



**OPTIMASI ADSORPSI LOGAM BERAT Pb (II) MENGGUNAKAN
MODIFIKASI BENTONIT TERPILAR POLIKATION Al
MENGGUNAKAN RSM BOX – BEHNKEN DESIGN**

Jakfar*, Nasrullah, Mukhlisien, Ahmadi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda
Aceh, 23111

Korespondensi: HP: 081360278430, e-mail: jakfar@usk.ac.id

Abstrak

Salah satu logam berat yang sangat berbahaya yaitu logam berat timbal atau Pb (II), ion logam berat banyak dibuang ke badan air dan sangat berbahaya untuk lingkungan hidup karena dapat merusak otak/ saraf dan ginjal dan berbagai penyakit lainnya. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh konsentrasi ion Pb (II) (10-400 mg/L), konsentrasi asam sitrat (0,2-0,6 M), waktu agitasi (30-120 menit) dan suhu (30-70 °C) terhadap kapasitas serapan ion Pb (II) dan efisiensi penyerapan (%) dengan metode adsorpsi menggunakan bentonit terpilat Al. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh konsentrasi adsorbat ion Pb (II), konsentrasi asam sitrat, waktu agitasi dan suhu terhadap kapasitas serapan dan efisiensi penyerapan sangat signifikan. Pada penelitian ini variasi konsentrasi logam berat Pb(II) untuk dicampurkan ke dalam bentonit sebanyak 5 gram kemudian diaduk dengan reaktor berpengaduk selama waktu yang telah ditentukan. Setelah itu campuran disaring dan diambil filtratnya untuk di analisa kandungan logam yang tersisa. dengan NaOH 0,5 M dan 250 ml AlCl₃ 0,1 M, didiamkan selama 24 jam kemudian dimasukkan ke dalam furnace selama 12 jam. Variabel Proses pada penelitian ini adalah variasi konsentrasi logam pemilar. Pengaruh konsentrasi awal Pb (II), asam sitrat, waktu agitasi dan suhu adsorpsi terhadap kapasitas adsorpsi ion Pb (II) efisiensi dan interaksinya sangat signifikan. Optimasi tercapai pada konsentrasi Pb (II) awal 341,494 mg/l, asam sitrat 0,51%, waktu agitasi 75 menit, temperatur 38,54 °C, kapasitas adsorpsi 21,76 mg/g dan efisiensi 86,9%)

Kata kunci: Adsorpsi, Optimasi, Kapasitas , Efisiensi, Desirabilitas

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/jtku.v12i1.13167>

1. Pendahuluan

Kemajuan industri terkadang dapat memberikan pengaruh yang buruk bagi lingkungan hidup. Salah satu contoh pengaruh buruk industri terhadap lingkungan yaitu pencemaran logam berat terhadap sumber air (Bachale et al., 2016; Belhadri et al., 2019; Jakfar et al., 2021). Logam-logam berat seperti timbal, tembaga dan lain sebagainya sangat berbahaya bagi makhluk hidup, misalnya dapat merusak otak, tulang, maupun organ tubuh lainnya. Logam-logam berat biasanya dihasilkan oleh industri-industri semen, baja, baterai dan sebagainya (Almohisen et al., 2020; Hu et al., 2014; Wang et al., 2022).

Masyarakat dunia pun mulai memperhatikan kondisi tersebut sehingga untuk para pelaku industri diharapkan agar dapat mengkondisikan batas kandungan logam pada air limbah yaitu sebesar 0.05 mg/L, dan pada air yang telah diproses yang akan dikonsumsi mengandung minimal kandungan logam sebesar 0,015 mg/L (Irani et al., 2011). Dalam penanggulangan masalah ini muncul beberapa metode pengolahan air limbah pabrik perusahaan yang sudah banyak digunakan, seperti metode koagulasi, presipitasi, reverse osmosis, evaporasi, membran filtrasi, sedimentasi, elektrodialisis dan lain sebagainya (Saleh et al., 2022a, 2022b; Tran et al., 2017). Berbagai metode tersebut memiliki keunggulan dan kekurangan masing-

masing, contohnya koagulasi. Metode ini banyak dipakai pada proses pengolahan air. Namun biasanya proses ini memakai tambahan proses lain agar didapat hasil yang optimum (Plattes et al., 2007). Contoh lainnya seperti presipitasi, membran filtrasi membutuhkan biaya operasional yang tinggi. Sehingga metode yang tepat untuk proses pengolahan logam berat ini yaitu proses adsorpsi. Proses ini tidak membutuhkan biaya yang mahal, efisien, cara kerjanya mudah, ramah lingkungan, desainnya fleksibel dan tentunya penyerapan yang bagus. Selain itu proses adsorpsi sudah dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimum lagi dengan membutuhkan biaya yang tidak mahal (Chakraborty et al., 2022; Velarde et al., 2023).

Salah satu jenis lempung yang akan digunakan adalah bentonit. Bentonit yaitu sejenis tanah liat mineral yang termasuk golongan montmorilonit. Keunggulan bentonit ini yaitu memiliki jumlah yang banyak, efisien, permukaannya luas, dan murah (Abdel-Rahim et al., 2023; Fabryanty et al., 2017; Tahir & Rauf, 2006). Berdasarkan sifat fisiknya bentonit dibedakan atas Na-Bentonit dan Ca-Bentonit. Na bentonit memiliki komposisi yang besar pada antar lapisannya, dapat mengembang sehingga akan tersuspensi bila didispersikan dalam air. Pada Ca-Bentonit kandungan Ca^{2+} dan Mg^{2+} relatif lebih banyak bila dibandingkan dengan kandungan Na^+ . Ca-bentonit bersifat sedikit menyerap air dan jika didispersikan ke dalam air akan cepat mengendap atau tidak terbentuk suspensi. Bentonit dapat digunakan sebagai penyangga katalis, sedangkan bentonit yang telah dimodifikasi dapat digunakan sebagai katalis (Jiang et al., 2018; Sever & Yildiz, 2020).

Salah metode untuk peningkatan daya serap adalah memodifikasi bentonit secara pilarisasi. Pilarisasi adalah proses mensubstitusi suatu agen pemilar pada lapisan interlayer yang memiliki polikation dalam jumlah besar. Pilarisasi dengan logam ini menyebabkan permukaan daya serap bentonit menjadi lebih luas karena ion-ion logam bermuatan besar sehingga jarak antar lapisan bentonit menjadi lebih jauh. Modifikasi clay montmorillonit menjadi montmorillonit terpillar alumina telah dilaporkan. Hasil pilarisasi menunjukkan peningkatan luas permukaan yang besar dan aktivitas yang tinggi pada reaksi dehidrasi 2-propanol (Lubis, 2007). Montmorillonit terpillar alumina juga telah digunakan sebagai katalis pada sintesis caprolactam dari sikloheksanon (Tanjaya et al., 2018). Pada penelitian ini yang akan digunakan sebagai agen pemilarnya yaitu logam Al, karena Al bermuatan lebih besar daripada ion logam penyusun bentonit sehingga dapat menyisipi celah interlayer pada bentonit sehingga daya serap nya dapat menjadi lebih besar (Netti Yulia Ningsih, 2014).

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang dipakai yaitu:

- Bentonit alam aktivasi Nakomersil
- NH_4Cl , $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, dan NaOH

Alat yang dipakai yaitu: Tangki Berpengaduk

- Gelas Kimia 1000ml
- Labu Ukur 500ml
- Ayakan mekanis 80-200 mesh
- Furnace
- Kertas Saring
- Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS Shimadzu AA6300)

2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan dibuatnya variasi konsentrasi logam yang akan digunakan yaitu sebesar 10, 205 dan 400 ppm untuk dicampur ke dalam bentonit sebanyak 5 gram kemudian diaduk dengan reaktor berpengaduk selama waktu yang telah ditentukan. Setelah itu campuran disaring dan diambil filtratnya untuk dianalisa kandungan logam yang tersisa (Lubis, 2007). Untuk proses pemiliran, bentonit sebanyak 50 gram dicampurkan dengan NH_4Cl sebanyak 165 ml dan diaduk selama 2 jam. Kemudian campuran disaring, residunya dipisahkan kemudian dicampurkan kembali dengan larutan NH_4Cl sebanyak 165 ml dan diaduk lagi selama 2 jam. Setelah disaring, residunya dicampurkan dengan NaOH 0,5 M dan 250 ml AlCl_3 0,1 M. Kemudian didiamkan selama 24 jam kemudian dimasukkan ke dalam furnace selama 12 jam.

3. Hasil dan Diskusi

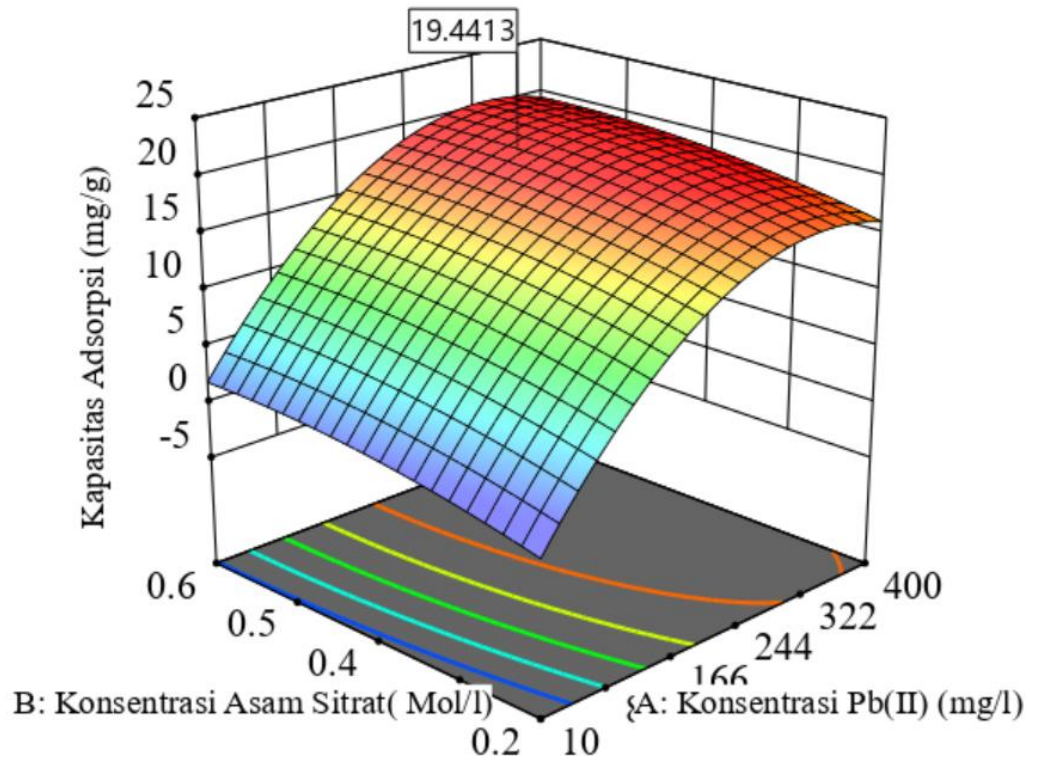
3.1 Rancangan Percobaan(Aktual Desain)

Run	Faktor 1 A:Konsentrasi Pb(II) mg/l	Faktor 2 B:Konsentrasi AsamSitrat Mol/l	Faktor 3 C:Waktu Agitasi menit	Faktor 4 Suhu Adsorpsi °C	Respon 1 Kapasitas Adsorpsi mg/g	Respon 2 Efisiensi Adsorpsi %
1	205	0,4	120	30	15,32	70,12
2	400	0,4	60	70	18,51	83,11
3	10	0,4	30	50	0,81	71,51
4	400	0,6	60	50	18,51	83,11
5	205	0,2	60	30	14,31	66,11
6	205	0,4	60	50	17,21	79,51
7	205	0,4	60	50	17,21	79,51
8	400	0,4	60	30	18,51	83,11
9	10	0,4	60	70	0,91	71,51
10	205	0,6	60	30	17,23	80,21
11	205	0,2	30	50	12,23	47,21
12	10	0,6	60	50	0,91	71,51
13	205	0,6	60	70	17,21	79,51
14	205	0,2	60	70	17,21	79,51
15	205	0,4	30	30	17,21	79,51
16	400	0,4	120	50	18,51	83,11

17	10	0,4	60	30	0,91	71,51
18	205	0,2	120	50	12,23	47,21
19	205	0,6	120	50	17,21	79,51
20	10	0,4	120	50	0,91	71,51
21	205	0,4	60	50	17,21	79,51
22	400	0,4	30	50	18,51	83,11
23	205	0,6	30	50	17,21	79,51
24	205	0,4	60	50	17,21	79,51
25	10	0,2	60	50	0,91	71,51
26	205	0,4	30	70	17,21	79,51
27	205	0,4	60	50	17,21	79,51
28	205	0,4	120	70	17,21	79,51
29	400	0,2	60	50	18,51	83,11

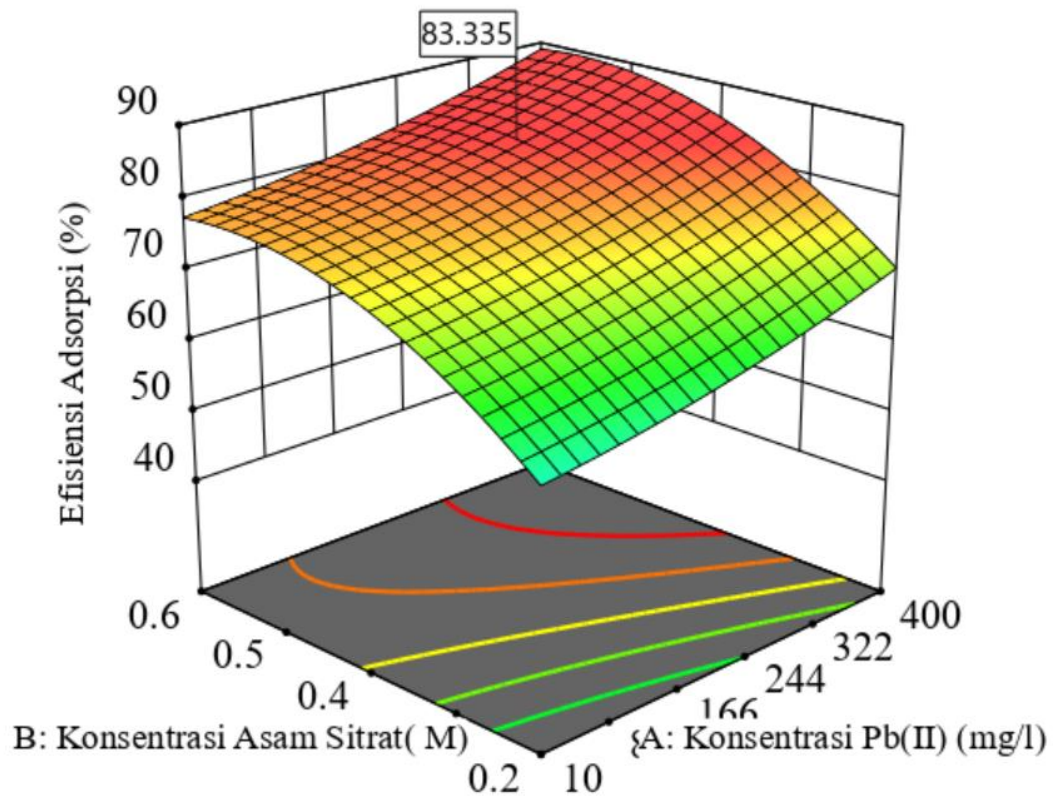
3.2 Kapasitas Adsorpsi dan Efisiensi Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan adsorben bentonit Al terhadap ion logam Pb (II) yaitu dengan melihat banyaknya adsorbat ion Pb (II) yang diserap secara optimal per satuan massa adsorbenAl hasil modifikasi .



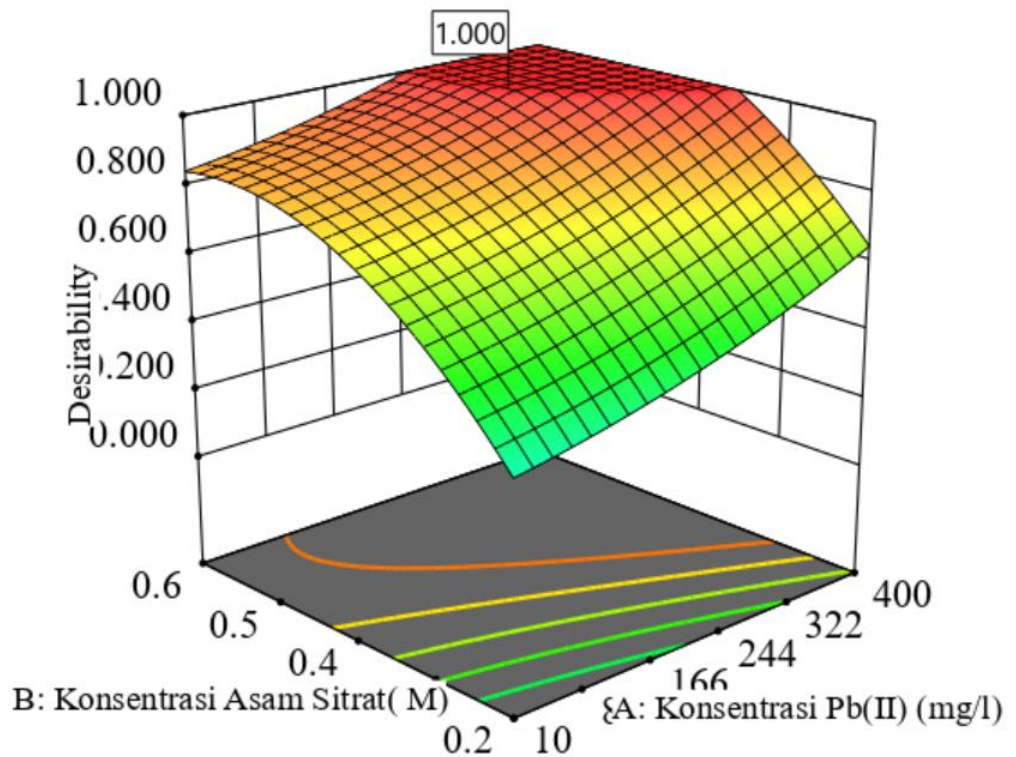
Gambar 3.1 Pengaruh asam sitrat optimasi kapasitas adsorpsi logam Pb menggunakan Al- Bentonit

Dari Gambar 3.1 menunjukkan pengaruh konsentrasi Pb (II) dan konsentrasi asam sitrat (M) terhadap kapasitas adsorpsi terjadi peningkatan, kondisi optimal tercapai pada 19,44 mg/g.



Gambar 3.2 Optimasi efisiensi adsorpsi logam Pb menggunakan bentonit modifikasi (AlCl_3) atau Al- Bentonit

Dari Gambar 3.2 menunjukkan pengaruh konsentrasi Pb (II) mula-mula (mg/l) dan konsentrasi asam sitrat (M) terhadap efisiensi adsorpsi terjadi peningkatan dan kondisi optimal tercapai pada efisiensi 83,335 %



Gambar 3.3 Optimasi Desirabilitas Adsorpsi logam Pb Menggunakan Al-Bentonit

Dari Gambar 3.3 menunjukkan menunjukkan pengaruh konsentrasi asam sitrat dan konsentrasi ion Pb awal terhadap desirability. Peningkatan terjadi sangat

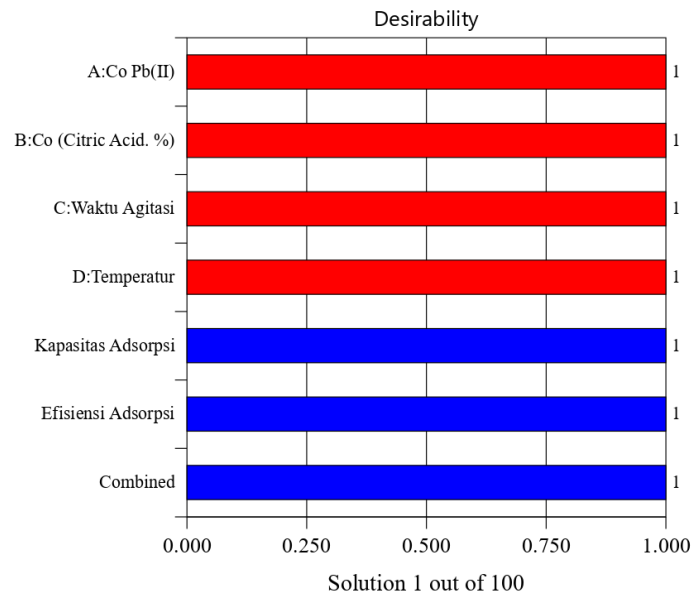
signifikan dengan desirability sempurna 1,000 (100 %). Hal ini menjelaskan kedekatan antara data hasil aktual dan prediksi.

Untuk merancang kondisi optimum menyeluruh, baik kondisi optimum berdasarkan Pareto untuk masing-masing variabel bebas (konsentrasi ion Pb (II), untuk mendapat kendala mg/L, konsentrasi asam sitrat (M), waktu agitasi, menit dan temperatur (°C) perlu ditetapkan kriteria untuk memperoleh kendala (constraints) yang menghasilkan desirabilitas terbaik seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Rancangan kendala tantangan penelitian (constraints)

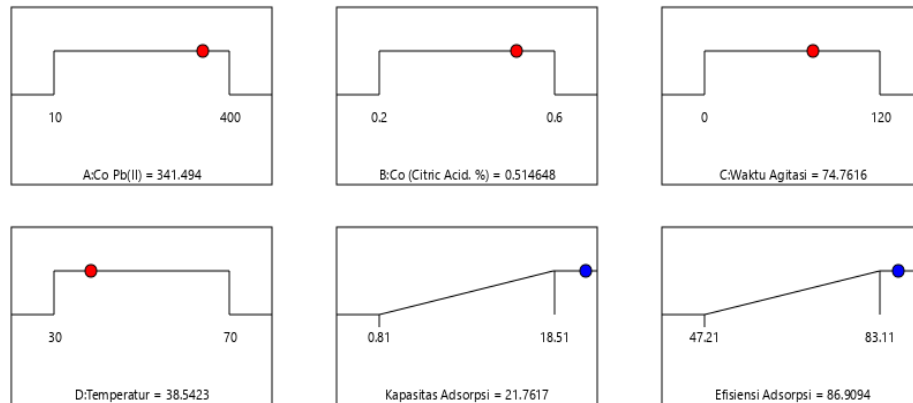
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Co Pb(II)	Kisaran	10	400	1	1	3
B:Co (Citric Acid. %)	Kisaran	0,2	0.6	1	1	3
C:Waktu Agitasi	Kisaran	0	120	1	1	3
D:Temperatur	Kisaran	30	70	1	1	3
Kapasitas Adsorpsi	Maksimum	0,81	18,51	1	1	3
Efisiensi Adsorpsi	Maksimum	47,21	83,11	1	1	3

Dari rancangan kendala dapat digambarkan diagram Pareto seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan diagram optimasi numerik Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Optimasi Pareto dari pengaruh ion Pb(II) awal, konsentrasi asam sitrat, waktu agitasi, dan temperatur terhadap desirabilitas

Dari Gambar 3.4 menunjukkan pencapaian desirabilitas mencapai kesepurnaan 1 (100 %) untuk semua variabel bebas (konsentrasi awal Pb (II), konsentrasi asam sitrat, waktu agitasi dan temperatur) dan variabel respon (kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi)



Desirability = 1.000
Solution 1 out of 100

Gambar 3.5 Optimasi numerikal dari pengaruh Ion Pb(II) awal, konsentrasi asam sitrat, waktu agitasi dan temperatur terhadap kapasitas adsorpsi, efisiensi adsorpsi dan desirabilitas

Dari Gambar 3.5 menunjukkan kondisi optimum tercapai pada konsentrasi Pb awal 341,494 mg/l, konsentrasi asam sitrat 0,51%, waktu agitasi 75 menit kapasitas adsorpsi 21,76 mg/g dan efisiensi adsorpsi 86,9 % konsentrasi adsorbat yang diserap dengan desirabilitas 1,0 (100 %).

4. Simpulan

Kapasitas adsorpsi dengan bentonit terpillar Al meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion logam Pb (II)/adsorbat. Semakin banyaknya konsentrasi logam yang diserap oleh bentonit maka semakin banyak pula substansi zat yang terkandung dalam larutan mengalami kontak dengan permukaan adsorben, sehingga adsorbat yang diserapnya akan semakin banyak pula. Pengaruh konsentrasi asam sitrat dan konsentrasi ion Pb awal terhadap kapasitas adsorpsi terjadi peningkatan, kondisi optimal tercapai pada 86,9 mg/g. kondisi optimum tercapai pada konsentrasi Pb awal 341,494 mg/l, konsentrasi asam sitrat 0,51 %, waktu agitasi 75 menit kapasitas adsorpsi 21,76 mg/g dan efisiensi adsorpsi 86,9% konsentrasi adsorbat yang diserap dengan desirabilitas 1,0 (100 %)

Daftar Pustaka

- Abdel-Rahim, M. M., Elhetawy, A. I. G., Refaey, W. M. A., Lotfy, A. M., El-Zaem, S. Y., Elebiary, E. H., & El-Dahhar, A. A. (2023). Potential benefits of natural bentonite as a water clarifier on ammonia removal, performance, immunity, antioxidant, and histology of *Dicentrarchus labrax*. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(2). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2023.04.002>
- Almohisen, I. A. A., Abdel Azeem, S. M., & Madbouly, M. D. (2020). Heavy metal pollution in well water and ecological risk assessment for the surrounding soil. *Desalination and Water Treatment*, 178. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24998>

- Bachale, S., Sharma Associate, S., Sharma Associate, A., Verma Associate, S., Sushil Bachale, C., Sharma, S., Sharma, A., & Verma, S. (2016). Removal of lead (II) from aqueous solution using low cost adsorbent: A review. *Int. J. of Allied Research*, 2(7).
- Belhadri, M., Mokhtar, A., Meziani, S., Belkhadem, F., Sassi, M., & Bengueddach, A. (2019). Novel low-cost adsorbent based on economically modified bentonite for lead(II) removal from aqueous solutions. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4232-4>
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A. K., Jain, B., & Susan, A. B. H. (2022). Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review. In *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* (Vol. 102, Issue 2). <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1722811>
- Fabryanty, R., Valencia, C., Soetaredjo, F. E., Putro, J. N., Santoso, S. P., Kurniawan, A., Ju, Y. H., & Ismadji, S. (2017). Removal of crystal violet dye by adsorption using bentonite – alginate composite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.10.057>
- Hu, H., Jin, Q., & Kavan, P. (2014). A study of heavy metal pollution in China: Current status, pollution-control policies and countermeasures. *Sustainability (Switzerland)*, 6(9). <https://doi.org/10.3390/su6095820>
- Irani, M., Amjadi, M., & Mousavian, M. A. (2011). Comparative study of lead sorption onto natural perlite, dolomite and diatomite. *Chemical Engineering Journal*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.011>
- Jakfar, Husin, H., Muslim, A., Darmadi, Nasution, F., & Erdiwansyah. (2021). Lead (II) removal from aqueous solution over Al-pillared bentonite as low-cost

- adsorbent and optimization. *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100682. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100682>
- Jiang, Y., Huang, T., Dong, L., Qin, Z., & Ji, H. (2018). Ni/bentonite catalysts prepared by solution combustion method for CO₂ methanation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.03.029>
- Lubis, S. (2007). Preparasi Bentonit Terpilal Alumina dari Bentonit Alam dan Pemanfaatannya sebagai Katalis pada Reaksi Dehidrasi Etanol , 1-Propanol serta 2-Propanol. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 6(2).
- Netti Yulia Ningsih, Y. Y. (2014). MODIFIKASI BENTONIT TERPILAR Al DENGAN POLIANILIN SEBAGAI REDUKTOR ION Cr (VI). *Journal of the Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 6(2).
- Plattes, M., Bertrand, A., Schmitt, B., Sinner, J., Verstraeten, F., & Welfring, J. (2007). Removal of tungsten oxyanions from industrial wastewater by precipitation, coagulation and flocculation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 148(3). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.016>
- Saleh, T. A., Mustaqeem, M., & Khaled, M. (2022a). Environmental Nanotechnology , Monitoring & Management Water treatment technologies in removing heavy metal ions from wastewater: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17(November 2020).
- Saleh, T. A., Mustaqeem, M., & Khaled, M. (2022b). Water treatment technologies in removing heavy metal ions from wastewater: A review. In *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management* (Vol. 17). <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100617>

- Sever, B., & Yildiz, M. (2020). Conversion of glycerol to lactic acid over Au/bentonite catalysts in alkaline solution. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 130(2). <https://doi.org/10.1007/s11144-020-01805-9>
- Tahir, S. S., & Rauf, N. (2006). Removal of a cationic dye from aqueous solutions by adsorption onto bentonite clay. *Chemosphere*, 63(11). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.033>
- Tanjaya, A., Sudono, S., Indraswati, N., & Ismadji, S. (2018). Aktivasi bentonit alam pacitan sebagai bahan penyerap pada proses pemurnian minyak sawit. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 5(2). <https://doi.org/10.5614/jtki.2006.5.2.4>
- Tran, T., Leu, H., Chiu, K., & Lin, C. (2017). Electrochemical Treatment for Wastewater Contained Heavy Metal the Removing of the COD and Heavy Metal Ions. *JOURNAL OF THE CHINESE CHEMICAL SOCIETY*, 9.
- Velarde, L., Nabavi, M. S., Escalera, E., Antti, M. L., & Akhtar, F. (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review. In *Chemosphere* (Vol. 328). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508>
- Wang, Z., Luo, P., Zha, X., Xu, C., Kang, S., Zhou, M., Nover, D., & Wang, Y. (2022). Overview assessment of risk evaluation and treatment technologies for heavy metal pollution of water and soil. *Journal of Cleaner Production*, 379. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134043>