

UJI EFEKTIVITAS ARANG AKTIF DAUN PANDAN LAUT YANG DIAKTIVASI DENGAN NATRIUM HIDROKSIDA UNTUK ADSORPSI ION Fe^{3+} SECARA SISTEM KOLOM

Sulistiyani^{1,*}), Endang Dwi Siswani¹, Susila Kristianingrum¹, Annisa Fillaeli¹, Isnaini Saputri¹

¹Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

* email korespondensi: sulistiyani@uny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini memaparkan daun pandan laut sebagai alternatif baru bahan untuk membuat arang aktif, serta identifikasi kemampuan adsorpsinya secara sistem kolom. Daun pandan laut mengalami proses pemanasan hingga menjadi arang, dilanjutkan dengan proses aktivasi kimia dengan menggunakan larutan natrium hidroksida 1% dan aktivasi fisika dengan dialiri gas karbon dioksida. Arang aktif hasil sintesis dianalisis kondisi optimum adsorpsinya secara sistem kolom, yang meliputi massa arang aktif dan laju alir. Selanjutnya pada kondisi optimumnya, diuji daya adsorpsi arang aktif terhadap ion Fe^{3+} . Konsentrasi ion Fe^{3+} sebelum dan sesudah adsorpsi dideteksi dengan menggunakan spektrofotometer UV-vis, dengan menambahkan reagen tiosinat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak massa adsorben yang digunakan, efisiensi adsorpsi semakin baik. Pada rentang massa 0,3-0,7 gram, efisiensi adsorpsi tertinggi arang aktif terjadi pada massa 0,7 gram, dengan nilai efisiensi adsorpsi ion Fe^{3+} sebesar 96,92%. Pada analisis laju alir diperoleh bahwa laju alir lambat menghasilkan daya adsorpsi yang lebih baik dibandingkan laju alir cepat. Laju alir terbaik larutan ion Fe^{3+} terjadi pada 0,2 mL/menit dengan nilai efisiensi sebesar 99,39%. Berdasarkan kondisi optimum tersebut dapat ditentukan daya adsorpsi adsorben terhadap ion Fe^{3+} sebesar 30,58 mg/g.

Kata kunci: adsorpsi, arang aktif, daun pandan laut, sistem kolom, Fe^{3+}

Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan perabotan masyarakat diiringi kemajuan teknologi mendorong peningkatan industri pelapisan logam, salah satunya industri elektroplating. Akan tetapi, industri-industri logam cenderung menghasilkan limbah yang memiliki kandungan logam-logam berat yang cukup tinggi, seperti Cu, Ni, Zn, Cd, Cr, Sn, Pb, Fe, disamping sejumlah dan limbah padatan [1]. Akibatnya, limbah menyebabkan pencemaran lingkungan hingga membahayakan kesehatan manusia, terutama jika dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dulu. Sebagai contoh limbah cair elektroplating yang diambil dari pengrajin di Kotagede Yogyakarta mengandung ion Ni^{2+} sebesar 0,317-37,446 mg/L, sedangkan kandungan ion Fe^{3+} sebesar 0,928-1,110 mg/L [2].

Konsentrasi tersebut melebihi ambang batas konsentrasi yang diperbolehkan sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, yaitu sebesar 0,2 mg/L dan 5 mg/L, secara berturut-turut untuk ion Ni^{2+} dan Fe^{3+} . Berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat logam-logam antara lain presipitasi kimia, elektrokimia, adsorpsi, dan filtrasi membran [1-7]. Di antara metode tersebut, salah satu metode yang sering digunakan yaitu adsorpsi karena mudah, cepat, ekonomis, dan

efektif. Suatu proses adsorpsi umumnya menggunakan adsorben yang materinya bervariasi, seperti resin, arang aktif, zeolite, bentonite, dan pasir silika. Saat ini, banyak dikembangkan adsorben berbahan dasar alami, seperti sekam padi, pelepah kelapa, cangkang kelapa sawit [8-10].

Bahan alam yang kurang dimanfaatkan, dan ketersediaannya yang melimpah di alam menjadi faktor pengambilan bahan alam tersebut untuk disintesis sebagai arang aktif. Pada artikel ini akan dipaparkan arang aktif dari daun pandan laut (*Pandanus tectorius*) yang telah diaktivasi sebagai adsorben ion Fe^{3+} dengan menggunakan sistem kolom. Mengacu pada penelitian sebelumnya, sintesis daun pandan menjadi arang aktif dilakukan dengan memanaskan daun pandan laut pada suhu 500 °C hingga menjadi arang, kemudian diaktivasi secara kimia dan fisika untuk meningkatkan porositasnya [11]. Zat aktivator arang aktif dapat berupa larutan asam seperti HCl dan HNO_3 , namun dapat pula berupa larutan basa seperti NaOH [12,13]. Perbedaan dari penelitian sebelumnya, daya adsorpsi arang aktif yang berasal dari daun pandan laut diuji secara *batch*.

Namun, pada penelitian ini daya adsorpsi arang aktif daun pandan laut dilakukan secara sistem kolom. Penggunaan sistem kolom diharapkan lebih efektif karena kontak analit dengan adsorben lebih sempurna, sesuai hasil penelitian yang menyatakan kapasitas adsorpsi

merkuri(II) secara sistem kolom sebesar 3,9375 mg/L lebih besar dua kali lipat dibandingkan dengan metode *batch* yakni sebesar 1,775 mg/L [14]. Secara garis besar, artikel ini menjelaskan kondisi optimum adsorpsi arang aktif dari daun pandan laut yang telah diaktivasi dengan larutan NaOH 1% dan gas karbon dioksida serta analisis kemampuan adsorpsinya terhadap ion logam Fe³⁺ secara sistem kolom yang meliputi variasi massa adsorben dan laju alir. Konsentrasi ion logam yang terjerap ditentukan dari selisih konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi. Deteksi analit menggunakan Spektrofotometri UV-vis dengan penambahan pengompleks tiosianat. Dari hasil ini, dapat ditentukan nilai efisiensi adsorpsi arang aktif terhadap ion Fe³⁺ dan daya adsorpsinya.

Metode Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut. Spektrofotometer visibel Shimadzu 722N, kolom berdiameter 1,5 cm panjang 30 cm, timbangan analitik, pH meter, dan peralatan gelas. Daun pandan laut, FeCl₃ (p.a Merck), NaOH (p.a Merck), KSCN (p.a Merck), asam nitrat (HNO₃) 65%, gas CO₂, Metanol (p.a Merck), aquades, dan kertas saring. Bahan-bahan kimia yang digunakan memiliki tingkat kemurnian analisis dan tidak dilakukan pemurnian lebih lanjut.

Sintesis Arang Aktif dari Daun Pandan Laut

Daun pandan laut dibersihkan durinya, dicuci sampai bersih, kemudian dipotong kecil-kecil lalu dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kering. Selanjutnya, daun yang sudah kering diarakkan dengan tungku pengarangan pada suhu 500 °C selama 4 jam. Setelah itu arang dihaluskan dan diayak pada 80 mesh. Arang yang lolos ayakan kemudian diaktivasi kimia dengan menggunakan larutan NaOH 1% dan diaktivasi fisika dengan gas karbon dioksida [11].

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fe(III)-Tiosianat

Larutan standar ion Fe³⁺ 500 mg/L sebanyak 2,0 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL, ditambahkan 1,5 mL larutan KSCN 1000 ppm, ditambahkan 1 tetes HNO₃ 65% sehingga pH ~2 dan ditambahkan aquades hingga batas. Larutan campuran dikocok dan didiamkan selama 15 menit dan diukur absorbansi pada panjang gelombang 400 nm-700 nm.

Pembuatan Kurva Kalibrasi Fe³⁺-Tiosianat

Sebanyak 0,4 mL larutan standar ion Fe³⁺ 500 mg/L dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL, kemudian ditambah 1,5 mL larutan KSCN 1000 ppm dan 1 tetes HNO₃ 65% sehingga pH 2,5 dan ditambah aquades hingga batas. Campuran dikocok dan didiamkan selama 15 menit kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang 460 nm menggunakan Spektrofotometer visibel. Prosedur di atas diulang dengan volume larutan standar ion Fe³⁺ sebanyak 0,6 mL, 0,8 mL, 1,0 mL, dan 1,2 mL. Selanjutnya, dibuat kurva kalibrasi antara nilai absorbansi (y) dan konsentrasi (x).

Identifikasi Pengaruh Massa Adsorben terhadap Efisiensi Adsorpsi Arang Aktif pada Ion Fe³⁺

Sebanyak 0,3 g arang aktif yang telah disintesis dimasukkan ke dalam gelas beker. Larutan diaduk dan dimasukkan ke dalam kolom yang telah diisi *glasswool* pada bagian dasar. Selanjutnya 25 mL larutan ion Fe³⁺ dengan konsentrasi 528 mg/L dimasukkan ke dalam kolom dengan laju alir 0,2 mL/menit. Filtrat yang keluar kolom direaksikan dengan pengompleks tiosianat dan dianalisis dengan spektrofotometer UV-vis pada λ_{maks} 460 nm. Konsentrasi ion Fe³⁺ dalam filtrat dihitung menggunakan kurva kalibrasi. Langkah tersebut diulang untuk massa adsorben sebanyak 0,4 g, 0,5 g, 0,6 g, dan 0,7 g.

Identifikasi Pengaruh Laju Alir terhadap Efisiensi Adsorpsi Arang Aktif pada Ion Fe³⁺

Sebanyak 0,7 g arang aktif teraktivasi NaOH 1% dimasukkan ke dalam gelas beker. Kemudian larutan diaduk dan dimasukkan ke dalam kolom yang telah terisi *glasswool* pada bagian dasar. Selanjutnya larutan ion Fe³⁺ dengan konsentrasi 528 mg/L sebanyak 25 mL dialirkan ke dalam kolom dan diinteraksikan dengan arang aktif. Larutan yang dialirkan keluar dari kolom diatur menggunakan kran kolom. Laju alir diatur cepat sebesar 0,2 mL/menit, sedangkan laju alir lambat sebesar 0,15 mL/menit. Setelah interaksi, filtrat ditampung dan direaksikan dengan pengompleks tiosianat kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer visibel pada λ_{maks} 460 nm.

Penentuan Efisiensi Adsorpsi dan Daya Adsorpsi

Efisiensi adsorpsi dihitung menggunakan rumus.

$$\%Ep = \frac{C_0 - C_a}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

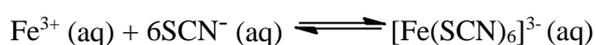
Dimana, C_0 merupakan konsentrasi ion logam mula-mula (mg/L) dan C_a merupakan konsentrasi ion logam setelah proses adsorpsi (mg/L). Daya adsorpsi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$q = \frac{V(C_0 - C_a)}{m} \quad (2)$$

Dimana, q = daya adsorpsi maksimum (mg/g); V = volume larutan (L); C_0 = konsentrasi ion logam awal (mg/L); C_a = konsentrasi ion logam setelah proses adsorpsi (mg/L).

Pembahasan

Arang aktif telah dikenal secara meluas sebagai bahan penjerap yang baik karena mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi. Jenis aktivator, kondisi aktivasi dan waktu dari proses aktivasi mempengaruhi sifat fisik dari arang aktif [15]. Karakteristik arang aktif hasil sintesis penelitian ini memiliki kadar air dan daya adsorpsi terhadap iodium yang sudah memenuhi SNI No.06-3730-1995 [11]. Pada pembentukan senyawa kompleks Fe-tiosianat ditambahkan larutan HNO_3 65% sebanyak 1 tetes. Hal ini berfungsi untuk menjaga kestabilan senyawa kompleks $[\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$ agar tetap pada kondisi optimum (suasana asam). Larutan kompleks $[\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$ relatif stabil pada pH 2 dan waktu optimum untuk pencampuran larutan ion Fe^{3+} dengan tiosianat adalah 15 menit [16,17]. Reaksi yang terjadi pada pembentukan kompleks Fe^{3+} - tiosianat adalah sebagai berikut.

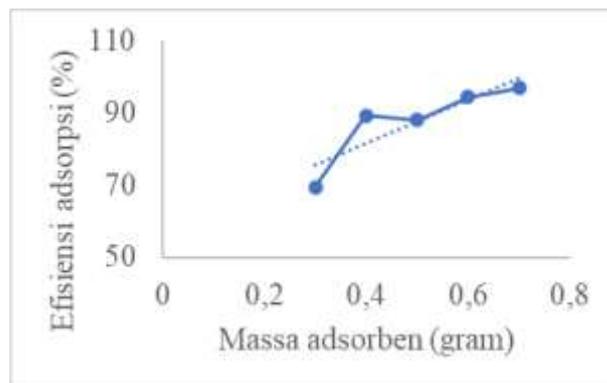


Pengaruh Massa Adsorben terhadap Efisiensi Adsorpsi Arang Aktif pada Ion Fe^{3+}

Data efisiensi adsorpsi ion logam Fe^{3+} terhadap variasi massa adsorben dapat diamati pada Tabel 1 sehingga dapat dibuat kurva hubungan antara efisiensi adsorpsi dengan massa adsorben seperti yang ditunjukkan Gambar 1.

Tabel 1. Data perhitungan efisiensi adsorpsi ion logam Fe^{3+} terhadap variasi massa adsorben

Massa (g)	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi akhir (mg/L)	Konsentrasi yang Diadsorpsi (mg/L)	Efisiensi Adsorpsi (%)
0,3	528	161,10	366,90	69,48
0,4	528	56,51	471,49	89,30
0,5	528	63,10	464,90	88,05
0,6	528	29,07	498,93	94,49
0,7	528	16,27	511,73	96,92



Gambar 1. Kurva hubungan efisiensi adsorpsi ion logam Fe^{3+} dengan massa adsorben

Berdasarkan Gambar 1 dapat dinyatakan bahwa pada rentang massa adsorben 0,3 g sampai 0,7 gram, semakin besar massa adsorben arang aktif, efisiensi adsorpsi semakin tinggi. Nilai efisiensi adsorpsi terbesar pada massa adsorben 0,7 gram yaitu sebesar 96,92% dengan konsentrasi yang terjerap sebanyak 511,73 mg/L. Nilai efisiensi adsorpsi terkecil pada massa adsorben 0,3 gram yaitu sebesar 69,48% dengan konsentrasi yang terjerap sebanyak 366,90 mg/L. Pengaruh massa adsorben terhadap ion Fe^{3+} menunjukkan semakin besar massa adsorben arang aktif, efisiensi adsorpsi semakin tinggi. Berdasarkan nilai tersebut, massa sebanyak 0,7 gram dinyatakan sebagai massa optimum. Pertambahan massa adsorben akan menyediakan pori adsorben yang banyak sehingga semakin banyak ion-ion logam yang teradsorpsi.

Selain itu, bertambahnya massa adsorben akan meningkatkan panjang kolom atau panjang lintasan yang dilalui ion logam sehingga mempengaruhi laju alir larutan ion di dalam kolom menjadi lebih lambat. Akibatnya, waktu kontak antara adsorben dan analit menjadi lebih lama sehingga potensi analit teradsorpsi adsorben juga akan meningkat. Rentang waktu adsorpsi ion Fe^{3+} melalui kolom yang berisi adsorben dengan massa 0,3-0,7 gram sebesar 80-170 menit. Akan tetapi, pelipatgandaan massa adsorben tidak dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi hingga 100%. Hal ini dimungkinkan karena interaksi atau kontak antar molekul dengan adsorben masih belum sempurna.

Identifikasi Pengaruh Laju Alir terhadap Efisiensi Adsorpsi Arang Aktif Teraktivasi NaOH 1% pada Ion Fe^{3+}

Pada penelitian ini dilakukan dua variasi laju alir, yaitu laju alir cepat dan laju alir lambat. Laju alir cepat dilakukan pada 0,2 mL/menit, sedangkan laju alir lambat dilakukan pada 0,15 mL/menit. Laju alir adalah kecepatan keluarnya larutan ion

logam yang telah mengalami kontak dengan arang aktif yang terdapat dalam kolom. Perlakuan variasi laju alir ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh laju alir terhadap efisiensi adsorpsi arang aktif secara kolom.

Proses adsorpsi arang aktif terhadap ion-ion logam dilakukan menggunakan kolom. Kolom yang digunakan pada penelitian ini berdiameter 1,5 cm dengan panjang 30 cm. Arang aktif dimasukkan ke dalam kolom, kemudian dialirkan larutan ion logam ke dalamnya. Laju alir diatur menggunakan kran kolom. Larutan yang telah melalui kolom (*effluent*) ditampung dan dicatat waktunya secara berkala untuk selanjutnya dianalisa menggunakan Spektrofotometri visibel pada panjang gelombang maksimum 460 nm. Data efisiensi adsorpsi ion Fe^{3+} dengan variasi laju alir ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Data efisiensi adsorpsi ion Fe^{3+} dengan variasi laju alir

Massa (gram)	Laju Alir (mL/menit)	Kons. Awal (mg/L)	Kons. Sisa (mg/L)	Kons. Diadsorpsi (mg/L)	Efisiensi Adsorpsi (%)
0,7	0,2	528	16,27	511,73	96,92
	0,15		3,22	524,78	99,39

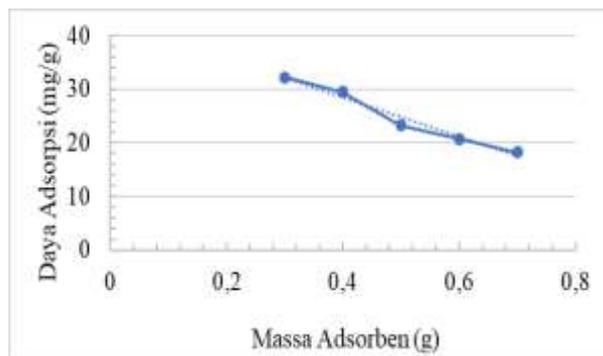
Analisis efisiensi adsorpsi ion Fe^{3+} pada laju alir cepat 0,2 mL/menit menghasilkan efisiensi adsorpsi sebesar 96,92%, sedangkan pada laju alir lambat 0,15 mL/menit menghasilkan efisiensi adsorpsi sebesar 99,39%. Berdasarkan data tersebut dapat dinyatakan, semakin kecil laju alir yang keluar dari kolom, semakin besar efisiensi adsorpsi yang didapatkan. Hal ini dimungkinkan semakin lambat laju alir, waktu kontak antar analit semakin lama, sehingga semakin banyaknya peluang analit terjebak di dalam rongga arang aktif [18]. Dengan demikian, laju alir optimum larutan ion Fe^{3+} terjadi pada laju alir lambat yaitu 0,2 mL/menit dengan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 99,39%.

Identifikasi Daya Adsorpsi Arang Aktif Daun Pandan Laut Teraktivasi NaOH terhadap Ion Fe^{3+}

Berdasarkan variasi massa yang digunakan dapat ditentukan daya adsorpsi arang aktif (Tabel 3). Selanjutnya dapat dibuat kurva hubungan daya adsorpsi dengan massa adsorben seperti yang dapat diamati pada Gambar 2.

Tabel 3. Identifikasi daya adsorpsi arang aktif daun pandan laut terhadap Ion Fe^{3+}

Massa (g)	Konsentrasi Ion Fe^{3+} yang Diadsorpsi (mg/L)	Daya Adsorpsi Ion Fe^{3+} (mg/g)
0,3	366,90	30,58
0,4	471,49	29,47
0,5	464,90	23,25
0,6	498,93	20,79
0,7	511,73	18,28



Gambar 2. Kurva hubungan antara daya adsorpsi banding massa adsorben dari ion Fe^{3+}

Berdasarkan Gambar 2 dapat dinyatakan bahwa semakin banyak massa adsorben yang digunakan, daya adsorpsi yang diperoleh semakin kecil. Nilai daya adsorpsi adsorben terhadap Fe^{3+} terbesar pada massa 0,3 gram sebesar 30,58 mg/g, sedangkan daya adsorpsi terkecil pada massa 0,7 gram sebesar 18,2778 mg/g. Daya adsorpsi optimum arang aktif teraktivasi NaOH terhadap ion logam Fe^{3+} secara sistem *batch* pada penelitian sebelumnya sebesar 0,895 mg/g [11]. Nilai tersebut 34 kali lipat lebih kecil dibandingkan dengan daya adsorpsi secara sistem kolom yang diperoleh pada penelitian ini. Dengan demikian dapat dinyatakan daya adsorpsi arang aktif terhadap ion logam Fe^{3+} secara sistem kolom memiliki daya adsorpsi yang lebih baik dibanding dengan sistem *batch*.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang adsorpsi secara sistem kolom yang berisi arang aktif teraktivasi NaOH terhadap ion Fe^{3+} dapat dinyatakan sebagai berikut. Pada rentang massa adsorben 0,3 g hingga 0,7 g, semakin besar massa adsorben yang digunakan efisiensi adsorpsi akan semakin baik, dengan nilai efisiensi tertinggi sebesar 96,92%. Pada variasi laju alir yang digunakan menunjukkan laju alir lambat 0,15 mL/menit menghasilkan efisiensi adsorpsi lebih besar sebesar 99,39% dibandingkan laju alir cepat 0,2 mL/menit dengan efisiensi adsorpsi 96,92%. Berdasarkan perbandingan massa analit yang teradsorpsi dengan massa adsorben dapat ditentukan nilai daya adsorpsi terbesar yaitu 30,58 mg/g.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang membiayai penelitian ini melalui dana DIPA dan memberikan fasilitas hingga selesainya penelitian ini.

Pustaka

- [1] Husain, A., Javed, I., & Khan, N. A. (2014). Characterization and treatment of electroplating industry wastewater using Fenton's reagent. *J Chem Pharm Res*, 6(1), 622-627.
- [2] Padmaningrum, R. T., & Marwati, S. (2008). Rancangan pengolahan limbah cair industri electroplating. In *Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta (Vol. 30, pp. 85-90).
- [3] Tran, T. K., Leu, H. J., Chiu, K. F., & Lin, C. Y. (2017). Electrochemical Treatment of Heavy Metal-containing Wastewater with the Removal of COD and Heavy Metal Ions. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 64(5), 493-502.
- [4] Zia, Q., Tabassum, M., Meng, J., Xin, Z., Gong, H., & Li, J. (2021). Polydopamine-assisted grafting of chitosan on porous poly (L-lactic acid) electrospun membranes for adsorption of heavy metal ions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 167(1), 1479-1490.
- [5] Sikdar, S., Ghosh, A., & Saha, R. (2020). Synthesis of MgO micro-rods coated with charred dextrose and its application for the adsorption of selected heavy metals from synthetic and real groundwater. *Environmental Science and Pollution Research*, 8(2), 1-16.
- [6] Ma, J., Sun, M., Zeng, Y., Liu, Z., Zhang, M., Xiao, Y., & Zhang, S. (2019). Acetylacetone functionalized magnetic carbon microspheres for the highly-efficient adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions. *RSC Advances*, 9(6), 3337-3344.
- [7] Barakat, M. A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(4), 361-377.
- [8] Danarto, Y. C., & Samun, D. T. (2008). Pengaruh aktivasi karbon dari sekam padi pada proses adsorpsi logam Cr (VI). *Ekuilibrum*, 7(1), 13-16.
- [9] Noer, A. A., Awitdrus, A., & Malik, U. (2014). *Pembuatan karbon aktif dari pelepah kelapa sawit menggunakan aktivator H₂O sebagai adsorben* (Doctoral dissertation, Riau University).
- [10] Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan aktivator H₃PO₄ untuk penyerapan logam berat Cd dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), 5-10.
- [11] Kristianingrum, S., Siswani, E. D., & Fillaeli, A. (2019). Identification of activated NaOH carbon of synthesis of sea pandanus leaves (*P. odorifer*) for Fe³⁺ and Cu²⁺ ions adsorption. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1156, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- [12] Esterlita, M. O., & Herlina, N. (2015). Pengaruh penambahan aktivator ZnCl₂, KOH, dan H₃PO₄ dalam pembuatan karbon aktif dari pelepah aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 47-52.
- [13] Erlina, E., Umiatin, U., & Budi, E. (2015, October). Pengaruh konsentrasi larutan KOH pada karbon aktif tempurung kelapa untuk adsorpsi logam Cu. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 4, pp. SNF2015-VII).
- [14] Krystiyanti, K. (2008). *Adsorpsi merkuri (II) oleh biomassa enceng gondok (eichornia crassipes) yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat menggunakan metode kolom* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- [15] Yacob, A. R., Majid, Z. A., Sari, R., & Dasril, D. (2008). Comparison of various sources of high surface area carbon prepared by different types of activation. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 12(1), 264-271.
- [16] Nashukha, H. L., Sulistyarti, H., & Sabarudin, A. (2014). Uji linieritas, selektivitas, dan validitas metode analisis merkuri (ii) secara spektrofotometri berdasarkan penurunan absorbansi kompleks besi (iii) tiosianat. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 2(2), pp-492.
- [17] Indrianti, N. (2014). Optimasi Pengukuran besi dengan pereaksi tiosianat dan 1, 10-fenantrolin serta gangguan beberapa ion secara spektrofotometri sinar tampak. *Kimia Student Journal*, 7(2), 55-60.
- [18] Rahman, A., & Hartono, B. (2004). Penyaringan air tanah dengan zeolit alami untuk menurunkan kadar besi dan mangan. *Makara Kesehatan*, 8(1), 1-6.