

Kajian Tentang Pemilihan Bahan Penjerap Semulajadi Untuk Menyingkirkan Bahan Pencemar (COD) Daripada air Kelabu

Mohamad Aizol Faiz Badrol Hisham¹, Mohd Hairul Khamidun^{2*}, Mohd Baharudin Ridzuan³

^{1,2,3}Fakulti Kejuruteraan Awam dan Alam Bina,
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, Johor, 86400, MALAYSIA

*Corresponding Author Designation

DOI: <https://doi.org/10.30880/rtcebe.2022.03.01.160>

Received 4 July 2021; Accepted 13 December 2021; Available online 15 July 2022

Abstrak: Di Taman Universiti, air kelabu disalurkan terus ke longkang tanpa dirawat menyebabkan pencemaran kualiti air. Tujuan utama kajian ini adalah untuk membandingkan keboleherapan bahan penjerap semula jadi dan untuk menentukan peratus keberkesanan bahan penjerap dalam menyingkirkan permintaan oksigen kimia, COD dalam air kelabu. Kaedah penjerapan menggunakan zeolit, karbon teraktif dan tanah liat dan kaedah reka percubaan, DOE digunakan bagi mendapat nisbah penjerap yang akan digunakan. Peratusan penyingkiran COD adalah 79.41% dan kapasiti penjerapan adalah 0.54 mg/g untuk kaedah penjerapan menggunakan media komposit campuran zeolit, karbon teraktif dan tanah liat merupakan campuran yang terbaik. Penggunaan penjerap komposit yang mengandungi permukaan hidrofilik dan hidrofobik lebih berkesan sebagai penjerap yang berkesan dan dapat mengurangkan serta menyingkirkan COD yang berada dalam air.

Kata Kunci: Air Kelabu, Karbon Teraktif, Penjerapan, Tanah liat, Zeolit

1. Pengenalan

Permintaan Oksigen Kimia atau COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. COD yang tinggi di dalam air adalah disebabkan oleh kehadiran mikroba atau bahan organik dan bahan-bahan bukan organik yang boleh menyebabkan banyak potensi untuk dijangkiti. Penggunaan COD yang paling biasa adalah mengukur jumlah bacaan pencemar yang boleh teroksidakan yang terdapat di permukaan air seperti air longkang, tasik dan sungai. Air kelabu ialah air sisa buangan yang tidak dirawat dan diperolehi dari bilik mandi, sisa air mesin basuh, air basuh pinggan, singki dapur, bangunan pejabat dan sekolah yang tidak termasuk sisa tandas [1]. Patogen dan bahan cemar lain yang wujud dalam air kelabu mungkin akan menyebabkan penyakit sekali gus menjadikan rawatan dan panduan penting untuk memastikan kesihatan awam [2].

*Corresponding author: hairulk@uthm.edu.my

2022 UTHM Publisher. All rights reserved.

publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rtcebe

Banyak kajian yang tertumpu kepada penyingkiran bahan pencemar menggunakan kaedah pemendakan kimia dan rawatan fizikal seperti pertukaran ion, pengekstrakan pelarut dan kaedah penjerapan. Namun begitu, osmosis berbalik, pertukaran ion dan proses pengoksidaan awal tidak ekonomi kerana menggunakan kos yang tinggi [3]. Oleh itu, kaedah penjerapan telah digunakan untuk menyingkirkan sisa organik dari saluran air kelabu. Proses penjerapan ialah suatu fenomena permukaan yang terjadi pada antara muka. Sifat keliangan dan luas permukaan merupakan dua faktor yang penting dalam proses penjerapan [4]. Kaedah rawatan penjerapan terhadap air sisa telah terbukti lebih murah, efektif untuk merawat air sisa bergantung kepada penjerap yang digunakan [5]. Penjerapan adalah rawatan yang paling efektif dalam merawat air sisa industri yang mempunyai kekuatan tinggi dan logam berat dalam air [6].

Dengan mempertimbangkan kehadiran sisa organik dalam air kelabu. Kaedah penjerapan menggunakan penjerap semula jadi digunakan untuk menyingkirkan COD dalam air kelabu yang boleh menyebabkan jangkitan pada air. Penjerap adalah zarah pepejal yang mempunyai struktur berliang dan isi padu liang melebihi 50% daripada jumlah isi padu bahan, yang membolehkan kaedah penjerapan dilakukan [7]. Penjerap diklasifikasikan kepada dua penjerap sintetik dan iaitu penjerap semula jadi. Penjerap sintetik adalah penjerap daripada sisa dan produk pertanian, sisa daripada rumah, sisa industri, sisa kumbahan dan penjerap polimer. Penjerap semula jadi pula adalah arang, mineral tanah liat, zeolit dan bijih. Penjerap zeolit, karbon teraktif dan tanah liat digunakan dalam kajian ini untuk menyingkirkan COD dalam air kelabu. Oleh itu, tujuan kajian ini adalah untuk membandingkan keboleherapan bahan penjerap semula jadi menggunakan kapasiti penjerapan. Selain itu, kajian ini juga bertujuan untuk menentukan peratus keberkesanan bahan penjerap dalam menyingkirkan bahan pencemar, permintaan oksigen kimia atau COD. Kajian ini telah menggunakan metodologi yang memungkinkan untuk dikembangkan dan mungkin juga ideal untuk di aplikasikan kepada industri.

2. Metodologi

2.1 Menyediakan Penjerap dan Air Kelabu

Dalam kajian ini, penjerap yang digunakan untuk ujian penjerapan adalah penjerap semula jadi. Penjerap yang digunakan adalah zeolit, karbon teraktif dan tanah liat. Selain itu, isipadu sampel air kelabu dan berat penjerap diukur untuk mendapatkan nilai kapasiti penjerapan. Sebelum kaedah penjerapan dilakukan, penjerap semula jadi yang digunakan dalam kajian ini adalah zeolit, karbon teraktif dan tanah liat. Penjerap di ambil daripada makmal dan diayak selama 30 minit di dalam mesin pengadun ayak. Saiz yang dipilih bagi kesemua penjerap adalah antara 5mm sehingga 1.18mm. Selepas itu, penjerap dikeringkan di dalam ketuhar selama 24 jam untuk memastikan tiada kandungan lembapan di dalam penjerap.

2.2.1 Kaedah Reka Percubaan (DOE)

Kaedah penyelidikan makmal dilakukan pada bahagian ini. Kaedah reka percubaan (DOE) digunakan untuk mendapatkan nisbah penjerap yang akan digunakan selepas ujian penjerapan dilakukan. Nisbah penjerap digunakan adalah seperti berikut:

Jadual 1: Komposisi Penjerap

Penjerap	Nisbah campuran	Jumlah
Zeolit	1:0:0	20g
Karbon teraktif	0:1:0	20g
Tanah liat	0:0:1	20g
Zeolit dan tanah liat	1:0:1	20g
Zeolit, karbon teraktif dan tanah liat	2.5:3:2.5	20g

Jadual 1 menunjukkan komposisi bagi penjerap yang digunakan dalam ujian penjerapan. Jumlah berat bagi setiap penjerap komposit adalah 20g dan dibagi mengikut nisbah yang telah ditetapkan seperti di jadual 1.

2.3 Analisis Makmal

Ujian COD digunakan dalam kajian ini untuk mengukur tahap kebolehjerapan bahan penjerap dan mengukur peratus penyingkiran COD bagi penjerap dalam sampel air kelabu. Kaedah yang digunakan adalah kaedah pencernaan reaktor dari HACH 8000 dan dari APHA 5220. Bacaan kepekatan COD diukur sebelum ujian penjerapan dilakukan dan juga selepas ujian penjerapan dilakukan. Ini bagi mendapatkan peratus penyingkiran COD. Selepas itu, ujian COD dilakukan untuk mendapatkan bacaan awal kepekatan COD.

2.4 Ujian Penjerapan Kelompok

Ujian penjerapan dilakukan dengan menggunakan penjerap zeolit, karbon teraktif dan tanah liat. Penjerap komposit ditimbang sebanyak 20g mengikut nisbah masing-masing kemudiannya di masukkan ke dalam kelalang kon yang mengandungi sampel air kelabu sebanyak 100 mL. Seterusnya, penjerap digoncang di atas *orbital shaker* selama 3 jam pada 210 rpm. Persamaan yang digunakan dalam kajian ini adalah kapasiti penjerapan dan peratusan penyingkiran COD dalam air kelabu yang ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2) masing-masing seperti berikut.

$$qe = \left(\frac{V(Co - Ce)}{M} \right) \text{Persamaan. 1}$$

$$E\% = \left(\frac{Co - Ce}{Co} \times 100 \right) \text{Persamaan. 2}$$

Dimana q_e , adalah kapasiti penjerapan dalam mg/g, Co dan Ce adalah kepekatan awal dan akhir pencemar air kelabu dalam mg/L. V adalah isipadu larutan dalam L dan M ialah berat penjerap dalam g. Selain itu, peratus penyingkiran COD di dalam air kelabu adalah ($E\%$) menggunakan persamaan seperti diatas.

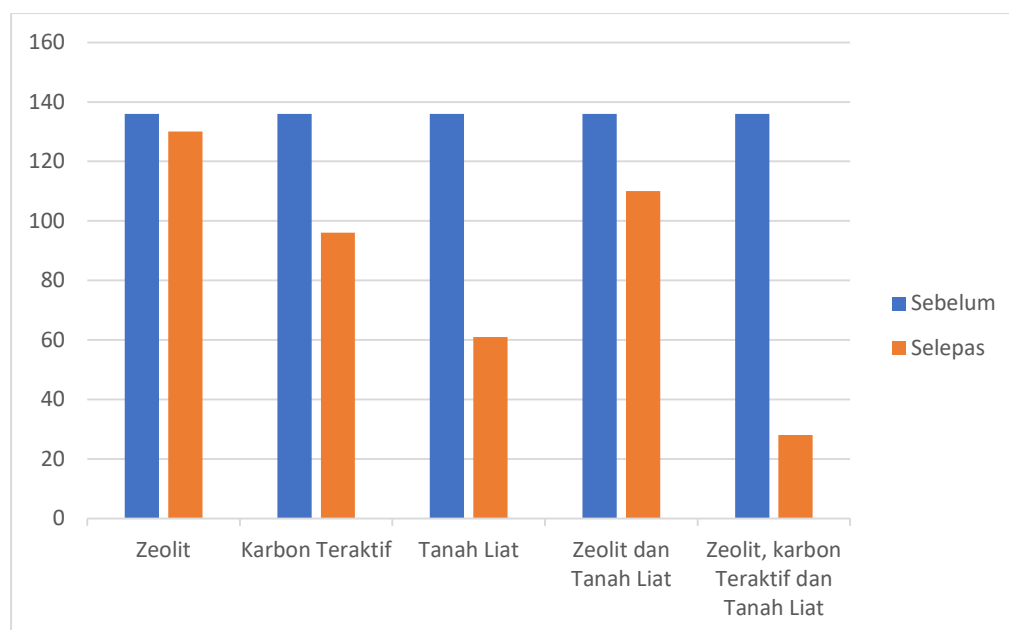
3. Keputusan dan Perbincangan

3.1 Keputusan COD

Bacaan diambil sebanyak 3 kali bacaan untuk mendapatkan purata nilai COD sebelum dan selepas. Bacaan awal bagi kepekatan COD sebelum ujian penjerapan dilakukan adalah 136 mg/L. Bacaan COD sebelum dan selepas ujian penjerapan direkodkan di dalam rajah 1.

3.2 Menentukan Kebolehjerapan Bahan Penjerap

Rajah 4.1 menunjukkan nilai bacaan purata selepas ujian bagi bacaan COD iaitu antara 28 mg/L hingga 130 mg/L. Nilai bacaan tertinggi COD selepas ujian adalah 130 mg/L dengan menggunakan zeolit sebagai bahan penjerap. Bacaan yang terendah adalah penjerap komposit iaitu hasil campuran daripada ketiga-tiga penjerap iaitu zeolit, karbon teraktif dan tanah liat. Graf bar pada rajah 1 menunjukkan perbezaan bacaan awal COD sebelum ujian penjerapan dilakukan dan selepas ujian penjerapan dilakukan. Penurunan atau perbezaan bacaan COD ditunjukkan pada rajah 1.



Rajah 1: Keputusan bacaan COD

Rajah 1 juga menunjukkan kadar keboleherapan bahan penjerap yang digunakan iaitu zeolit, karbon teraktif dan tanah liat. Kadar keboleherapan diukur dengan membandingkan bacaan sebelum ujian dan selepas ujian.

Graf bar menunjukkan kesemua sampel penjerap mempunyai kadar keboleherapan yang berbeza. Zeolit mempunyai kadar keboleherapan terendah berbanding karbon teraktif dan tanah liat yang hanya menggunakan satu penjerap. Zeolit yang mempunyai permukaan hidrofilik dilihat kurang berkesan jika dibandingkan dengan karbon teraktif yang mempunyai permukaan hidrofobik. Ini kerana zeolit, mempunyai permukaan zeolit bersifat hidrofilik dengan paras pori molekul yang berpenjajaran biasa dan keupayaan pertukaran kationik, yang menjadikannya penjerap yang baik untuk ion logam dan pemangkin [8]. Zeolit semula jadi mempunyai luas permukaan BET yang kecil [9]. Oleh itu, keboleherapan bagi penjerap zeolit berkurang secara tak langsung mengurangkan kapasiti penjerapan bagi penjerap zeolit.

Karbon teraktif menyediakan lampiran permukaan untuk mikroorganisma menghasilkan semula karbon teraktif. Karbon teraktif adalah penjerap yang paling berkesan untuk penyingkiran bahan pencemar organik dari fasa berair atau gas. Permukaan karbon adalah hidrofobik dengan ukuran liang pori dalam julat nanometer atau lebih tinggi akan menjadikannya lebih sesuai untuk ujian penjerapan keatas bahan organik [8]. Karbon teraktif adalah penjerap yang banyak digunakan kerana ketersediaannya dan mempunyai kapasiti penjerapan yang tinggi [10]. Dengan luas permukaan BET yang tinggi sepatutnya keboleherapan penjerap meningkatkan seterusnya meningkatkan kapasiti penjerapan.

Kadar keboleherapan tertinggi bagi sampel penjerap adalah campuran ketiga-tiga penjerap iaitu zeolit, karbon teraktif dan tanah liat dengan nisbah 2.5:3:2.5 berbanding dengan penjerap komposit yang hanya mencampurkan zeolit dan tanah liat. Ini kerana campuran penjerap komposit bagi zeolit dan karbon teraktif mempunyai kedua-dua jenis permukaan iaitu hidrofilik dan hidrofobik.

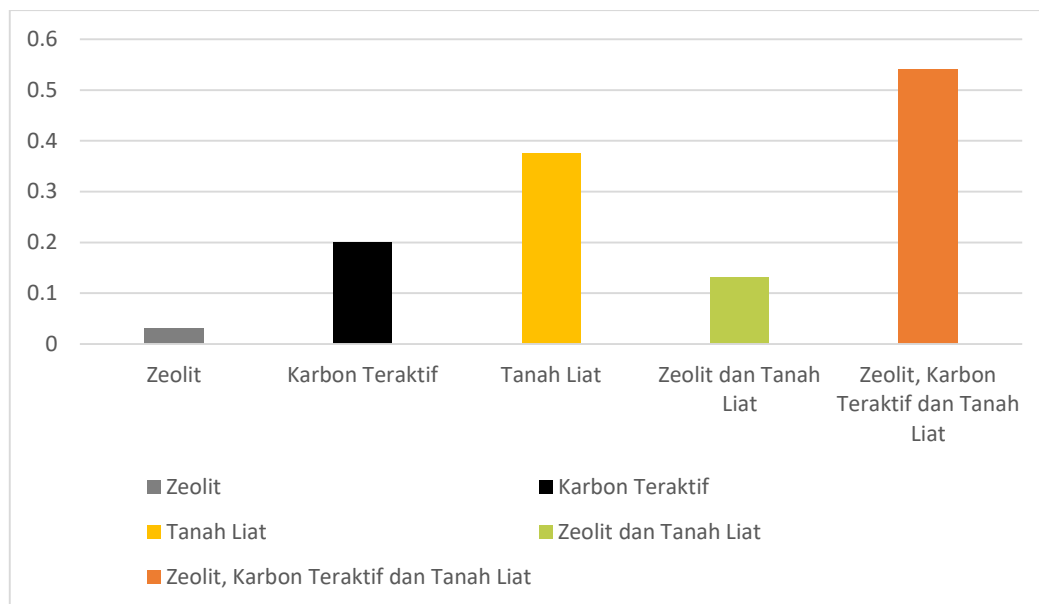
Gabungan karbon teraktif dan zeolit sebagai penukar ion semula jadi dalam media komposit menyediakan kedua-dua permukaan iaitu hidrofobik dan hidrofilik untuk organik dan bukan organik [8]. Oleh itu, campuran komposit penjerap yang mempunyai kedua-dua jenis permukaan hidrofilik dan hidrofobik terbukti lebih berkesan digunakan sebagai penjerap bagi penyingkiran organik.

3.3 Kapasiti Penjerapan

Rajah 2 menunjukkan keputusan bacaan bagi kapasiti penjerap. Penjerap zeolit menunjukkan bacaan terendah dengan 0.03 mg/g. Zeolit dengan struktur liang pori yang seragam, tinggi luas permukaan yang spesifik dan kestabilan yang sangat baik adalah penjerap yang menjanjikan penjerapan terbaik. Walau bagaimanapun, sifat hidrofilik zeolit mengurangkan kapasiti penjerapan dalam persekitaran lembap [11].

Penjerap karbon teraktif mencatatkan nilai bacaan 0.2 mg/g. Ini kerana, penjerap tunggal, karbon teraktif biasanya tidak mempunyai cukup kapasiti penjerapan kerana biasanya memiliki permukaan tidak polar diakibatkan oleh keadaan semasa pembuatannya pada suhu tinggi, yang merupakan kekurangan bagi beberapa aplikasi kerana interaksi lemah dengan sebilangan penjerap berkutub [12].

Penjerap tanah liat mempunyai kapasiti penjerapan tertinggi dengan 0.375 mg/g sebagai penjerap tunggal yang digunakan. Ini kerana, luas permukaan spesifik yang besar, kestabilan kimia dan mekanikal, struktur berlapis, tinggi kapasiti pertukaran dan kehadiran Brönsted dan Lewisacid pada permukaan menjadikan tanah liat sangat baik sebagai bahan penjerap [13].

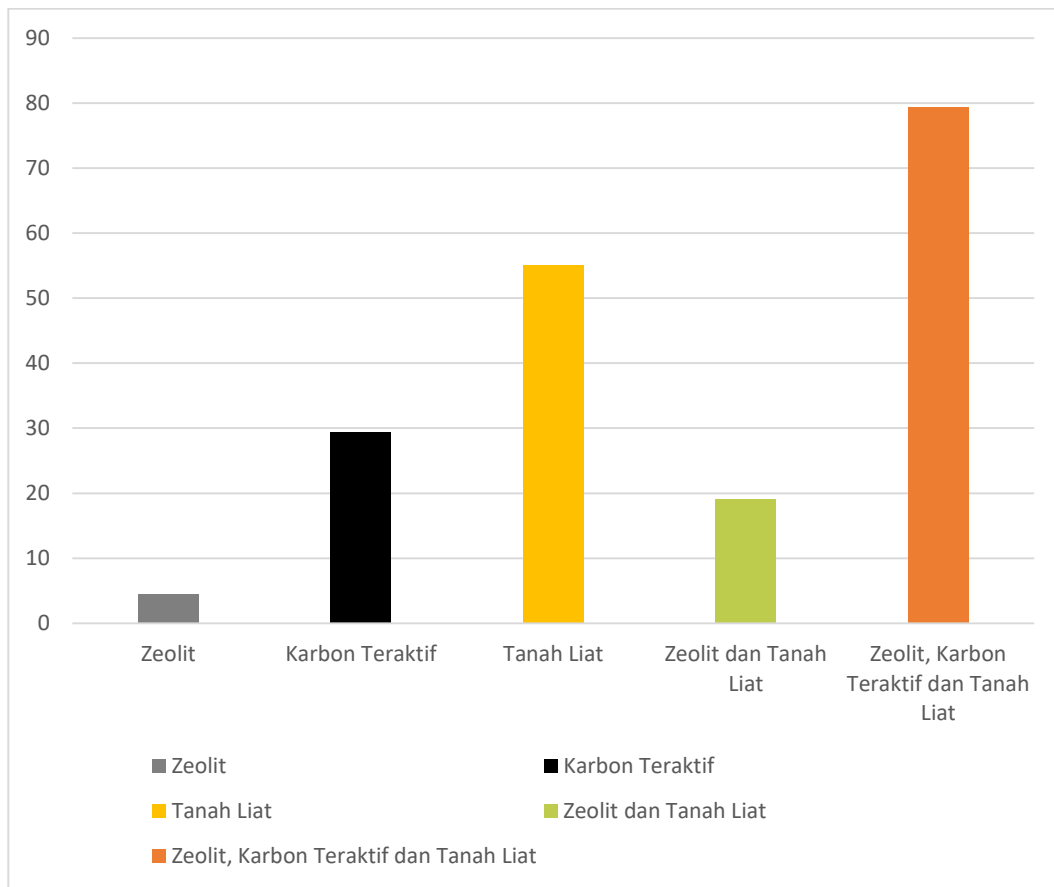


Rajah 2: Keputusan Bacaan Kapasiti Penjerapan

Nilai bacaan kapasiti penjerapan, penjerap komposit campuran zeolit dan tanah liat adalah 0.13 mg/g. Ini kerana satu lapisan penjerap terbentuk pada permukaan yang heterogen iaitu hidrofilik dan hidrofobik [14]. Faktor ini juga dipengaruhi oleh luas permukaan BET. Luas permukaan BET bagi zeolit adalah 9.32 m²g⁻¹ dari kajian [9] dan bagi tanah liat adalah minimum 22.7 m²g⁻¹ dan maksimum 118 m²g⁻¹ [15].

Penjerap komposit yang menggunakan ketiga-tiga penjerap mempunyai kapasiti penjerapan tertinggi dengan 0.54 mg/g. Ini kerana penjerap komposit ini bergabung dan membentuk satu penjerap tunggal yang mempunyai kedua-dua permukaan iaitu hidrofobik dan hidrofilik.

3.4 Peratus Penyingkiran Permintaan Oksigen Kimia, COD



Rajah 3: Peratus Penyingkiran COD

Peratus penyingkiran COD % dapat dikira menggunakan persamaan 2. Peratus penyingkiran COD dikira bagi menunjukkan peratus penyingkiran COD bagi bahan penjerap yang dipilih. Peratus penyingkiran COD % ditunjukkan dalam Rajah 3.

Peratusan di Rajah 3 menunjukkan kadar keberkesanan bahan penjerap dalam menyingkirkan COD. Zeolit adalah paling kurang berkesan dalam menyingkirkan COD iaitu hanya 4.41% berbanding penjerap tunggal yang lain. Hal ini kerana zeolit adalah penjerap yang mempunyai permukaan yang hanya bersifat hidrofilik. Zeolit tergolong dalam kumpulan penukar kationik kerana mempunyai banyak cas negatif di permukaannya, yang terhasil daripada penggantian isomorfik silikon oleh aluminium pada unit struktur utama.

Faktor ini mungkin menyebabkan penggunaan zeolit sahaja sebagai bahan penjerap kurang berkesan dalam menyingkirkan COD. Permukaan hidrofobik daripada bahan penjerap seperti karbon teraktif diperlukan dalam penjerap bagi meningkatkan keberkesanan penjerap dalam menjerap sisa air kelabu bagi sisa pencemar COD.

Pengembangan karbon teraktif, karbon teraktif adalah penjerap dengan luas permukaan berliang pori yang besar, struktur liang yang dapat dikawal, termostabiliti dan reaktiviti asid atau bas telah diumumkan, karbon teraktif juga memiliki kemampuan unggul untuk menyingkirkan pelbagai jenis organik dan bahan pencemar bukan organik yang larut dalam media berair dan juga gas dari persekitaran gas [16]. Sifat ini membolehkan karbon teraktif menyingkirkan COD dengan lebih efektif walaupun sebagai penjerap tunggal

Daripada kajian [8] menyatakan bahawa karbon teraktif lebih berkesan dalam menyingkirkan COD diikuti dengan penjerap komposit dan seterusnya zeolit. Luas permukaan yang tinggi dengan saiz liang pori yang lebar dan permukaan hidrofobik memberikan kelebihan kepada karbon teraktif untuk menyerap lebih banyak sisa organik. Oleh itu, dalam kajian ini menunjukkan peratusan penyingkiran COD bagi penjerap tunggal karbon teraktif adalah 55.15% lebih tinggi berbanding zeolit 4.41%.

Dalam rajah 3, tanah liat merekodkan nilai penyingkiran peratusan COD tertinggi dengan 55.15% sebagai penjerap tunggal. Ini kerana, tanah liat yang terdiri daripada montmorillonite mempunyai alumino-silikat yang dapat mengoptimalkan asid-bas dan interaksi hidrofobik dengan spesies organik di dalam air melalui proses pengubahsuaian dan menyucikan [17]. Selain itu, tanah liat juga permukaan hidrofilik yang ditukarkan kepada organofilik mengikut kajian daripada [18]. Mineral tanah liat membentuk penghalang semula jadi yang sangat baik kerana ukurannya yang kecil, luas permukaan yang khusus, tinggi kecekapan dengan pengambilan kapasiti yang tinggi, dan proses diagenetik yang menyebabkan ketumpatan semula jadi yang tinggi [19]. Faktor ini menjadi penyebab utama kenapa tanah liat mempunyai nilai peratus penyingkiran COD tertinggi bagi penjerap tunggal berbanding zeolit dan karbon teraktif.

Penjerap komposit yang menggabungkan bahan berasaskan karbon dan mineral (zeolit) dalam campuran komposit penjerap menggabungkan sifat baik kedua-duanya bahan penjerapan dalam media penjerap komposit tunggal [8]. Namun begitu, penjerap komposit yang menggabungkan tanah liat dan zeolit dilihat kurang berkesan dalam menyingkirkan COD berbanding penjerap komposit yang menggabungkan ketiga-tiga penjerap. Peratus penyingkiran COD bagi penjerap komposit ini adalah 19.12%. Kehadiran penjerap zeolit dilihat mengurangkan keberkesanan tanah liat dalam menyingkirkan peratusan COD bagi air kelabu. Penjerap zeolit yang mempunyai hanya permukaan hidrofilik dan tanah liat yang mungkin kurang permukaan hidrofobik menyebabkan penjerap komposit ini kurang berkesan dalam menyingkirkan COD.

Oleh itu, media penjerap komposit yang menggunakan zeolit, tanah liat dan karbon teraktif dapat menyingkirkan peratusan COD tertinggi iaitu 79.41% dengan kehadiran tanah liat yang mempunyai kedua-dua jenis permukaan iaitu permukaan hidrofobik dan hidrofilik. Penjerap komposit zeolit, karbon teraktif dan tanah liat mempunyai kadar keberkesanan tertinggi dengan peratus penyingkiran sebanyak 79.41%. Gabungan karbon teraktif dan zeolit sebagai penukar ion semula jadi dalam media komposit menyediakan kedua-dua permukaan iaitu hidrofobik dan hidrofilik untuk organik dan bukan organik [8]. Hasil gabungan penjerap komposit ini menunjukkan potensi yang baik sebagai penjerap yang berkesan dalam menyingkirkan COD. Ini kerana tanah liat mempunyai kedua-dua jenis permukaan iaitu hidrofilik dan hidrofobik serta zeolit mengandungi permukaan hidrofilik di campur dengan karbon teraktif yang mempunyai permukaan hidrofobik menjadikan gabungan komposit ini adalah yang terbaik dalam menyingkirkan COD di dalam air kelabu.

Penjerap yang terbaik adalah penjerap komposit gabungan ketiga-tiga penjerap iaitu zeolit, tanah liat dan karbon teraktif kerana mempunyai kadar keboleherapan tertinggi serta penjerap paling berkesan dalam menyingkirkan COD di dalam sisa air kelabu dan mempunyai nilai peratusan tertinggi sebanyak 79.41% dalam menyingkirkan COD dan mempunyai kapasiti penjerapan yang tertinggi iaitu 0.54 mg/g.

4. Kesimpulan

Dalam kajian ini, Penjerapan menggunakan media komposit campuran zeolit, karbon teraktif dan tanah liat merupakan campuran yang terbaik untuk menentukan kapasiti penjerapan dan menentukan keboleherapan bahan penjerap. Selain itu, penjerap komposit ini juga mampu menyingkirkan peratusan COD dengan lebih berkesan. Keputusan ujian menunjukkan penggunaan penjerap yang mempunyai kedua-dua permukaan iaitu permukaan hidrofilik dan hidrofobik lebih berkesan sebagai

penjerap. Cadangan yang boleh digunakan pada masa akan datang untuk merawat air kelabu iaitu dengan menggunakan sistem rawatan yang lebih cekap adalah mengkaji lebih lanjut mengenai ciri-ciri air kelabu di kawasan saluran perumahan untuk memahami lebih lanjut mengenai ciri-ciri air kelabu dan melakukan lebih banyak kajian tentang jenis-jenis bahan penjerap serta menggabungkan penjerap hidrofobik dan hidrofilik sebagai bahan penjerap komposit yang lebih berkesan dalam menyingkirkan bahan pencemar

Pengakuan

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakulti Kejuruteraan Awam dan Alam Bina Universiti Tun Hussein Onn Malaysia atas sokongan yang diberikan sepanjang menyiapkan kajian ini.

References

- [1] H. Atiku, R. M. S. R. Mohamed, and A. A. Wurochekke, "Bioremediation of bathroom greywater with Microalgae *Botryococcus* sp.," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 46, 2016, doi: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107115.
- [2] I. N. Shaikh and M. M. Ahammed, "Quantity and quality characteristics of greywater: A review," *Journal of Environmental Management*, vol. 261. Academic Press, May 01, 2020. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110266.
- [3] M. Nageeb, "Adsorption Technique for the Removal of Organic Pollutants from Water and Wastewater," in *Organic Pollutants - Monitoring, Risk and Treatment*, InTech, 2013. doi: 10.5772/54048.
- [4] M. A. Kamaruddin, M. Suffian, Y. • Hamidi, A. Aziz, and Y.-T. Hung, "Sustainable treatment of landfill leachate", doi: 10.1007/s13201-014-0177-7.
- [5] A. Aziz, A. Latiff, A. O. Adeleke, M. B. Ridzuan, and N. Falilah, "Batch adsorption of manganese from palm oil mill effluent onto activated cow bone powder," 2017. [Online]. Available: www.arpnjournals.com
- [6] L. Rizzo, A. Fiorentino, M. Grassi, D. Attanasio, and M. Guida, "Advanced treatment of urban wastewater by sand filtration and graphene adsorption for wastewater reuse: Effect on a mixture of pharmaceuticals and toxicity," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 122–128, 2015, doi: 10.1016/j.jece.2014.11.011.
- [7] N. C. Dias, P. A. Steiner, and M. C. B. Braga, "Characterization and Modification of a Clay Mineral Used in Adsorption Tests," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 03, no. 04, pp. 277–288, 2015, doi: 10.4236/jmmce.2015.34030.
- [8] A. A. Halim, H. A. Aziz, M. A. M. Johari, and K. S. Ariffin, "Comparison study of ammonia and COD adsorption on zeolite, activated carbon and composite materials in landfill leachate treatment," *Desalination*, vol. 262, no. 1–3, pp. 31–35, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.desal.2010.05.036.
- [9] B. Hudcová, M. Osacký, M. Vítková, A. Mitzia, and M. Komárek, "Investigation of zinc binding properties onto natural and synthetic zeolites: Implications for soil remediation," *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 317, p. 111022, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.micromeso.2021.111022.
- [10] Z. Yi, Q. Tang, T. Jiang, and Y. Cheng, "Adsorption performance of hydrophobic/hydrophilic silica aerogel for low concentration organic pollutant in aqueous solution," *Nanotechnology Reviews*, vol. 8, no. 1, pp. 266–274, Jan. 2019, doi: 10.1515/ntrev-2019-0025.

- [11] S. Lu *et al.*, “Core-shell structured Y zeolite/hydrophobic organic polymer with improved toluene adsorption capacity under dry and wet conditions,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 409, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.cej.2020.128194.
- [12] S. J. Park and B. J. Kim, “Ammonia removal of activated carbon fibers produced by oxyfluorination,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 291, no. 2, pp. 597–599, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.jcis.2005.05.012.
- [13] E. Padilla-Ortega, N. Medellín-Castillo, and A. Robledo-Cabrera, “Comparative study of the effect of structural arrangement of clays in the thermal activation: Evaluation of their adsorption capacity to remove Cd(II),” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 4, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.103850.
- [14] A. B. Rakhym, G. A. Seilkhanova, and T. S. Kurmanbayeva, “Adsorption of lead (II) ions from water solutions with natural zeolite and chamotte clay,” in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 31, pp. 482–485. doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.672.
- [15] M. Dogan, A. Umran Dogan, F. Irem Yesilyurt, D. Alaygut, I. Buckner, and D. E. Wurster, “Baseline studies of the Clay Minerals Society Special Clays: Specific surface area by the Brunauer Emmett Teller (BET) method,” *Clays and Clay Minerals*, vol. 55, no. 5, pp. 534–541, Oct. 2007, doi: 10.1346/CCMN.2007.0550508.
- [16] K. Y. Foo and B. H. Hameed, “An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 171, no. 1–3, pp. 54–60, Nov. 15, 2009. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.038.
- [17] F. Boudissa *et al.*, “Acid-treated clay catalysts for organic dye ozonation – Thorough mineralization through optimum catalyst basicity and hydrophilic character,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 364, pp. 356–366, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.09.070.
- [18] A. Gil *et al.*, “A review of organic-inorganic hybrid clay based adsorbents for contaminants removal: Synthesis, perspectives and applications,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no. 5, p. 105808, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105808.
- [19] E. ElBastamy, L. A. Ibrahim, A. Ghandour, M. Zelenakova, Z. Vranayova, and M. Abu-Hashim, “Efficiency of Natural Clay Mineral Adsorbent Filtration Systems in Wastewater Treatment for Potential Irrigation Purposes,” *Sustainability*, vol. 13, no. 10, p. 5738, May 2021, doi: 10.3390/su13105738.