

TESIS
PENGARUH AKTIVASI BENTONIT DAN
APLIKASINYA TERHADAP PENURUNAN KADAR
LOGAM PADA AIR LIMBAH LABORATORIUM



RESFY ELLA ESTIARNY
03012682125004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA JURUSAN
TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

TESIS
PENGARUH AKTIVASI BENTONIT DAN
APLIKASINYA TERHADAP PENURUNAN KADAR
LOGAM PADA AIR LIMBAH LABORATORIUM

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



RESFY ELLA ESTIARNY
03012682125004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH AKTIVASI BENTONIT DAN
APLIKASINYA TERHADAP PENURUNAN KADAR
LOGAM PADA AIR LIMBAH LABORATORIUM**

TESIS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

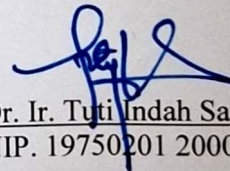
Palembang, Juli 2025

Menyetujui
Pembimbing I



Prof. Ir. Hj. Tuty Emilia Agustina., Ph.D
NIP. 19720809 200003 2 001

Pembimbing II



Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T
NIP. 19750201 200012 2 001

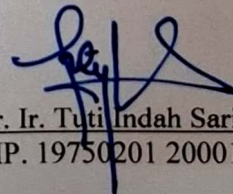
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19750211 200312 1 002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2 001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah dengan judul “Pengaruh Aktivasi Bentonit Dan Aplikasinya Terhadap Penurunan Kadar Logam Pada Air Limbah Laboratorium” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 25 Juli 2025.

Palembang, Juli 2025

Tim Penguji karya ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua

Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA

NIP. 196010111985032002

()

Anggota

Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T

NIP. 19780919 2003123 2 001

()

Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T

NIP. 19801031 200501 1 003

()

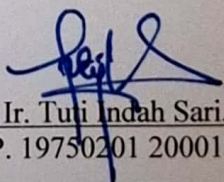
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19750211 200312 1 002


Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2 001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Resfy Ella Estiarny

NIM : 03012682126004

Judul : Pengaruh Aktivasi Bentonit Dan Aplikasinya Terhadap Penurunan Kadar Logam Pada Air Limbah Laboratorium

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Resfy Ella Estiarny

NIM. 03012682125004

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keseimbangan tatanan makhluk hidup tidak terlepas dari keadaan lingkungan sekitarnya. Adanya pencemaran lingkungan akan menyebabkan keseimbangan lingkungan terganggu dan akan berdampak juga pada makhluk hidup disekitarnya. Menurut Undang-Undang RI No. 11 tahun 2020 tentang Cipta Kerja yang dimaksud dengan pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Sumber pencemaran lingkungan yang biasa disebut dengan limbah dapat berupa cairan, padatan bahkan gas. Sumber air limbah tersebut dapat berasal dari air buangan kegiatan rumah tangga, air buangan dari kegiatan industri dan air buangan kotapraja (Metcalf and Eddy, 2003). Saat ini pengolahan limbah yang cukup baik baru dilakukan oleh industri-industri besar yang telah mempunyai instalasi pengolahan limbah sendiri. Limbah kegiatan rumah tangga, kegiatan pertanian, dan kegiatan laboratorium masih belum mendapat perhatian khusus. Limbah-limbah tersebut umumnya langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan lebih lanjut. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan yang dampaknya dirasakan juga oleh makhluk hidup disekitarnya.

Limbah laboratorium termasuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga proses netralisasi saja tidak cukup untuk membuang limbah cair laboratorium tersebut ke lingkungan tanpa pengolahan lebih lanjut. Pada umumnya limbah laboratorium dari lembaga pendidikan langsung dibuang ke dalam wastafel pembuangan atau hanya ditampung pada dirigen-dirigen limbah untuk selanjutnya dikirim ke lembaga-lembaga pengolah limbah yang bersertifikat. Banyaknya bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah laboratorium jika dibuang langsung ke lingkungan dapat merusak lingkungan seperti rusaknya

struktur tanah, terganggunya keseimbangan ekosistem, serta dapat menyebabkan gangguan kesehatan (Fajri, 2018). Sedangkan pengolahan limbah dengan menggunakan jasa lembaga pengolah limbah yang bersertifikat membutuhkan biaya yang cukup tinggi sehingga akan meningkatkan biaya pemeliharaan lingkungan bagi lembaga pendidikan tersebut.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 85 Tahun 1999, bahan-bahan yang terdapat dalam limbah laboratorium tergolong sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Agar dapat dibuang ke lingkungan, kandungan bahan organik dan anorganik dalam limbah laboratorium harus memenuhi standar baku mutu air limbah. Kandungan organik dalam limbah laboratorium dapat mencakup parameter seperti COD, BOD, DO, TSS, dan TDS. Sementara itu, kandungan anorganik terdiri dari nutrien seperti sulfat, nitrat, nitrit, amonia, dan fosfat, serta logam berat seperti kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), merkuri (Hg), kromium (Cr), seng (Zn), besi (Fe), dan logam berat lainnya.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah menetapkan standar kualitas air limbah bagi berbagai jenis usaha dan/atau kegiatan di Indonesia. Peraturan ini bertujuan untuk mengendalikan pencemaran air dengan menetapkan batas maksimum zat pencemar yang diperbolehkan dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Adapun baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam lampiran PerMen LH No. 5 Tahun 2014 adalah: pH 6–9, TSS 200 mg/L, TDS 2000 mg/L, COD 100 mg/L, BOD 50 mg/L, Pb 0,1 mg/L, Cu 2,0 mg/L, dan Cd 0,05 mg/L (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014). Anggraini dkk pada tahun 2022 melakukan pengujian pada air limbah Laboratorium Oseanografi dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Kelautan FMIPA. Hasil pengujian awal pada air limbah laboratorium memberikan hasil pH sebesar 1,11, nilai TSS 46,5 mg/L, nilai TDS 735 mg/L, COD 391 mg/L, BOD 63,2 mg/L, Pb 3,0 mg/L, Cu 7,7 mg/L, dan Cd 11,7 mg/L. Hasil pengukuran air limbah awal menunjukkan nilai pH, COD, BOD, dan kandungan logam berat masih diluar baku mutu. Apabila air limbah tersebut langsung dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut akan merusak lingkungan. Berdasarkan hasil pengujian parameter air limbah dan percobaan awal

inilah maka penelitian ini akan difokuskan pada air limbah laboratorium yang mengandung logam berat Cu, Fe dan Pb.

Pencemaran yang disebabkan oleh logam berat sangat berbahaya bagi kesehatan manusia (Duan dkk., 2020). Logam Pb yang masuk ke dalam tubuh dapat menyebabkan terjadinya gangguan otot usus, gangguan sistem syaraf, gangguan pada sistem reproduksi, dapat merusak ginjal dan mengganggu proses pembentukan darah. Paparan logam Cu di dalam tubuh dapat menyebabkan toksisitas yang akut jika tertelan, dapat menyebabkan kerusakan kulit dan mata yang serius serta menyebabkan iritasi. Sedangkan paparan logam Fe dengan dosis yang tinggi pada tubuh dapat merusak dinding usus. Fe juga dapat terakumulasi dalam alveoli sehingga menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru (Nandal dkk., 2014).

Kandungan logam berat yang melebihi standar baku mutu harus diolah sedemikian rupa hingga memenuhi syarat baku mutu. Penelitian mengenai cara mereduksi kandungan logam berat pada air limbah laboratorium telah banyak dilakukan. Metode yang digunakan pun beraneka ragam antara lain dengan metode ekstraksi, ultrafiltrasi, osmosis balik, adsorpsi, elektrodialisis, ion exchange dan dengan menggunakan membran. ekstraksi logam Cd, Pb, dan Fe menggunakan resin dapat memekatkan logam-logam tersebut hingga diperoleh faktor pengayaan sebesar lima kali namun metode ini memiliki keterbatasan pada logam-logam tertentu dan regenerasi resin menghasilkan limbah tambahan (Yuniardkk., 2023). Reduksi logam kromium dan nikel menggunakan membran ultrafiltrasi mampu mencapai rejeksi sebesar 98%, ultrafiltrasi efektif dalam menghilangkan partikel dan koloid, namun kurang selektif terhadap ion logam yang terlarut dalam air (Yuniar dkk., 2009). Hasil yang diperoleh beragam sesuai dengan karakteristik dari air limbah yang diolah. Pemilihan akan metode dan bahan yang akan dipakai untuk mereduksi logam berat harus memperhatikan banyak faktor terutama harus efektif dan efisien. Saat ini metode yang paling banyak digunakan karena dinilai efektif, sederhana dan murah adalah metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben. Jenis adsorben yang dapat digunakan pada metode adsorpsi cukup banyak seperti bentonit, karbon aktif, kitosan,

abu batu bara, tanah liat, dan zeolit (Setiawan dkk., 2021). Pengolahan air limbah dengan metode adsorpsi mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan metode lainnya diantaranya prosesnya ekonomis dan fleksibel, mempunyai kinerja yang baik, ramah lingkungan, serta dapat diregenerasi.

Dalam penelitian ini, keterbaruan yang dilakukan penulis ialah dengan melakukan aktivasi bentonit secara kimia dan fisika yaitu aktivasi asam-termal. Proses aktivasi asam-termal melibatkan perlakuan bentonit dengan asam kuat, untuk melarutkan kation pengotor dan meningkatkan keasaman permukaan. Setelah itu, bentonit dipanaskan pada suhu tinggi untuk menghilangkan molekul air dan memperbaiki struktur pori, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Namun, pemanasan berlebih dapat merusak struktur bentonit, sehingga kontrol suhu yang tepat sangat penting dalam proses ini. Oey et al. (2023) melaporkan bahwa aktivasi bentonit menggunakan larutan asam sulfat 1,5 M dengan variasi massa antara 50 hingga 70 gram mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi logam Pb hingga mencapai 100%. Sementara itu, menurut Musie et al. (2023), aktivasi termal bentonit dengan variasi suhu 200–500°C dan waktu pemanasan 3, 6, serta 12 jam menunjukkan bahwa luas permukaan maksimum sebesar 81,74 m²/g diperoleh pada suhu 300°C selama 6 jam. Aktivasi asam-termal pada bentonit telah terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja bentonit sebagai adsorben dalam berbagai aplikasi, seperti pemurnian minyak dan pengolahan limbah. Pada penelitian ini asam yang digunakan untuk aktivasi bentonit adalah H₂SO₄ 1,5 M dengan pemanasan suhu 300°C, kemudian akan dilakukan uji dengan variasi dosis adsorben pada air limbah laboratorium.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, permasalahan yang timbul antara lain :

1. Bagaimana karakteristik adsorben bentonit sebelum dan sesudah proses aktivasi?
2. Bagaimana pengaruh dosis adsorben bentonit dan bentonit teraktivasi dalam menurunkan kadar logam berat Cu, Fe dan Pb pada air limbah sintetik?
3. Bagaimana pengaruh dosis adsorben bentonit dan bentonit teraktivasi dalam menurunkan kadar logam berat Cu, Fe dan Pb pada air limbah laboratorium?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisis karakteristik adsorben bentonit sebelum dan sesudah proses aktivasi.
2. Mempelajari dan menganalisis pengaruh dan menentukan dosis adsorben bentonit yang paling efektif dalam menurunkan kadar logam berat Cu, Fe dan Pb pada air limbah sintetik.
3. Mempelajari dan menganalisis pengaruh dan menentukan dosis adsorben bentonit yang paling efektif dalam menurunkan kadar logam berat Cu, Fe dan Pb pada air limbah laboratorium.

1.4 Hipotesa

Adapun hipotesa dari penelitian ini adalah :

1. Karakteristik bentonit setelah aktivasi lebih baik dibandingkan sebelum aktivasi karena luas permukaan meningkat dan hilangnya kation pengotor.
2. Bentonit efektif dalam menurunkan kadar logam berat Cu, Fe dan Pb pada air limbah laboratorium.
3. Semakin besar dosis adsorben maka persentase penurunan kadar logam berat akan semakin besar.
4. Kondisi optimum pada air limbah sintetik dapat diterapkan untuk mengolah air limbah laboratorium sehingga diharapkan dapat memenuhi baku mutu.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Parameter uji yang diukur kadar logam berat Cu, Fe dan Pb dari air limbah sintetik dan limbah laboratorium.
2. Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium dan sistem batch dengan menggunakan air limbah yang berasal dari Laboratorium Universitas Sriwijaya.

3. Jenis adsorben yang digunakan dalam penelitian adalah bentonit dan bentonit yang telah diaktivasi asam-termal.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh informasi dan pengetahuan mengenai karakteristik bentonit sebelum aktivasi dan setelah aktivasi.
2. Memperoleh informasi dan pengetahuan dosis optimum bentonit dalam mereduksi ion logam berat Cu, Fe dan Pb pada air limbah sintetik
3. Memperoleh informasi dan pengetahuan dosis optimum bentonit dalam mereduksi ion logam berat Cu, Fe dan Pb pada air limbah laboratorium.
4. Memberikan alternatif adsorben bagi lembaga pendidikan dalam melakukan pengolahan air limbah laboratorium dengan metode adsorpsi untuk mengurangi pencemaran lingkungan sekitar.
5. Menambah informasi dan referensi untuk pengembangan bagi penelitian-penelitian serupa mengenai metode adsorpsi dengan adsorben bentonit yang telah diaktivasi dalam mereduksi logam berat pada air limbah laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, T. O., Jimoh, O. A., & Adeoye, A. O. 2022. *Effect of pH on the adsorption of Pb (II) and Cu (II) ions from aqueous solutions using a natural clay from Ilorin, Kwara State*. Ilorin Journal of Science, 9(1), 88–97.
- Adhani, R., dan Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press, Banjarmasin. ISBN : 978-602-6483-47-8.
- Afolabi, O. O. D., Musonge, P., & Asif, M. (2017). *Removal of iron from wastewater using natural bentonite clay: characterization and batch adsorption studies*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, 73–84.
- Agustina, T.E. Habiburrahman, M., Amalia, F., Arita, S., Faizal, M., Novia., Gayatri, R.. 2022. Reduction Of Copper, Iron, And Lead Content in Laboratory Wastewater Using Zinc Oxide Photocatalyst Under Solar Irradiation. *Journal of Ecological Engineering*, 23(10) : 107–115.
- Anggraini, N., et al. 2022. Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Metode Adsorpsi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 12(1), 34-41.
- Anggraini, N., Tuty E. A., Syahrul R., Gilang P, “Testing of a Laboratory Wastewater Treatment Prototype Using Coagulation, Adsorption, and Photo-Fenton Processes. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(5), 202–209
- Bhattacharyya, K. G., & Gupta, S. S. (2008). *Adsorption of Cu(II) by natural and acid-activated clays: equilibrium and kinetic studies*. *Environmental Progress*, 27(3), 313–325.
- Cecen, F., dan Aktas, O. 2012. *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment. Integration of Adsorption and Biological Treatment*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Jerman. ePDF ISBN : 978-3-527-63946-5
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. 2014. *Elements of X-ray Diffraction*. Pearson Education.
- Dai, J., Ren, F., & Tao, C. 2012. Adsorption behavior of Fe(II) and Fe(III) ions on thiourea cross-linked chitosan with Fe(III) as template. *Molecules*, 17(4), 4388–4399
- Darmadinata, D., et al. 2019. Adsorpsi Fosfat Menggunakan Bentonit Teraktivasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(1), 23–31.

- Duan, C., Ma, T., Wang, J., dan Zhou, Y. 2020. Removal Of Heavy Metals From Aqueous Solution Using Carbon-Based Adsorbents : A Review. *Journal Of Water Process Engineering* 37 (2020) 101339.
- Dula, T., dan Nefo, T. 2019. Removal Methods of Heavy Metals from Laboratory Wastewater. *Journal of Natural Sciences Research*. ISSN 2224-3186. Vol.9 No.2. 2019.
- Einschlag, F.S.G., dan Carlos, L. 2013. *Waste Water – Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*. Intech Publisher, Croatia. ISBN 978-953-51-0882-5.
- Elboughdiri, N. 2020. The Use of Natural Zeolite to Remove Heavy Metals Cu (II), Pb (II) and Cd (II), from Industrial Wastewater. *Cogent Engineering*, 7(1).
- Eren, E., & Afsin, B. (2009). *Investigation of a basic dye adsorption from aqueous solution onto raw and acid-activated bentonite surfaces*. *Desalination*, 237(1-3), 238–246.
- Fajri, M. 2018. Pengelolaan Limbah Laboratorium di Lingkungan Pendidikan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2), 45-52.
- Fawaid, H., et al. 2014. Aktivasi Termal Bentonit dan Kemampuannya dalam Adsorpsi. *Jurnal Material dan Energi*, 5(2), 78–85.
- Goldstein, J., et al. 2018. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6676-9>
- Hidayat, N., & Lestari, W. 2022. Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi dalam Adsorpsi Ion Logam. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 10(1), 12–19.
- Johnson, E.G.G., Sazmal E., Arshad., 2014, “Hydrothermally synthesized zeolites based on kaolinite : A review”, *Applied Clay Science*, 215-221.
- Lakherwal, D. 2014. Adsorption of Heavy Metals : A Review. *Internasional Journal of Environmental Research and Development*. ISSN 2249-3131 Volume 4, Number 1 (2014), pp.41-48.
- Liu, Y., Zhang, J., & Zhang, C. 2011. *Adsorption of heavy metal ions by modified bentonite*. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1–3), 480–485.
- Malkoc, E., & Nuhoglu, Y. 2007. *The removal of lead(II) ions by activated bentonite from aqueous solutions*. *Journal of Hazardous Materials*, 127(1–3), 124–129.
- Metcalf dan Eddy, 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuses Fourth Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. EISBN 0 07 112250.8

- Mohammed, M. J., & Abed, S. A. 2017. Influence of adsorbent dosage on the removal of heavy metals using natural bentonite. *Desalination and Water Treatment*, 91, 228–235.
- Nandal, M., Hooda, R., dan Dhania, G. 2014. Tea Waste as A Sorbent for Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Internasional Journal of Current Engineering and Technology*. E-ISSN 2277-4106.
- Naswir, M., Arita, S., Marsi, & Salni. 2013. Characterization of Bentonite by XRD and SEM-EDS and Use to Increase PH and Color Removal , Fe and Organic Substances in Peat Water. *Journal of Clean Energy Technologies*, 1(4), 313–317
- Nath, K., Singh, D. K., & Kumar, A. (2015). *Removal of lead from wastewater using acid-activated bentonite clay*. *Environmental Technology & Innovation*, 3, 97–103.
- Nugroho, A., & Pratiwi, R. 2021. Adsorpsi Ion Cu Menggunakan Bentonit Alam. *Jurnal Rekayasa Proses*, 7(2), 95–101.
- Nurhayati, H. 2010. *Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu*. (Skripsi). Surakarta. Universitas Negeri Surakarta.
- Nurhayati, I., Sugito, dan Pertiwi, A. 2018. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Adsorpsi dan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. ISSN : 2085-1227.10(2)
- Oey, Y. W., Rini, I. D. W. S., & Gunawan, A. 2023. Analisis Penurunan Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Limbah Berbahaya dan Beracun Pelumas Bekas Menggunakan Metode Acid Clay Treatment dengan Substitusi Bentonit Sebagai Adsorben. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 6(1), 275–279.
- Özdemir, S., Kilinc, E., & Duran, C. 2014. Effect of bentonite modification on its adsorption capacity for heavy metals. *Environmental Earth Sciences*, 72, 4787–4796.
- Patel, HR dan Padya, H. N. 2013. Liquid Waste Minimization in the Production of 4-Amino di-Phenylamine 2. *Journal Of Scientific & Innovative Research*.
- Pawar, R. R., et al. 2015. *Activated bentonite for the removal of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6927–6938.

- Rahman, H., et al. 2020. Adsorpsi Ion Fe oleh Kombinasi Bentonit dan Silika. *Jurnal Lingkungan dan Industri*, 11(2), 57–65.
- Rockson-Itiveh, D., et al. 2023. *Removal of heavy metals using bentonite clay: Application to abattoir wastewater*. *BMC Chemistry*, 17(1), 28.
- Ruskandi, E., et al. 2020. Sifat Bentonit dan Aplikasinya dalam Industri. *Jurnal Geologi dan Mineral*, 12(1), 20–29.
- Sari, A., & Tuzen, M. (2008). *Biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution using modified bentonite*. *Journal of Hazardous Materials*, 158(2–3), 955–962.
- Sari, A., & Tuzen, M. 2020. Adsorption of heavy metals from aqueous solution by modified bentonite clay. *Journal of Hazardous Materials*, 321, 612–621.
- Sasongko, A., Yulianto, K., dan Sarasti, D. 2017. Verifikasi Metode Penentuan Logam Kadmium (Cd) dalam Air Limbah Domestik dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Sains dan Teknologi* Volume 6 No. 2 Oktober 2017.
- Setiawan, A., Rahmadania, A.N., dan Mayangsari, N.E. 2021. Adsorpsi Cu (II) Menggunakan Zeolit Sintetik Kombinasi Abu Terbang dan Abu Dasar dengan Variasi Waktu Aging. *Jurnal Riset Teknologi Industri* Vol.15 No.1 Juni 2021.
- Setiawan, R., et al. 2021. Adsorpsi Logam Berat dengan Berbagai Jenis Adsorben. *Jurnal Teknik Kimia*, 8(2), 100-109.
- Sharma, S.K. 2015. *Heavy Metals in Water : Presence, Removal, and Safety*. ISBN: 978-1-84973-885-9. PDF eISBN: 978-1-78262-017-4. The Royal Society of Chemistry.
- Sianipar, Iyan F.P. 2011. *Perbaikan Tahanan Pentanahan dengan Zeolit Terkalsinasi*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Siregar, Y., et al. 2023. Pengaruh Aktivasi HCl terhadap Adsorpsi Bentonit. *Jurnal Kimia Terapan*, 6(1), 34–40.
- SNI 06-6989.6-2004. Air dan Air Limbah-Bagian 6 : Cara Uji Tembaga (Cu) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala.
- SNI 06-6989.8-2004. Air dan Air Limbah-Bagian 8 : Cara Uji Timbal (Pb) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala.
- Stumm, W., & Morgan, J. J. 2006. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. Wiley-Interscience.

- Susiati, H., Susilo, Y. S. B., & Menri, Y. 2008. Kandungan Logam Berat (Cu, Cr, Zn, dan Fe) pada Terumbu Karang di Perairan Pulau Panjang, Jepara. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 10(1).
- Tadesse, S. H. 2022. Application of Ethiopian bentonite for water treatment containing zinc. *Emerging Contaminants*, 8, 113–122.
- Tahir, S. S., & Rauf, N. (2006). *Removal of Fe(III) from aqueous solution by using bentonite as an adsorbent*. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 28(4), 355–358.
- Tahir, S.S. & Rauf, N. 2004. Removal of Fe(II) from the wastewater of a galvanized pipe manufacturing industry by adsorption onto bentonite clay. *Journal of Environmental Management*, 73, 285–292
- Wang, S., & Peng, Y. 2007. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 11–24.
- Yuniar, Y., Suwartini, L., & Yanti, H. 2023. Ekstraksi Logam Cd, Pb dan Fe Dalam Air Menggunakan Resin Dowex 50wx2-200 secara bersamaan Untuk Meningkatkan Nilai Absorbansi Pada Pengujian Secara SSA-Nyala: Pengaruh pH, Laju Alir dan Berat Resin. *Jurnal Penelitian Sains*, 25(1), 111-125