



Kinerja Adsorben Zeolit untuk Meningkatkan Kualitas Air Kolong Bekas Tambang Timah

Fifia Zulti^{1*} 

¹ Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bogor, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received January 29, 2022

Revised February 11, 2022

Accepted April 13, 2023

Available online July 25, 2023

Kata Kunci:

Adsorpsi, zeolit, warna, kekeruhan

Keywords:

Adsorption, zeolite, colour, turbidity



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Kolam bekas penambangan timah sangat melimpah di pulau Bangka dan berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber air baku dengan pengolahan terlebih dahulu. Zeolit telah banyak digunakan dalam pengolahan air karena kemampuannya yang memadai sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan dan meningkatkan kinerja zeolit alam untuk menjernihkan air kolong dengan mengukur parameter konsentrasi warna, kekeruhan, pH dan logam Fe. Aktivasi zeolit alam dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300 dan 500°C serta perendaman dalam asam sulfat 2M. Air kolong yang diuji dengan metode *batch adsorption* untuk melihat kinerja adsorpsi zeolit. Hasil analisa warna dan kekeruhan dengan menggunakan spektrofotometer portable tipe HACH DR/2010 menunjukkan efisiensi reduksi pada kondisi optimum untuk warna sebesar 94,23% dan kekeruhan sebesar 73,33%. Jadi zeolit alam teraktivasi mampu meningkatkan kualitas air kolong dengan menurunkan konsentrasi warna, kekeruhan dan logam besi menjadi 4 PtCo, 3 NTU dan 0,19 mg/L. Nilai ketiga parameter tersebut telah memenuhi standar baku mutu air minum. Simpulan penelitian menunjukkan zeolit alam yang diaktivasi secara fisika-kimia dapat memperbaiki kualitas air kolong.

ABSTRACT

Former tin mining ponds are very abundant on Bangka Island and have the potential to be used as a source of raw water with prior processing. Zeolite has been widely used in water treatment because of its adequate ability as an adsorbent. This research aims to utilize and improve the performance of natural zeolites to purify pit water by measuring the concentration parameters of color, turbidity, pH and Fe metal. Activation of natural zeolite was carried out by heating at temperatures of 300 and 500°C and immersing in 2M sulfuric acid. The underground water was tested using the batch adsorption method to see the zeolite adsorption performance. The results of color and turbidity analysis using a portable spectrophotometer type HACH DR/2010 showed that the reduction efficiency at optimum conditions for color was 94.23% and turbidity was 73.33%. So activated natural zeolite is able to improve the quality of underground water by reducing the concentration of color, turbidity and iron metal to 4 PtCo, 3 NTU and 0.19 mg/L. The values of these three parameters meet drinking water quality standards. The research conclusion shows that natural zeolite which is activated physico-chemically can improve the quality of underground water.

1. PENDAHULUAN

Biji timah sebagai komoditas ekspor yang menghasilkan keuntungan besar dan cepat telah memacu berkembangnya kegiatan penambangan baik legal maupun illegal di daerah Kabupaten Bangka (Nurtjahya et al., 2017; M. Yusuf et al., 2021). Kegiatan tersebut telah meningkatkan kesejahteraan masyarakat, namun disisi lain membawa dampak negatif berupa kerusakan lingkungan dengan terjadinya perubahan bentangan alam berupa cekungan dan tanggul serta menurunnya kesuburan tanah (Asmarhansyah et al., 2017; Krupskaya et al., 2021). Cekungan/kolong tersebut dibiarkan begitu saja dan berisi air yang dikenal masyarakat dengan air kolong. Sisi negatif lainnya adalah banyak lumpur yang masuk ke aliran sungai sehingga terjadi sedimentasi dan pencemaran yang berujung pada krisis air bersih. Kolong yang terisi air dan jumlahnya ribuan di Kabupaten Bangka merupakan air tercemar karena bersifat asam, keruh dan mengandung logam berat seperti Fe, Pb dan Cu (Liliani Rosa et al., 2019; Muh Yusuf et al., 2022).

Dengan teknologi pengolahan yang tepat, air kolong tersebut dapat menjadi sumber air bersih yang besar. Teknologi pengolahan air dengan menghilangkan polutan, logam berat dan padatan tersuspensi telah banyak dilakukan (Ahmed et al., 2022; Qasem et al., 2021; Rozumová & Prehradná, 2018; Saleh et al., 2022). Sedangkan penelitian yang khusus pengolahan air kolong masih sedikit, diantaranya penghilangan logam Fe air kolong dengan menggunakan kitosan (Aldila et al., 2021), netralisasi air asam

*Corresponding author.

E-mail addresses: fitria89@gmail.com (Fifia Zulti)

bekas tambang dengan NaOH (Utami et al., 2020), dan pengolahan air kolong dengan reaktor membran (Makropoulos et al., 2018). Ketiga metode tersebut memiliki keterbatasan yaitu membutuhkan bahan kimia dalam jumlah banyak, biaya tinggi dan tenaga ahli sebagai operator. Oleh karena itu masih perlu dilakukan berbagai kajian pengolahan air kolong sehingga ditemukan metode pengolahan yang efektif, efisien dan mudah diaplikasikan. Air bersih secara fisik yaitu air yang tidak berwarna, berbau dan berasa. Air yang berwarna dan keruh menunjukkan adanya polutan berupa partikel tersuspensi, kandungan organik dan pada beberapa kasus menunjukkan adanya logam besi dalam perairan (Ali et al., 2019). Nilai kekeruhan dan warna air tidak boleh melebihi ambang batas karena akan mengganggu kestabilan ekosistem organisme dalam perairan dan juga berdampak negatif pada kesehatan manusia (Koki et al., 2019). Parameter pH Air sering digunakan untuk mengukur kualitas air secara kualitatif, dimana untuk air minum nilai pH harus netral (~ 7) (Chalchisa et al., 2018).

Pengukuran warna dan kekeruhan dapat dilakukan secara *in-situ* dan nilai pengukurannya bisa dijadikan acuan untuk memilih kolong mana yang berpotensi untuk diolah lebih lanjut sebagai sumber air baku. Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan dari sumber air dengan berbagai metode yaitu adsorpsi, koagulasi, flokulasi dan filtrasi (Cruz et al., 2020; Mahmud et al., 2016; Malik, 2018; Onen et al., 2018; Shaban et al., 2017). Dari berbagai metode tersebut, adsorpsi lebih banyak dipakai dalam menurunkan kekeruhan dan warna karena teknologinya sederhana sehingga mudah diintegrasikan dengan sistem remediasi lainnya. Teknologi ini diterapkan dengan menggunakan reaktor kolom atau sistem statis (*batch adsorption*) (Sales et al., 2019; Ojstršek et al., 2022;).

Jenis adsorben untuk pengolahan air umumnya berasal dari alam dan sintetis. Salah satu adsorben alami yang banyak digunakan adalah zeolit karena memiliki sifat adsorpsi dan pertukaran ion yang luar biasa, stabilitas kimia tinggi, jumlah melimpah dan harga murah (Astuti et al., 2019; Mirzaei et al., 2018; Mkilima et al., 2021). Mineral zeolit sangat mudah ditemukan di pulau Bangka. Maka dari itu tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan dan meningkatkan kinerja zeolit alam untuk menjernihkan air kolong dengan mengukur parameter konsentrasi warna, kekeruhan, pH dan logam Fe.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sistem adsorpsi statis (*batch adsorption*) dimana sejumlah adsorben dengan massa tetap dicampurkan dalam air kolong dan diamati kualitasnya dalam selang waktu tertentu. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrokimia Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air BRIN. Sampel air kolong diambil langsung dari salah satu kolong di daerah muntok, Kabupaten Bangka Barat. Kemudian sampel tersebut dibawa dan disimpan di laboratorium. Zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pasar lokal di daerah Bogor. Penelitian terdiri dari 3 tahap yaitu aktivasi zeolit, uji adsorpsi dan analisa parameter kualitas air.

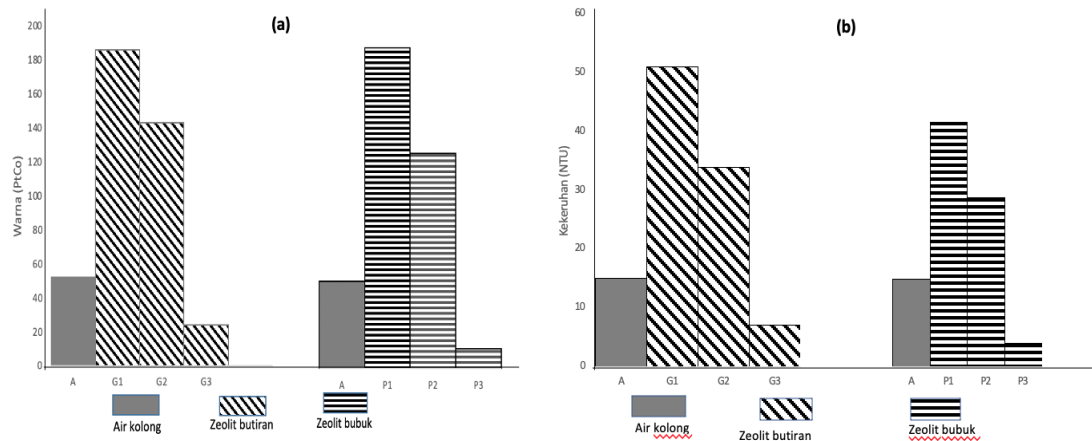
Aktivasi adalah semua proses yang dilakukan pada adsorben sebelum digunakan berupa pengecilan ukuran, granulasi, pemanasan dan perlakuan kimia. Tujuan dari aktivasi zeolit adalah menghilangkan zat pengotor yang dapat mengganggu atau mengurangi kinerja dan sifat-sifat khususnya (Ngapa, 2017). Pada penelitian ini, aktivasi zeolit dilakukan secara fisika dan fisika-kimia. Proses aktivasi fisika yaitu dengan memanaskan sejumlah zeolit alam pada suhu 300 dan 500°C selama 2 jam. Setelah itu sebagian zeolit digerus sampai halus dan diayak pada ukuran 80 mesh sehingga dihasilkan dua jenis zeolit yaitu dalam bentuk butiran dan bubuk. Proses aktivasi fisika-kimia yaitu zeolit dipanaskan pada suhu 500°C kemudian direndam dalam larutan H_2SO_4 2M (Suhartana & Pardoyo, 2020) dan dilakukan modifikasi waktu perendaman yaitu 6 jam. Setelah itu dilakukan pencucian untuk normalisasi pH dan dikeringkan pada suhu 110°C.

Uji adsorpsi dilakukan dengan menggunakan Grotory Shaker-Model G2 pada kecepatan 125 rpm. Air kolong sebanyak 50 ml dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer kemudian ditambahkan zeolit aktif sebanyak 5, 10 dan 20 g. Selanjutnya sampel diaduk selama 30, 60, 90, dan 120 menit. Dari hasil ini diperoleh data pengujian adsorpsi dengan dua variasi yaitu massa adsorben dan waktu kontak. Analisa parameter kualitas air, kekeruhan dan warna diukur dengan spektrofotometer portable tipe HACH DR/2010. Instrumen ini merupakan mikroprosesor dengan berkas tunggal *single beam* untuk pengujian kolorimetri di laboratorium atau lapangan. Analisa warna dan kekeruhan diukur pada panjang gelombang 450 nm dan 860 nm. Pada kondisi optimum juga diukur parameter fisik lainnya yaitu pH dan logam Fe. pH diukur dengan WQC Horiba dan analisa logam besi (Fe) di laboratorium tanah, tanaman, pupuk dan air Balai Penelitian Tanah KEMENTAN. Kemampuan kerja zeolit sebagai adsorben dapat ditentukan dengan menghitung efisiensi reduksi dan kapasitas adsorpsi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

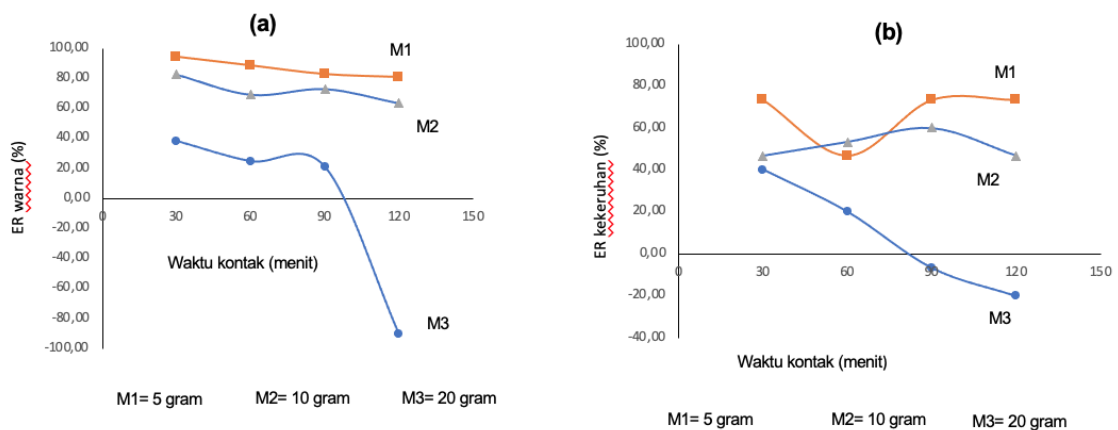
Hasil

Berdasarkan ketiga metode aktivasi zeolit yang dilakukan, didapatkan zeolit yang diaktivasi secara fisika-kimia (500°C dan asam sulfat) dapat menurunkan konsentrasi warna dan kekeruhan air kolong uji, sedangkan aktivasi zeolit secara fisika (300 °C dan 500 °C) memberikan pengaruh yang berkebalikan, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



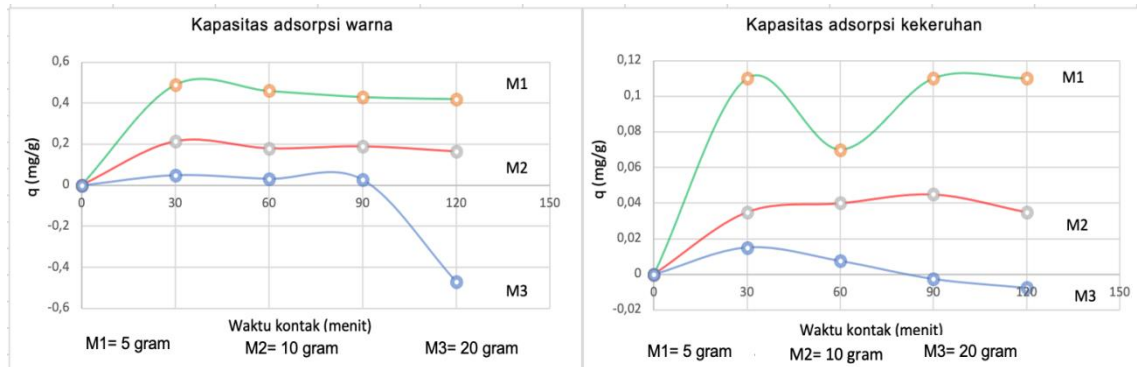
Gambar 1. Pengaruh aktivasi zeolit butiran dan bubuk pada suhu 300°C (G1, P1), 500°C (G2, P2), 500°C dan direndam asam sulfat (G3, P3) dalam menurunkan warna (a) dan kekeruhan (b) air kolong.

Jumlah massa adsorben dan waktu kontak mempengaruhi efisiensi reduksi seperti yang terlihat pada Gambar 2. Adsorpsi warna menurun seiring bertambahnya waktu kontak dan massa adsorben (Gambar 2a). Penambahan zeolit sebanyak 20 g menyebabkan air kolong bertambah keruh dengan nilai warna 99 PtCo yang sebelumnya 52 PtCo. Pengadukan dengan zeolit aktif sebanyak 5 g paling efektif dalam menurunkan warna air kolong dari 52 PtCo menjadi 3 PtCo. Efisiensi maksimum penurunan warna terjadi pada waktu kontak 30 menit dengan nilai masing-masing 94,23%, 82,69% dan 38,46% dengan massa zeolit aktif sebanyak 5, 10 dan 20 g. Konsentrasi kekeruhan juga menurun dengan signifikan pada waktu kontak 30 menit, selanjutnya perlahan naik seiring dengan lamanya pengadukan sampai jenuh setelah 120 menit (Gambar 2b). Penambahan zeolit sebanyak 20 g menyebabkan air kolong bertambah keruh dengan nilai warna 99 PtCo yang sebelumnya 52 PtCo dan nilai kekeruhan 18 NTU yang sebelumnya 15 NTU. Berdasarkan hasil ini maka dapat dikatakan kondisi optimum zeolit aktif dalam menjernihkan air kolong yaitu dengan penambahan 5 g zeolit aktif dan diaduk selama 30 menit.



Gambar 2. Pengaruh massa adsorben dan waktu kontak terhadap efisiensi reduksi warna (a) dan kekeruhan (b) air kolong.

Kapasitas adsorpsi menunjukkan jumlah adsorbat yang terjerap dalam adsorben. Baik warna maupun kekeruhan sama-sama menunjukkan penurunan kapasitas adsorpsi dengan penambahan massa zeolit dan waktu kontak seperti yang terlihat pada Gambar 3. Rata-rata kapasitas adsorpsi zeolit sebesar 0,24 mg/g untuk warna dan 0,058 mg/g untuk kekeruhan. Jadi 1 g zeolit mampu menyerap rata-rata 0,24 mg zat warna dan 0,058 mg kekeruhan. Kapasitas adsorpsi maksimum warna dan kekeruhan yaitu sebesar 0,49 mg/g dan 0,11 mg/g dengan massa zeolit 5 g pada waktu kontak 30 menit.



Gambar 3. Pengaruh waktu kontak terhadap penurunan kapasitas adsorpsi warna dan kekeruhan air kolong.



Gambar 4. Penampakan fisik air kolong sebelum dan setelah diolah dengan zeolit aktif

Uji performa adsorpsi zeolit aktif menunjukkan bahwa zeolit aktif mampu mereduksi warna dan kekeruhan dalam air kolong. Air yang telah diolah dengan zeolit aktif menjadi jernih yang semula berwarna keruh kekuning-kuningan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. Secara visual maka air kolong sudah layak sebagai sumber air bersih karena jernih dan tidak berbau. Oleh karena itu dilakukan analisa parameter air yang lain untuk memenuhi standar kualitas air untuk air minum. Hasil pengujian kualitas air kolong secara kuantitatif pada kondisi optimum disajikan pada Tabel 1. Air kolong yang telah diadsorpsi mempunyai nilai pH netral, kekeruhan sebesar 3 NTU, warna 4 PtCo dan kandungan besi (Fe) 0,19 mg/L (Efisiensi reduksi 76,25 %) telah memenuhi standar baku kualitas air minum.

Tabel 1. Hasil pengujian kualitas air kolong

Parameter	Air Kolong	Air kolong setelah proses adsorpsi	Standar baku kualitas air minum (Permenkes RI No. 492 Tahun 2010)
pH	5,44	6,81-7,01	6,5-8,5
Warna (PtCo)	52	4	15
Kekeruhan (NTU)	15	3	5
Fe (mg/L)	0,8	0,19	0,3

Pembahasan

Kolong yang jumlahnya ribuan di Kabupaten Bangka berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber air baku dengan dilakukan pengolahan terlebih dahulu karena aktivitas penambangan menyisakan berbagai zat pencemar yang terkandung dalam air kolong. Aktivasi pada zeolit mampu meningkatkan kinerja

adsorpsi zeolit. Kombinasi aktivasi fisika-kimia akan memberikan hasil yang bagus karena perendaman dengan asam akan menghilangkan pengotor-pengotor yang terdapat pada adsorben sehingga luas permukaan pori adsorben bertambah luas (Martama & Suwartha, 2021; Mierczynski et al., 2021). Semakin luas permukaan pori adsorben maka akan semakin banyak adsorbat yang dapat dijerap. Proses aktivasi secara fisika bertujuan untuk mengubah struktur zeolit dengan cara pemanasan pada rentang suhu tertentu. Jika suhu pemanasan zeolit melebihi rentang 500-550°C daya jerap zeolit semakin menurun akibat terjadinya gangguan struktur kristal zeolit karena proses pemanasan pada suhu tinggi (Wahono et al., 2019, Suhendi et al., 2021). Ukuran partikel juga mempengaruhi kinerja adsorben. Zeolit yang dihaluskan mempunyai luas permukaan pori yang lebih besar dibandingkan zeolit butiran sehingga nilai efisiensi reduksinya lebih besar (Jafari et al., 2018; Yogafanny et al., 2018).

Waktu kontak dan jumlah adsorben mempengaruhi efisiensi reduksi warna dan kekeruhan air kolong oleh zeolit aktif. Penambahan dosis zeolit aktif akan menurunkan efisiensi reduksi karena pada saat awal kontak adsorben dalam kondisi terbaik sehingga mampu menyerap banyak adsorbat ke dalam pori-pori adsorben tersebut sampai mencapai kondisi optimum. Setelah itu terjadi saturasi dalam larutan sehingga konsentrasi warna dan kekeruhan meningkat (Farida Hanum et al., 2017; Hammood et al., 2021). Hasil penelitian ini jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya yang hanya mampu mereduksi kekeruhan dalam air menggunakan zeolit alam sebesar 11,75% (Zain et al., 2019). Penurunan kekeruhan dalam limbah sebesar 72 % dan reduksi logam Fe dengan zeolit alam sebesar 29-60% (Siswoyo et al., 2021). Begitu pula pada penelitian lainnya reduksi logam Fe dengan menggunakan zeolit alam hanya sebesar 7 % (Vera-Puerto et al., 2020). Kenaikan kapasitas adsorpsi zeolit juga sangat dipengaruhi oleh proses aktivasi yang membersihkan rongga pori zeolit dari molekul air dan oksida-oksida logam yang dianggap sebagai pengotor sehingga terbentuk luas permukaan aktif yang semakin luas pada permukaan zeolit untuk menyerap polutan. Oleh karena itu selain warna dan kekeruhan, zeolit aktif juga mampu menyerap logam Fe dan menaikkan pH air kolong yang semula asam menjadi netral. Air dengan kandungan logam Fe tinggi biasanya berwarna kekuning-kuningan. Air dengan pH netral merupakan indikasi air tidak berasa. Pada proses adsorpsi, permukaan aktif zeolit yang bermuatan negatif akan mengikat kation-kation dalam air kolong seperti ion H^+ dan ion-ion logam Fe. Terjerapnya ion H^+ menyisakan ion-ion OH^- pada hasil adsorpsi yang menyebabkan kenaikan pH (Belova, 2019; Paul et al., 2017). Berdasarkan penjelasan diatas maka aktivasi pada zeolit alam mampu meningkatkan kinerja zeolit sebagai adsorben. Kemampuan zeolit dalam mereduksi berbagai polutan dalam limbah menjadikan zeolit sebagai salah satu adsorben berbiaya murah yang dapat diaplikasikan dalam teknologi pengolahan air bersih. Namun penelitian ini masih terbatas dari satu sumber air kolong uji sehingga untuk penelitian selanjutnya sampel air kolong yang diuji harus diambil dari beberapa kolong yang tersebar di beberapa lokasi di daerah Bangka untuk mendapatkan hasil yang lebih tervalidasi. Penelitian ini memungkinkan untuk dikembangkan dalam skala besar sebagai alternatif teknologi berbiaya murah dan energi rendah dalam mengatasi pencemaran air.

4. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam yang diaktivasi secara fisika-kimia dapat memperbaiki kualitas air kolong. Zeolit aktif mampu menurunkan konsentrasi warna, kekeruhan dan logam Fe serta menetralkan pH air kolong. Penambahan zeolit dalam jumlah besar dan waktu kontak semakin lama dapat menurunkan kapasitas adsorpsi zeolit karena mengalami saturasi. Pada kondisi optimum, kualitas air kolong uji telah memenuhi standar baku air bersih sehingga hasil penelitian ini bisa dikembangkan lebih lanjut untuk pengolahan air bersih dalam skala besar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M., Mavukkandy, M. O., Giwa, A., Elektorowicz, M., Katsou, E., Khelifi, O., Naddeo, V., & Hasan, S. W. (2022). Recent developments in hazardous pollutants removal from wastewater and water reuse within a circular economy. *Npj Clean Water*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00154-5>.
- Aldila, H., Fabiani, V. A., & Dalimunthe, D. Y. (2021). The effect of deproteinization temperature on chitosan extraction for iron metal ions adsorption: Case study in Bangka post tin mining water. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1), 1-5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012105>.
- Ali, F., Lestari, D. L., & Putri, M. D. (2019). Application of Ozone Plasma Technology for Treating Peat Water into Drinking Water. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 385(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/385/1/012056>.
- Asmarhansyah, Badayos, Rodrigo, Sanchez, P., C Sta Cruz, P., & M Florece, L. (2017). Land suitability

- evaluation of abandoned tin-mining areas for agricultural development in Bangka Island, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 04(04), 907–918. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2017.044.907>.
- Astuti, D. W., Mudasir, & Aprilita, N. H. (2019). Preparation and characterization adsorbent based on zeolite from Klaten, Central Java, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1156(1), 5–11. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1156/1/012002>.
- Belova, T. P. (2019). Adsorption of heavy metal ions (Cu²⁺, Ni²⁺, Co²⁺ and Fe²⁺) from aqueous solutions by natural zeolite. *Heliyon*, 5(9), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02320>.
- Chalchisa, D., Megersa, M., & Beyene, A. (2018). Assessment of the quality of drinking water in storage tanks and its implication on the safety of urban water supply in developing countries. *Environmental Systems Research*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40068-017-0089-2>.
- Cruz, D., Pimentel, M., Russo, A., & Cabral, W. (2020). Charge Neutralization Mechanism Efficiency in Water with High Color Turbidity Ratio Using Aluminium Sulfate and Flocculation Index. *Water*, 12(2), 572. <https://doi.org/10.3390/w12020572>.
- Farida Hanum, Rikardo Jgst Gultom, & Maradona Simanjuntak. (2017). Adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif dari kulit durian menggunakan koh dan naoh sebagai aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), 49–55. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i1.1565>.
- Hammood, Z. A., Chyad, T. F., & Al-Saedi, R. (2021). Adsorption Performance of Dyes over Zeolite for Textile Wastewater Treatment. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 28(3), 329–337. <https://doi.org/10.2478/eces-2021-0022>.
- Jafari, S., Ghorbani-Shahna, F., Bahrami, A., & Kazemian, H. (2018). Adsorptive removal of toluene and carbon tetrachloride from gas phase using Zeolitic Imidazolate Framework-8: Effects of synthesis method, particle size, and pretreatment of the adsorbent. *Microporous and Mesoporous Materials*, 268, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.04.013>.
- Koki, I. B., Md Zain, S., Hin, L. K., Azid, A., Juahir, H., & Abdul Zali, M. (2019). Development of water quality index of ex-mining ponds in Malaysia. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(1), 54–60. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n2019.1079>.
- Krupskaya, L. T., Golubev, D. A., & Kolobanov, K. A. (2021). Indicators and Factors Resulting in Crisis Phenomena Related to the Environment Hazard of Accumulated Mineral Processing Wastes at Closed Mining Enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1079(7), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1079/7/072011>.
- Liliani Rosa, Retnaningdyah, C., & Arisoesilaningsih, E. (2019). Water Quality Evaluation of Post-Tin Mining Ponds Tourism in Bangka Island Using Diatom as Bioindicator. *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies*, 7(1), 39–44. <https://doi.org/10.21776/ub.jitode.2019.07.01.06>.
- Mahmad, M. K. N., Rozainy, M. A. Z. M. R., Abustan, I., & Baharun, N. (2016). Electrocoagulation Process by Using Aluminium and Stainless Steel Electrodes to Treat Total Chromium, Colour and Turbidity. *Procedia Chemistry*, 19, 681–686. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.070>.
- Makropoulos, C., Rozos, E., Tsoukalas, I., Plevri, A., Karakatsanis, G., Karagiannidis, L., Makri, E., Lioumis, C., Noutsopoulos, C., Mamais, D., Rippis, C., & Lytras, E. (2018). Sewer-mining: A water reuse option supporting circular economy, public service provision and entrepreneurship. *Journal of Environmental Management*, 216, 285–298. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.026>.
- Malik, Q. H. (2018). Performance of alum and assorted coagulants in turbidity removal of muddy water. *Applied Water Science*, 8(1), 40. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0662-5>.
- Martama, E., & Suwartha, N. (2021). Impacts of zeolite activation temperature and grain size toward bioretention system efficiency in removing Pb and Zn pollutant in stormwater runoff. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012032>.
- Mierczynski, P., Szkudlarek, L., Chalupka, K., Maniukiewicz, W., Wahono, S. K., Vasilev, K., & Szykowska-Jozwik, M. I. (2021). The Effect of the Activation Process and Metal Oxide Addition (CaO, MgO, SrO) on the Catalytic and Physicochemical Properties of Natural Zeolite in Transesterification Reaction. *Materials*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/ma14092415>.
- Mohamad Zain, R., Shaari, N., Mohd Amin, M., & Jani, M. (2019). Effect of Zeolite on the Water Quality and Growth Performance of Red Hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Proceedings of the Proceedings of The 2nd International Conference On Advance And Scientific Innovation, ICASI 2019, 18 July, Banda Aceh, Indonesia*. <https://doi.org/10.4108/eai.18-7-2019.228848>.
- Ngapa, Y. D. (2017). Study of The Acid-Base Effect on Zeolite Activation and Its Characterization as Adsorbent of Methylene Blue Dye. *JPKP (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(2), 90. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i2.11904>.

- Nurtjahya, E., Franklin, J., Umroh, & Agustina, F. (2017). The Impact of tin mining in Bangka Belitung and its reclamation studies. *MATEC Web of Conferences*, 101, 1–6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710104010>.
- Ojstršek, A., Vouk, P., & Fakin, D. (2022). Adsorption of Pollutants from Colored Wastewaters after Natural Wool Dyeing. *Materials*, 15(4), 1488. <https://doi.org/10.3390/ma15041488>.
- Onen, V., Beyazyuz, P., & Yel, E. (2018). Removal of Turbidity from Travertine Processing Wastewaters by Coagulants, Flocculants and Natural Materials. *Mine Water and the Environment*, 37(3), 482–492. <https://doi.org/10.1007/s10230-017-0499-4>.
- Paul, B., Dynes, J. J., & Chang, W. (2017). Modified zeolite adsorbents for the remediation of potash brine-impacted groundwater: Built-in dual functions for desalination and pH neutralization. *Desalination*, 419, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.06.009>.
- Qasem, N. A. A., Mohammed, R. H., & Lawal, D. U. (2021). Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *Npj Clean Water*, 4(1), 36. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>.
- Rozumová, L., & Prehradná, J. (2018). Reducing the Content of Metal Ions from Mine Water by Using Converter Sludge. *Water*, 10(1), 38. <https://doi.org/10.3390/w10010038>.
- Saleh, T. A., Mustaqeem, M., & Khaled, M. (2022). Water treatment technologies in removing heavy metal ions from wastewater: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100617>.
- Sales, F. R. P., Serra, R. B. G., Figueirêdo, G. J. A. de, Hora, P. H. A. da, & Sousa, A. C. de. (2019). Wastewater treatment using adsorption process in column for agricultural purposes. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2178>.
- Shaban, M., Abukhadra, M. R., Shahien, M. G., & Khan, A. A. P. (2017). Upgraded modified forms of bituminous coal for the removal of safranin-T dye from aqueous solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(22), 18135–18151. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9424-4>.
- Siswoyo, E., Tanjung, D. S., & Jauhari Hamidil Jalaly, M. (2021). Development of Natural Coagulant for Turbidity Removal Created from Marine Product Solid Waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 799(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/799/1/012038>.
- Suhartana, S., & Pardoyo, P. (2020). Activation of Natural Zeolite and Its Application for Adsorbents in Domestic Wastewater Treatment in Tembalang District, Semarang City. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(1), 28–33. <https://doi.org/10.14710/jksa.23.1.28-33>.
- Suhendi, E., Kurniawan, T., Pradana, A. Y., & Giffari, V. Z. (2021). The Effect of Time on the Activation of Bayah Natural Zeolite for Use in Palm Oil Shell Pyrolysis. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 16(3), 588–600. <https://doi.org/10.9767/BCREC.16.3.10313.588-600>.
- Utami, U. B. L., Susanto, H., & Cahyono, B. (2020). Neutralization Acid Mine Drainage (AMD) using NaOH at PT. Jorong Barutama Grestone, Tanah Laut, South Borneo. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 3(1), 17–21. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol3.iss1.art3>.
- Vera-Puerto, I., Saravia, M., Olave, J., Arias, C., Alarcon, E., & Valdes, H. (2020). Potential application of chilean natural zeolite as a support medium in treatment wetlands for removing ammonium and phosphate from wastewater. *Water (Switzerland)*, 12(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/W12041156>.
- Yogafanny, E., Yohan, K. O., & Sungkowo, A. (2018). Treatment of brackish groundwater by zeolite filtration in Sumur Tua Wonocolo, Kedewan, Bojonegoro, East Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 212(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/212/1/012014>.
- Yusuf, M., Pamungkas, A., Hudatwi, M., & Irvani. (2021). Distribution of Turbidity Values, Total Suspended Solids and Heavy Metals Pb, Cu in Tanah Merah Beach Waters and Semujur Island Waters, Bangka Tengah Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 750(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/750/1/012038>.
- Yusuf, Muh, Adibrata, S., Irvani, I., Pamungkas, A., & Hudatwi, M. (2022). Studi Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cu) dari Sumber Lokasi Pertambangan di Perairan Tanah Merah, Bangka Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 185–192. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.37976>.