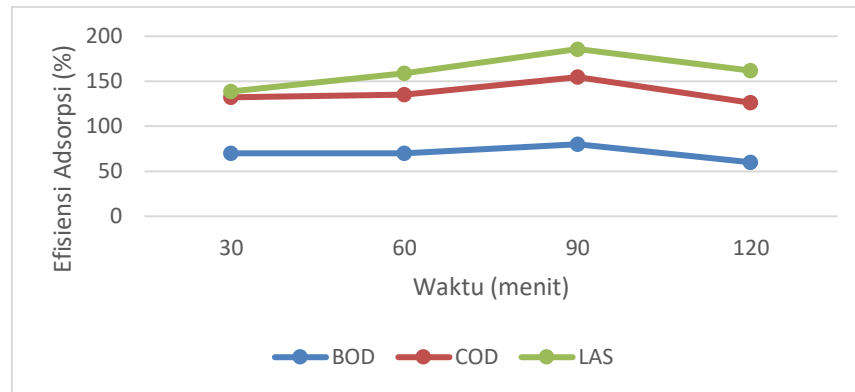
Pada Gambar 2. menjelaskan bahwa efisiensi adsorbansi LAS terjadi peningkatan seiring dengan semakin kecil ukuran adsorben. Ukuran adsorben memiliki korelasi terhadap efisiensi adsorpsi. Proses adsorpsi terjadi ketika adsorbat berdifusi ke dalam adsorben melalui kontak. Penelitian ini sejalan dengan Huda (2022) yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran adsorben maka semakin besar luas permukaan sehingga kemungkinan terjadinya kontak antara polutan dan pori-pori adsorben semakin banyak.

Ukuran kecil dari adsorben menghasilkan energi antarmolekul yang lebih tinggi, yang meningkatkan penyerapan. Hal ini sesuai dengan temuan penelitian yang dilakukan oleh Efiyanti et al. (2022) dimana efisiensi adsorbansi tertinggi oleh adsorben berukuran partikel terkecil. Namun pada proses adsorpsi untuk BOD dan COD terjadi penurunan efisiensi adsorpsi pada ukuran 200 mesh dikarenakan adsorben pada ukuran 200 mesh membuat larutan limbah laundry mengalami kejenuhan sehingga terhambatnya daya adsorptivitasnya. Penurunan efisiensi adsorpsi juga diketahui oleh penelitian yang dilakukan oleh (Suryadi et al., 2019) dimana pada ukuran adsorben tertentu akan menurunkan efisiensi adsorpsi polutan karena terjadinya kejenuhan.

3. Pengaruh Waktu Adsorben Terhadap Kadar Polutan Pada Limbah Laundry

Untuk mengetahui kondisi optimum waktu adsorpsi terhadap penurunan kadar BOD, COD dan LAS dilakukan penelitian dengan memvariasikan waktu adsorpsi 30, 60, 90 dan 120 menit menggunakan 15 gram adsorben yang telah diaktivasi secara fisika dengan dibakar pada temperatur 6000C dengan ukuran 150 mesh dan dilakukan proses pengadukan menggunakan magnetic stirrer dengan

kecepatan 300 rpm. Pengaruh waktu adsorben terhadap kadar BOD, COD dan AS disajikan pada Gambar 3.

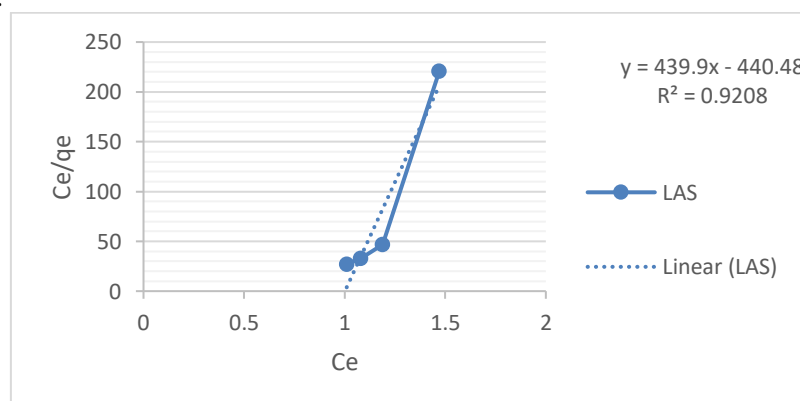


Gambar 3. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap efisiensi adsorbansi BOD, COD dan LAS pada limbah laundry

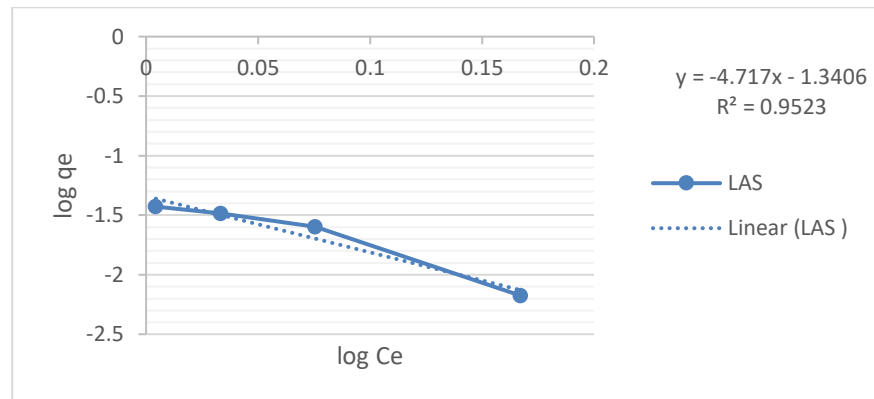
Berdasarkan Gambar 3. diketahui bahwa efisiensi adsorbansi BOD, COD dan LAS pada limbah laundry mengalami peningkatan yang signifikan tiap penambahan waktu sampai 90 menit. Namun pada waktu 120 menit efisiensi adsorbansi mengalami penurunan yang disebabkan adanya proses desorpsi. Proses desorpsi terjadi karena proses adsorpsi terjadi secara reversible dengan adanya gaya Van Der Waals pada adsorpsi fisika, dimana adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat terlepas dari permukaan adsorben (Wardani et al., 2022). Faktor pengadukan juga dapat menyebabkan polutan yang telah diserap akan terlepas kembali dari permukaan adsorben. Sejalan dengan hasil studi yang dilakukan oleh Oko et al., (2022), cangkang telur mampu menyerap zat warna *Remazol Brilliant Blue R*, adsorbat akan meningkat seiring waktu, kemudian menurun karena kejenuhan adsorben dan pencampuran..

4. Isoterm Adsorpsi

Studi ini menentukan model isoterm adsorpsi LAS menggunakan model isoterm Freundlich dan Langmuir. Gambar 4 dan 5 mewakili hasil pemodelan. Model dan plot grafik berikutnya diperoleh, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Kurva adsorpsi LAS Langmuir



Gambar 5. Kurva adsorpsi LAS Freundlich

Dengan parameter nilai regresi linier (R^2), dapat diketahui jenis isoterm adsorpsi LAS. Jika nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan bahwa pengaruh dan hubungan antar variabel semakin meningkat. Isoterm adsorpsi LAS menggunakan persamaan Freundlich dengan $R^2 = 0,95023$, seperti terlihat pada dua gambar. Persamaan isoterm Freundlich mendefinisikan jenis fisik adsorpsi yang terjadi di banyak lapisan (multilayer) dan di mana tautannya lemah (Sawyer et al., 1994). Dalam adsorpsi fisik, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben, memungkinkannya berpindah dari satu area lapisan permukaan ke area lain (reversibel) dan digantikan oleh adsorbat lain di permukaan yang tertinggal. (Ariyanto Eko, Dian Dwi Lestari, 2021).

KESIMPULAN

Berasaskan hasil studi yang sudah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut: 1). Kadar BOD, COD dan LAS pada limbah laundry telah melewati batas yang telah ditetapkan melalui peraturan Kementerian LHK nomor:P68/MENLHK/Setjen/Kum.1/8/ 2016. 2). Ukuran adsorben yang optimum untuk penurunan kadar BOD dan LAS yaitu 150 mesh yang dapat menurunkan kadar BOD sebesar 80% dan kadar LAS sebesar 38,85% serta ukuran 200 mesh yang dapat menurunkan kadar COD sebesar 67,34%. 3). Waktu optimum untuk penurunan kadar COD dan BOD berada di 90 menit yang dapat menurunkan kadar BOD sebesar 80% dan kadar COD 74,5% serta waktu 120 menit yang dapat menurunkan kadar LAS 35,67%. 4). Isotherm adsorpsi LAS yang sesuai adalah Persamaan Freundlich dengan R^2 sebesar 0.95023.

DAFTAR PUSTAKA

- Abma, V. (2019). *Pengujian Kadar Deterjen , Bod , Cod , Tahap Post Treatment Pada Alat Reaktor Laundry Filter 1 . 0 Dengan Variasi Zeolit Dan Karbon Aktif*. dspace.uui.ac.id
- Al-Ghouti, M. A., & Salih, N. R. (2018). Application of eggshell wastes for boron remediation from water. *Journal of Molecular Liquids*, 256(2017), 599–610. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.074>
- Ariyanto Eko, Dian Dwi Lestari, D. K. (2021). Analisa Kemampuan dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dari Cangkang Ketapang Terhadap Zat Warna Metil

- Orange. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol. 32 No. 2 Tahun 2021*, Hal. 166-178.
- Chen, J., Li, L., Wu, G., Zhou, M., Jiang, T., Pu, Q., & Wei, M. (2019). Study on the effect of fly ash and polycarboxylic acid water reducer on the properties of recycled concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 218(1), 0–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/218/1/012068>
- Delforno, T. P., Belgini, D. R. B., Hidalgo, K. J., Centurion, V. B., Lacerda-Júnior, G. V., Duarte, I. C. S., Varesche, M. B. A., & Oliveira, V. M. (2020). Anaerobic reactor applied to laundry wastewater treatment: Unveiling the microbial community by gene and genome-centric approaches. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 149(October 2019), 104916. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.104916>
- Dervinytė, R. (2020). Application of Egg Shells to the Removal of Lead from Contaminated Water. *Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas*, 78.
- Efiyanti, L., Paramasari, A., Hastoeti, P., Setiawan, D., & Hastuti, N. (2022). (*The characterization and adsorption properties of sulfonated carbon from andong bamboo with different particle sizes*). 40(2), 115–124.
- Ersa, N. S., Ikhwal, M. F., & Karunia, T. U. (2021). Adsorption mechanism on surfactant removal using eggshell waste and rice straw as economically biosorbent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 871(1), 0–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/871/1/012034>
- Faria, C. V. de, Delforno, T. P., Okada, D. Y., & Varesche, M. B. A. (2019). Evaluation of anionic surfactant removal by anaerobic degradation of commercial laundry wastewater and domestic sewage. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 40(8), 988–996. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1414317>
- Ghernaout, D., & Elboughdiri, N. (2019). Electrocoagulation Process Intensification for Disinfecting Water- A Review. *Review. Applied Engineering*, 3(2), 140–147. <https://doi.org/10.11648/j.ae.20190302.22>
- Giagnorio, M., Amelio, A., Grüttner, H., & Tiraferri, A. (2017). Environmental impacts of detergents and benefits of their recovery in the laundering industri. *Journal of Cleaner Production*, 154, 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.012>
- Haqiqi, E. R. (2018). Studi Awal Kemampuan Adsorpsi Komposit Kulit Telur Ayam dengan Sekam Padi sebagai Adsorben Metil Orange. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 1(1), 15. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v1i1.2623>
- Hasan, R., Chong, C. C., Setiabudi, H. D., Jusoh, R., & Jalil, A. A. (2019). Process optimization of methylene blue adsorption onto eggshell–treated palm oil fuel ash. *Environmental Technology and Innovation*, 13, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.10.004>
- HUDA, M. M. (2022). *Adsorpsi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Artifisial Menggunakan Arang Aktif dari Eceng Gondok dengan Penambahan Aktivator ZnCl₂* [UPN Veteran Jawa Timur]. <http://repository.upnjatim.ac.id/id/eprint/8087>
- Ilyas, N. I., Studi, P., Lingkungan, T., Teknik, F., Bangsa, U. P., Upflow, R., Sludge, A., & Artikel, I. (2020). *Jurnal Teknologi dan Pengelolaan*

- Lingkungan*. 7(April), 14–19.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Peraturan Menteri LHK No.68 th 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. *Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 68, 1–13. [http://neo.kemenperin.go.id/files/hukum/19 Permen LHK th 2016 No. P.63 Baku Mutu Air Limbah Domestik.pdf](http://neo.kemenperin.go.id/files/hukum/19%20Permen%20LHK%20th%202016%20No.%20P.63%20Baku%20Mutu%20Air%20Limbah%20Domestik.pdf)
- Li, H., Li, Y., Yan, F., & Yin, X. (2021). Adsorption of nitrogen and phosphorous in water by eggshell modified with FeCl₂. *E 3S Web of Conferences* 249, 03081, 3–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124503081>.
- Lutfianingsih, A., & Mulyani, B. (2020). PENGARUH VARIASI WAKTU KONTAK DAN VARIASI pH LARUTAN TERHADAP ADSORBSI ARANG AMPAS TEBU TERAKTIVASI BASA SEBAGAI ADSORBEN CAMPURAN ION 2 + LOGAM Pb²⁺ + DAN ION LOGAM Cu. *SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA XIII*, 99–109.
- Marifati, I. S. (2020). Pembangunan S. *IJNS-Indonesian Journal on Networking and Security*, 9(2), 1–6. <http://ijns.org/journal/index.php/ijns/article/view/1611>
- Mulyati, B. (2018). CHEESA: Chemical Engineering Research Articles. *Chem. Eng. Res. Artic*, 1(1), 21–25.
- Nadeak, S., Hasibuan, J. M., Naibaho, L. W., & Sinaga, M. S. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam sebagai Adsorben pada Pemurnian Gliserol dengan Metode Asidifikasi dan Adsorpsi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(1), 25–31.
- Nisa, A. H., Firdaust, M., & Purnomo, B. C. (2019). Deskripsi Kualitas Dan Kuantitas Limbah Cair Usaha *Laundry* Di Kelurahan Sumampir Kecamatan Purwokerto Utara Kabupaten Banyumas Tahun 2018. *Buletin Keslingmas*, 38(2), 174–182. <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v38i2.4875>
- Nugroho, F. A., Sani, M. M., Apriyanti, F., & Aryanti, P. T. P. (2020). The Influence of Applied Current Strength and Electrode Configuration in *Laundry* Wastewater Treatment by Electrocoagulation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1477(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/5/052018>
- Oko, S., Harjanto, H., Kurniawan, A., & Winanti, C. (2022). Penurunan Kadar Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Serbuk CaCO₃ Dari Cangkang Telur Dan Karbon Aktif. *Metana*, 18(1), 39–45. <https://doi.org/10.14710/metana.v18i1.45766>
- Palmer, M., & Hatley, H. (2018). The role of surfactants in wastewater treatment: Impact, removal and future techniques: A critical review. *Water Research*, 147, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.039>
- Pardede, P., Elbine, M., & Aprilia. (2020). *Pemurnian Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Berbasis Cangkang Telur Purification of Used Cooking Oil Using Egg Shell Based Adsorbent*. 1(1), 1–9.
- 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. www.ijirst.org
- Pungut, P., Al Kholif, M., & Pratiwi, W. D. I. (2021). Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (Cod) Dan Fosfat Pada Limbah *Laundry* Dengan Metode Adsorpsi. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(2), 155–165.

<https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss2.art6>

- Purwaningsih, D. Y., Wulandari, I. A., & Aditya, W. (2021). Pemanfaatan Cangkang Telur Ayam Sebagai Biosorben untuk Penurunan COD pada Limbah Cair Pabrik Batik. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*, 1(2), 507–512.
- Rahayu, F. R. (2020). Efektifitas tumbuhan jeruju (*acanthus ilicifolius*) dalam mengabsorpsi zat pencemar LAS (*Linier Alkylbenzene Sulfonate*) dengan adanya logam berat (*Pb dan Cd*). <http://digilib.uinsby.ac.id/id/eprint/42955>
- Ramcharan, T., & Bissessur, A. (2017). Treatment of laundry wastewater by biological and electrocoagulation methods. *Water Science and Technology*, 75(1), 84–93. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.464>
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (1994). *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw-Hill.
- Suryadi, J., Widiastuti, E., Ali, M. I. A., & Ali, Z. (2019). Pengaruh Ukuran Adsorben Kulit Pisang Kepok terhadap Penurunan Nilai Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas. *Fluida*, 12(2), 65–71.