



Analisis limbah pertanian kelapa sebagai adsorben dalam penurunan total padatan pada *geywater*

Devy Cendekia *, Dian Ayu Afifah, Fadian Farisan Silmi

Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

Article history

Diterima:

19 Desember 2022

Diperbaiki:

31 Januari 2023

Disetujui:

2 Februari 2023

Keyword

adsorbent;

agicultural;

geywater;

isotherm;

waste;

ABSTRACT

Agiculture waste is an unused by-product from the remnants of agicultural activities. The Impact of agiculture waste is becoming a substance contaminant that can disturb life biotic as well as become a source of disease. Agiculture waste is divided into three groups: waste agiculture pre-harvest, waste agiculture at the moment harvest, and waste agiculture post-harvest. Handling agiculture waste could be conducted by manipulating waste that becomes a product-appropriate use. Agiculture waste that can be utilized is shell coconut waste. Shell coconut waste could be made adsorbent in reducing solids pollutants in geywater. This study used a continuous adsorption column method with adsorbent media engineered from shell coconut waste. So that it can be known the potential of shell coconut waste as an adsorbent in reducing total solids in geywater. Based on analysis using an adsorption test with an isotherm model, the adsorbent product from engineering waste shell coconut can remove 64% of solids suspended in geywater. The adsorption process of the solid suspended follows the Langmuir isotherm model, with capacity adsorption from an adsorbent of 0.0412 mg g^{-1} . Adsorbent waste agicultural products can reduce total solids dissolved in geywater by 3.7%. Therefore, adsorbent products from agiculture waste could become alternative adsorption media in reducing solids pollutants in geywater.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email : devycendekia@polinela.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v17i4.17931

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan suatu proses pembudidayaan tanaman dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Adanya peningkatan kebutuhan manusia, maka proses produksi pertanian meningkat untuk memenuhi permintaan yang terus bertambah dari waktu ke waktu. Proses produksi pertanian yang lebih baik menghasilkan lebih banyak hasil dan memenuhi semakin banyak kebutuhan manusia. Di sisi lain, seiring berjalannya waktu, jumlah sampah semakin meningkat dari hari ke hari, hal yang sama juga terjadi di bidang pertanian. Limbah pertanian meningkat akibat adanya peningkatan produksi.

Limbah merupakan sisa dari proses produksi yang terjadi setelah produk utama dikeluarkan dari sumbernya. Limbah pada prinsipnya berbahaya, tetapi juga bermanfaat bagi proses produksi jika dikelola dan didaur ulang dengan baik. Limbah pertanian merupakan hasil samping yang sudah tidak terpakai yang berasal dari sisa-sisa kegiatan pertanian. Dampak limbah pertanian dapat menimbulkan penyakit, adanya kontaminasi, menjadi bahan pencemar yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup organisme, serta merusak estetika lingkungan (Sunarsih 2018). Oleh sebab itu, penanganan limbah pertanian perlu dilakukan guna menghindari dampak buruk yang ditimbulkan.

Tanaman kelapa di Indonesia termasuk dalam komoditi terbesar, berdasarkan data Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021, pada tahun 2019 Indonesia memiliki luas areal kelapa 3.500.726 ha dan menghasilkan produksi sebanyak 2.992.190 ton (Kementerian Pertanian, 2020). Sebagai contoh, usaha kelapa yang ada di Kecamatan Tiworo Kepulauan Kabupaten Muna Barat yaitu tergolong usaha mikro memiliki aset sekitar Rp50 juta. Perkebunan kelapa ini memiliki total pendapatan usaha selama 3 tahun terakhir sekitar Rp14 juta, sehingga usaha kelapa menjadi salah satu hasil pertanian yang prospektif (Herdhiansyah *et al.* 2021)

Hasil pertanian kelapa ini menghasilkan limbah padat dari hasil proses produksi pertanian kelapa yang telah diambil daging kelapa untuk mendapatkan santan (*coconut milk*). Limbah padat yang paling banyak dihasilkan adalah tempurung kelapa. Tempurung umum digunakan sebagai

bahan bakar, keperluan rumah tangga ataupun di daur ulang sebagai souvenir (Nustini and Allwar 2019). Melimpahnya limbah tempurung kelapa seiring dengan berkembangnya perkebunan kelapa dari tahun ke tahun, maka tempurung kelapa mulai banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku produk tepat guna lainnya.

Seiring dengan perkembangan teknologi, tempurung kelapa dapat dikembangkan menjadi asap cair yang kemudian dijadikan salah satu alternatif bahan pengawet makanan. Hal ini dapat menggantikan penggunaan bahan pengawet kimia yang berbahaya bagi makanan (Ritonga *et al.* 2022). Pada penelitian lainnya, kombinasi pengawet alami berbahan dasar kapur dan ekstrak tempurung kelapa segar dengan rasio 90:10 dapat menghasilkan karakteristik sensoris gula kelapa cetak yang terbaik (Mazaya *et al.* 2021)

Selain sebagai bahan tambahan pada pangan, berdasarkan penelitian terdahulu limbah tempurung kelapa berpotensi sebagai adsorben. Tempurung kelapa dapat didaur ulang menjadi adsorben dalam penyerapan logam Cadmium (Cd), Tembaga (Cu) dan timbal (Pb). Uji efektifitas penyerapan adsorben tempurung kelapa terhadap logam Cd, Cu dan Pb terhadap waktu kontak berbanding lurus, dengan variasi waktu kontak 15, 30, 45 dan 60 menit. Sedangkan nilai peningkatan konsentrasi berbanding terbalik terhadap efektifitas penyerapan logam Cd, Cu dan Pb, semakin tinggi konsentrasi larutan maka efektifitas penyerapan semakin rendah (Silaban 2018).

Arang tempurung kelapa lebih efektif menurunkan nilai total padatan tersuspensi dibanding dengan serabut kelapa dan pasir. Efektifitas penurunan pada media arang mampu menurunkan padatan tersuspensi sebesar 17% pada limbah cair ekstraksi sagu. Hal ini disebabkan arang tempurung kelapa mengandung karbon yang dapat berfungsi sebagai adsorben (Gultom *et al.* 2018).

Kemampuan daya serap adsorben tempurung kelapa dipengaruhi oleh kecepatan difusi larutan. Semakin tinggi konsentrasi larutan maka semakin kecil konsentrasi adsorbat teradsorpsi (Cendekia *et al.* 2021). Hal ini terjadi karena konsentrasi adsorben memerlukan waktu yang lebih lama untuk proses difusi pada pori-pori adsorben tempurung kelapa. Sehingga kemampuan maksimal adsorben tempurung kelapa sebagai media adsorpsi berkurang seiring dengan

bertambahnya konsentrasi adsorbat (Cendekia *et al.* 2021)

Adsorben tempurung kelapa diketahui dapat meningkatkan kualitas mutu air. Sebanyak 35% adsorben tempurung kelapa yang dikomposisi dengan pasir silika 25%, manganese 20%, Zeolit 20%, mampu menurunkan kadar Mangan (Mn) dan Besi (Fe) sehingga memenuhi standar kualitas mutu air baku yang disyaratkan oleh PERMENKES RI No.416 MENKES/PER/IX/1990 terkait standar mutu kualitas air Golongan B (Salim *et al.* 2018). Berdasarkan hasil uji aktivitas adsorben, penambahan massa adsorben tempurung kelapa berpengaruh terhadap hasil penjerapan methylene blue, hal ini menunjukkan adsorben tempurung kelapa diketahui efektif dalam penjerapan limbah zat warna (Amelia and Mufrodi, 2018). Pada penelitian lainnya, tempurung kelapa efektif sebagai adsorben ion logam Fe (III) dengan kapasitas adsorpsi 0,93 mg/g (Amelia and Mufrodi, 2018). Sedangkan bioadsorben tempurung kelapa dan sabut kelapa dengan perbandingan 1,25g:3,75g memiliki efisiensi adsorpsi ion logam besi (Fe) sebesar 93% (Ismiyati *et al.* 2021).

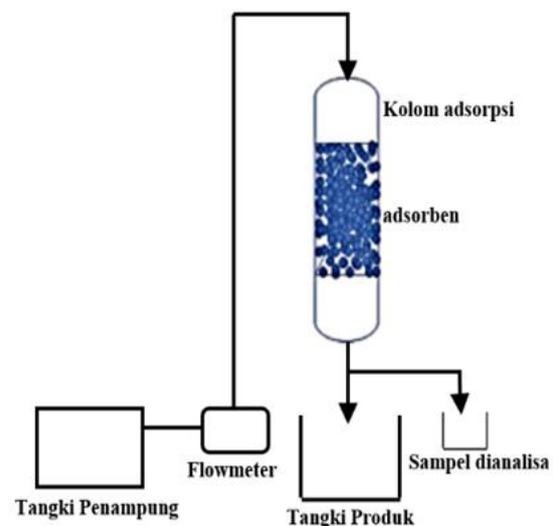
Hal ini membuktikan limbah pertanian khususnya tempurung kelapa dapat pula menjadi solusi dalam penanganan *geywater*. Pada umumnya *geywater* yang berasal dari kegiatan industri rumah tangga banyak mengandung lemak dan sabun, sehingga dapat menyebabkan penyumbatan saluran pembuangan air. Efek *780egative geywater* dapat terjadi secara langsung ataupun tidak langsung terhadap kondisi fisik dan kimia perairan yang teraliri limbah. Pengaruh *geywater* terhadap lingkungan antara lain penurunan kadar oksigen terlarut perairan, terjadinya eutrofikasi, hingga perubahan sifat fisik dan kimia air (Yuliani *et al.* 2015).

Analisis kemampuan adsorben dapat dilakukan dengan menggunakan kolom adsorpsi kontinu. Adsorben yang berasal dari tempurung kelapa dapat menjadi media kolom adsorpsi sehingga dapat diketahui kemampuan adsorpsinya sebagai adsorben dalam penurunan total padatan pada *geywater*. Oleh sebab itu, analisis limbah pertanian terutama tempurung kelapa sebagai adsorben perlu dikaji terkait efisiensi penyisihan adsorbat dan kapasitas adsorpsi yang dimiliki tempurung kelapa sebagai adsorben total padatan yang terkandung dalam *geywater*.

METODE

Tahap Persiapan

Limbah padat pertanian kelapa berupa tempurung kelapa direkayasa menjadi adsorben melalui tahap karbonisasi melalui pirolisis pada suhu 400°C selama 3 jam dan aktivasi kimia menggunakan H₃PO₄ 10% (Suryani *et al.* 2018). Kinerja adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa dianalisis menggunakan nilai total padatan pada sampel *geywater* yang diperoleh dari industri *laundry*.



Gambar 1 Ilustrasi kolom adsorpsi

Pada Gambar 1 dapat diilustrasi desain kolom adsorpsi, dimana sebanyak 50 g adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa dengan ukuran 8 mesh dimasukkan dalam kolom adsorpsi sebagai media adsorben. Sampel *geywater* dialirkan pada kolom adsorpsi dengan laju alir 200 ml/detik. Sampel *geywater* dialirkan selama 40 menit dan diambil sampel uji pada setiap 10 menit untuk dianalisis total padatannya. Waktu kontak sampel dan adsorben selama 40 menit digunakan untuk mengetahui kinetika adsorpsi dari adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa.

Analisis Total Padatan

Analisis total padatan yang dilakukan adalah analisis *Total Suspended Solid* (TSS) dan analisis *Total Dissolve Solid* (TDS) menggunakan metode gravimetri. Sebanyak 30ml sampel air dimasukkan dalam alat penyaringan yang telah dilengkapi dengan alat pompa hisap dan kertas saring. Setelah alat saring dioperasikan, dan sampel air tersaring seluruhnya, bilas kertas saring dengan air suling sebanyak 10ml. Tahap selanjutnya adalah menyalakan kembali pompa hisap selama 3 menit

sampai penyaringan sempurna. Kemudian kertas saring dimasukkan ke dalam oven pada 100°C selama 1 jam (sebagai nilai TSS). Nilai TSS diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan 1. Filtrat yang dihasilkan termasuk air bilasan, dimasukkan ke dalam cawan yang mempunyai berat tetap (catat sebagai A gam). Kemudian filtrat diuapkan hingga kering dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam. Cawan kemudian dinginkan dalam desikator, dan ditimbang hingga diperoleh berat tetap (catat sebagai B gam). Nilai yang diperoleh kemudian dihitung dengan persamaan 2.

$$TSS = \frac{B - A \times 10^6}{\text{volume sampel (mL)}} \quad (1)$$

dimana A adalah berat kertas saring + residu kering (gam), B adalah berat kertas saring (gam).

$$TDS = \frac{B - A \times 10^6}{\text{volume sampel (mL)}} \quad (2)$$

dimana A adalah berat cawan kosong (gam), B adalah berat cawan + residu (gam). Kinerja adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa dilihat dari analisis total padatan yang dihitung dari hasil percobaan sebagai kapasitas adsorpsi (q), dengan menggunakan persamaan 3.

$$q = \frac{(C_0 - C_1) \times \left(\frac{V}{1000}\right)}{m} \quad (3)$$

Dimana C_0 , C adalah total padatan awal dan total padatan akhir pada sampel *geywater* (ppm); V adalah volume sampel *geywater* yang digunakan (ml); m adalah massa adsorben yang digunakan dalam percobaan.

Kapasitas Adsorpsi Adsorben

Nilai kapasitas maksimal adsorpsi akan diperoleh dengan menggunakan persamaan adsorpsi-isoterm Langmuir (persamaan 4) dan persamaan adsorpsi isoterm Freundlich (persamaan 5).

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max} \cdot K_L} \times \frac{1}{C} \quad (4)$$

$$\log q = \log K_f + \frac{1}{n} \log C \quad (5)$$

dimana q adalah keseimbangan kapasitas adsorpsi; q_{\max} adalah kapasitas maksimum adsorpsi; K_L adalah konstanta Langmuir; K_f

adalah konstanta Freundlich; n adalah faktor heterogenitas (Ungureanu *et al.*, 2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa dialiri sampel *geywater* selama 40 menit dan dilakukan sampling pada bagian *output* kolom adsorpsi untuk dianalisis kinerja adsorpsinya. Berdasarkan Tabel 1, adsorben yang dihasilkan mampu menurunkan nilai TSS dan TDS pada *geywater*. Semakin lama sampel *geywater* dialirkan pada kolom adsorpsi, maka nilai *removal* TSS dan TDS juga semakin meningkat.

Berdasarkan nilai persen penurunan TSS dan TDS, diketahui adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa mampu menurunkan nilai TSS hingga 64% dan nilai TDS sebesar 3,7% pada menit ke-40. Nilai penurunan nilai total padatan terus meningkat seiring dengan lamanya waktu kontak. Waktu kontak yang lebih lama menyebabkan proses difusi dan pengikatan molekul adsorbat berlangsung lebih baik, sehingga memungkinkan semakin banyak adsorbat dapat diikat oleh adsorben. Faktor lainnya adalah adanya distribusi pori pada adsorben yang mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk ke dalam partikel adsorben (Pradana *et al.* 2019). Untuk mengetahui proses adsorpsi pada adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa, dilakukan analisis adsorpsi menggunakan model *isotherm* Langmuir dan Freundlich.

Analisis adsorpsi menggunakan model *isotherm* merupakan representasi grafis terkait korelasi antara jumlah adsorbat yang teradsorpsi dengan berat satuan adsorben, serta jumlah adsorbat yang tersisa dalam pengujian medium pada suhu konstan dalam kondisi setimbang. Model *isotherm* memberikan informasi tentang distribusi zat terlarut yang dapat diserap antara fase cair dan padat pada berbagai kesetimbangan konsentrasi (Azizian *et al.* 2018). Model *isotherm* Langmuir menjelaskan secara kuantitatif tentang pembentukan adsorbat monolayer pada permukaan luar adsorben dan setelahnya, sehingga tidak terjadi adsorpsi lebih lanjut. Langmuir mewakili distribusi kesetimbangan adsorbat antara fase padat dan cair (Azizian *et al.* 2018).

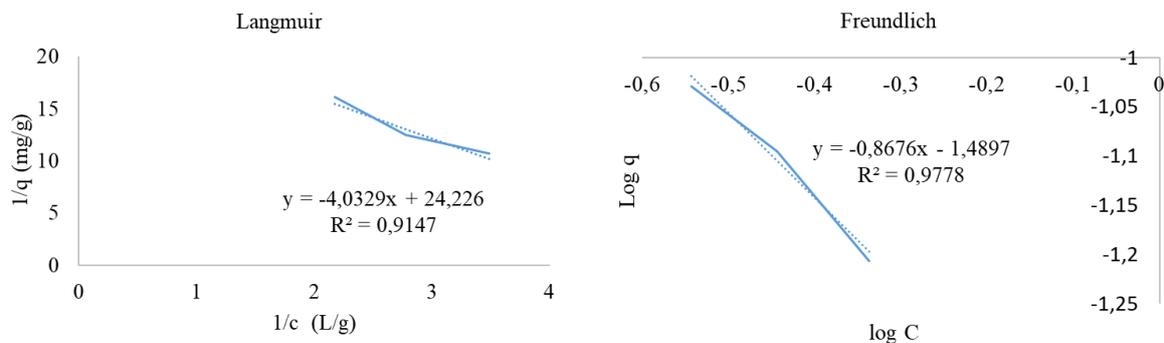
Model *isotherm* adsorpsi Langmuir digunakan untuk biosorpsi polutan dari larutan cair berdasarkan proses berikut: (1) Adsorpsi lapisan

tunggal. (2) Adsorpsi terjadi di situs homogen tertentu pada penyerap. (3) Setelah polutan menempati suatu lokasi; tidak lebih adsorpsi dapat terjadi di situs itu. (4) Energi adsorpsi adalah konstan dan tidak bergantung pada sisi aktif. (6) Adsorben memiliki kapasitas yang terbatas untuk polutan. Model *isoterm* Freundlich berlaku untuk adsorpsi pada permukaan yang heterogen dengan distribusi energi yang seragam dan adsorpsi

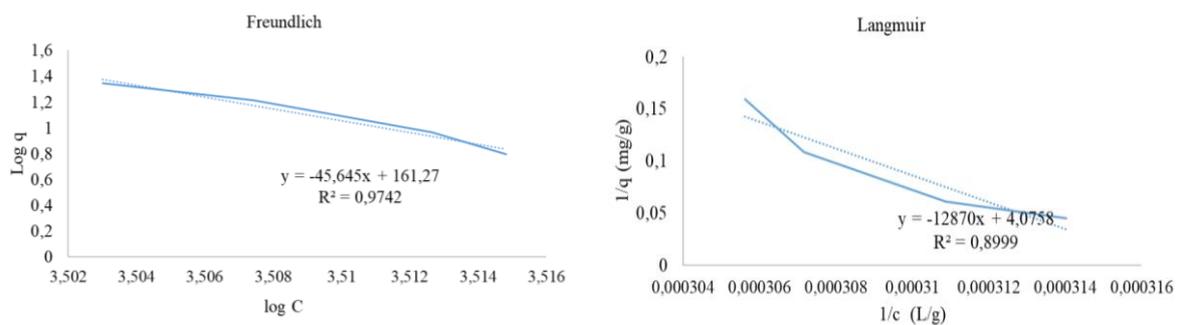
reversibel. Persamaan Freundlich merupakan persamaan empiris yang digunakan untuk deskripsi adsorpsi multilayer dengan interaksi antara molekul yang teradsorpsi. Model persamaan ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi menurun secara eksponensial pada titik akhir adsorpsi pusat adsorben (Rangabhashiyam *et al.* 2014)

Tabel 1 Analisa TSS dan TDS pada sampel *geywater*

Parameter	Waktu (menit)	C ₀ (PPM)	C ₁ (PPM)	Removal (%)
TSS	10	0,803	0,46	43%
	20		0,36	55%
	30		0,36	55%
	40		0,29	64%
TDS	10	3306,67	3272,00	1,0%
	20		3255,67	1,5%
	30		3216,67	2,7%
	40		3184,33	3,7%



Gambar 2 Linierisasi data adsorpsi untuk nilai TSS pada *geywater* menggunakan adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa



Gambar 3 Linierisasi data adsorpsi untuk nilai TDS pada *geywater* menggunakan adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa

Tabel 2 Analisis parameter *isotherm* adsorben hasil rekayasa limbah pertanian

<i>Isotherm model</i>	Parameter	TSS	TDS
Langmuir model	R^2	0,915	0,899
	q_{\max} , mg g ⁻¹	0,0412	0,245
	K_L , L g ⁻¹	-6,007	-3.17 x 10 ⁻⁴
Freundlich model	R^2	0,978	0,974
	n	-1,152	-0,022
	K_f , L g ⁻¹	-1,4	161

Data analisis TSS dan TDS dapat dilakukan analisis adsorpsi menggunakan model *isotherm* seperti yang tersaji pada Gambar 2 dan Gambar 3. Berdasarkan analisis parameter *isotherm* TSS dan TDS (Tabel 2), maka adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa mengikuti persamaan Langmuir untuk proses penyerapan total padatan tersuspensi. Hal ini dilihat dari nilai linierisasi (R^2) pada model persamaan Langmuir lebih tinggi dibandingkan model persamaan Freundlich. Proses adsorpsi yang terjadi pada penyerapan padatan tersuspensi berlangsung pada permukaan adsorben. Adsorben memiliki kapasitas maksimum (q_{\max}) sebesar 0,0412 mg g⁻¹ dengan proses adsorpsi yang berlangsung secara monolayer. Proses ini menyebabkan adsorben memiliki kemampuan maksimum dalam menyerap padatan tersuspensi pada seluruh permukaan adsorben yang bersifat homogen.

Pada proses adsorpsi total padatan terlarut berlaku persamaan *isotherm* model Freundlich. Hal ini dilihat dari nilai linierisasi (R^2) pada model persamaan Freundlich lebih tinggi dibandingkan model persamaan Langmuir. Berdasarkan persamaan *isotherm* model Freundlich, adsorben memiliki sisi aktif yang bersifat heterogen, dimana pada permukaan adsorben memiliki kemampuan daya adsorpsi yang berbeda-beda. Hal ini menunjukkan bahwa hanya sisi aktif pada permukaan yang mampu menyerap padatan terlarut pada *geywater*. Nilai $n < 1$ menunjukkan proses adsorpsi berlangsung secara kimia dan monolayer (Yenti et al. 2018). Adsorben hasil rekayasa tempurung kelapa memiliki kapasitas adsorpsi zat terlarut yang tinggi, hal ini terlihat dari nilai konstanta Freundlich (K_f) sebesar 161 L g⁻¹. Berdasarkan analisis adsorpsi menggunakan model *isotherm*, adsorben hasil rekayasa dari limbah pertanian kelapa efektif dalam menurunkan total padatan pada *geywater*. Proses adsorpsi cenderung efektif menurunkan nilai TSS

pada *geywater*, karena adsorben memiliki permukaan sisi aktif yang homogen sehingga adsorpsi terjadi secara monolayer. Hal ini didukung dengan data persen removal nilai TSS yang lebih tinggi dari nilai persen removal TDS. Padatan tersuspensi *geywater* terikat pada permukaan adsorben yang homogen, namun sisi aktif adsorben hanya mampu mengikat padatan terlarut pada *geywater*. Sehingga masih dapat dilakukan modifikasi sisi aktif adsorben untuk meningkatkan kinerjanya sebagai media adsorpsi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, adsorben hasil rekayasa limbah pertanian terutama tempurung kelapa dapat menurunkan total padatan pada *geywater* sebesar 64% untuk padatan tersuspensi dan 3,7% untuk padatan terlarut pada menit ke-40. proses adsorpsi yang berlangsung pada adsorpsi padatan tersuspensi mengikuti persamaan langmuir, dengan kapasitas adsorpsi dari adsorben sebesar 0,0412 mg g⁻¹. Proses adsorpsi padatan terlarut mengikuti persamaan Freundlich, dimana hanya sisi aktif adsorben yang mampu berikatan dengan molekul padatan terlarut. Dengan kata lain, adsorben hasil rekayasa limbah tempurung kelapa dapat menjadi alternatif media adsorpsi dalam menurunkan total padatan pada *geywater*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, S., Mufrodi, Z., 2018. Potensi Penggunaan Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Ion Logam Fe(II). *Al-Kimiya : Jurnal Ilmu Kimia & Terapan* 5, 42–47.
- Azizian, S., Eris, S., Wilson, L.D., 2018. Re-Evaluation Of The Century-Old Langmuir Isotherm For Modeling Adsorption Phenomena In Solution. *Chem Phys* 513, 99–104.
<https://doi.org/10.1016/J.Chemphys.2018.06.022>

- Cendekia, D., Ayu Afifah, D., Hanifah, W., 2021. Linearity Gaph In The Prediction Of Ganular Active Carbon (Gac) Adsorption Ability. *Iop Conf Ser Earth Environ Sci* 1012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012079>
- Herdhiansyah, D., Kariasti, I., Rianda, L., Asriani, 2021. Kajian Tekno-Ekonomi Pendapatan Usaha Kelapadi Kabupaten Munabarat-Sulawesi Tenggara. *Agointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 15, 177–185.
- Ismiyati, M., Setyowati, D.N., Nengse, S., 2021. Pembuatan Bioadsorben Dari Sabut Kelapa Dan Tempurung Kelapa Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe). *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan* 7, 33–45.
- Kementerian Pertanian, 2020. *Buku Statistik Perkebunan 2019-2021*. Jakarta.
- Nustini, Y., Allwar, A., 2019. Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Arang Tempurung Kelapa Dan Genu. *Prosiding Seminar Nasional Mewujudkan Masyarakat Madani Dan Lestari Seri 9*, 172–183.
- Mazaya, G., Karseno, Yanto, T., 2021. Aplikasi Pengawet Alami Larutan Kapur Dan Ekstrak Tempurung Kelapa Terhadap Sensoris Gula Kelapa Cetak. *Agointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 15, 1–14.
- Gultom, O.S., Mess, T.N., Silamba, I., 2018. Pengaruh Penggunaan Beberapa Jenis Media Filtrasi Terhadap Kualitas Limbah Cair Ekstraksi Sagu. *Agointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 12, 81–89.
- Pradana, A.A., Yulianto, B., Ruhmawati, T. 2019. Perbedaan Waktu Kontak Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Amonia Pada Limbah Cair Domestik. *Jurnal Riset Kesehatan* 11, 215–220.
- Rangabhashiyam, S., Anu, N., Giri Nandagopal, M.S., Selvaraju, N., 2014. Relevance of isotherm models in biosorption of pollutants by agricultural byproducts. *J Environ Chem Eng* 2, 398–414. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.01.014>
- Yenti, R. S., Fadli, A., Fifiyana, R., Sari, M., 2018. Model Kesetimbangan Freundlich Pada Adsorpsi Ion Kadmium Menggunakan Hidroksiapatit. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau ke-3*. pp. 106–113.
- Ritonga, A.M., Listanti, R., Kurniasih, T.I., 2022. Analisis penggunaan bubuk asap cair tempurung kelapa sebagai bahan pengawet. *Agointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 16, 252–262. <https://doi.org/10.21107/agointek.v16i2.12369>
- Salim, N., Rizal, S., Vihantara, R., 2018. Komposisi Efektif Batok Kelapa sebagai Karbon Aktif untuk Meningkatkan Kualitas Airtanah di Kawasan Perkotaan. *Media Komunikasi Teknik Sipil* 24, 87–95.
- Silaban, D.P., 2018. Sintesis Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Limbah Mesin Boiler Sebagai Bahan Penyerap Logam Cd, Cu dan Pb. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* 29, 119–127.
- Sunarsih, L.E., 2018. *Penanggulangan Limbah*, 1st ed. CV Budi Utama, Yogyakarta.
- Suryani, A.D., Hamzah, F., Johan, V.S., 2018. Variasi Waktu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Universitas Riau Jom Faperta Ur* 5, 1–10.
- Ungureanu, O.I., Bulgariu, D., Mocanu, A.M., Bulgariu, L., 2020. Functionalized PET waste based low-cost adsorbents for adsorptive removal of Cu(II) ions from aqueous media. *Water (Switzerland)* 12. <https://doi.org/10.3390/W12092624>
- Yuliani, R.L., Purwanti, E., Pantiwati, Y., 2015. Effect of Waste Laundry Detergent Industry Against Mortality and Physiology Index of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS* 822–828.²

² ea