

Optimasi Kinerja Kombinasi Adsorben dalam Mereduksi Logam Besi dan Nikel Sampel Air

Edi Ilmu⁽¹⁾, Alimuddin⁽²⁾ dan Sarniah⁽³⁾

^(1,2,3)Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Indonesia

Email Author: ediilmu@gmail.com

Diterima:04-04-2023; Diperbaiki:24-05-2023; Disetujui:06-06-2023

ABSTRAK

Air bersih atau air minum merupakan salah satu bahan penunjang keberlangsungan makhluk hidup terutama manusia dimana seharusnya bebas dari kontaminasi logam berat dan tidak memberikan resiko terhadap kesehatan. Sebagai upaya untuk mengurangi kadar logam berat dalam memperbaiki kualitas air melalui teknik sederhana dan berbasis bahan alam, maka penulis memanfaatkan kulit nangka dan zeolit alam sebagai adsorben. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan daya adsorpsi karbon aktif kulit nangka yang dikombinasikan dengan zeolit alam dalam mereduksi konsentrasi logam besi (Fe) dan nikel (Ni). Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan metode variasi konsentrasi karbon aktif yang dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Daya adsorpsi optimum dalam mereduksi konsentrasi logam Fe terjadi pada komposisi x:y dengan konsentrasi (massa analit) yang teradsorpsi yaitu 0,4083 ppm (0,1021 mg) selama 60 menit. Sedangkan logam Ni terdapat pada kombinasi kemasan celup komposisi 2x:y dengan konsentrasi (massa analit) yang teradsorpsi yaitu 0,6017 ppm (0,1504 mg). Kemampuan daya adsorpsi adsorben secara umum menurun dengan bertambahnya massa adsorben karbon aktif kemasan celup baik pada analisis kadar logam Fe maupun Ni.

Kata kunci: Optimasi Kinerja Adsorben, Kombinasi Adsorben, Karbon Aktif, Zeolit Alam.

PENDAHULUAN

Daerah Kolaka merupakan salah satu daerah yang terletak di Sulawesi Tenggara penghasil khususnya pemurnian biji nikel (Ni). Keberadaan pertambangan tersebut, selain dapat meningkatkan perekonomian suatu daerah juga tidak terlepas dari suatu masalah atau dampak sosial yang ditimbulkan. Salah satu dampak yang terjadi adalah pencemaran khususnya pencemaran pada air. Sehubungan dengan kondisi tersebut, keluhan masyarakat setempat terkait kualitas air bersih yang menurut mereka tidak layak dikonsumsi karena airnya menimbulkan bau, berwarna kuning, dan berminyak. Berdasarkan hasil penelitian, kontaminasi logam berat khusus logam besi terhadap air dapat diidentifikasi secara kasat mata seperti warna kulit yang pucat keabuan (Singh dkk., 2011). Sedangkan kontaminasi logam nikel yang dapat dirasakan adalah munculnya gejala keracunan akut, mual dan juga muntah (Das dkk 2019). Timbulnya indikasi tersebut menjadi parameter sebagai upaya untuk mengurangi kadar logam berat dalam air sehingga dapat memperbaiki kelayakan kualitas air bersih melalui metode yang sederhana berbasis bahan alami yang tersedia.

Salah satu alternatif dalam memperbaiki kualitas air adalah pemanfaatan limbah kulit nangka menjadi adsorben. Kulit nangka memiliki kandungan selulosa sebesar 27,75% (Sundarraj dan Ranganathan, 2017). Berdasarkan kandungan



selulolanya yang cukup tinggi, kulit nangka dapat diolah dan dimanfaatkan untuk membuat karbon aktif (*activated carbon*) sebagai adsorben. Beberapa penelitian terkait pemanfaatan kulit nangka sebagai karbon aktif diantaranya Baloga (2019) melaporkan bahwa daya adsorpsi terhadap logam kadmium berturut-turut 84,65%; 99,10%; dan 99,93% (Baloga dkk., 2019). Rosali dkk (2015) melaporkan bahwa efisiensi karbon aktif sebesar 80% untuk mengadsorpsi kontaminan logam Pb. Selain itu, Ardiani dkk., (2017) juga melaporkan bahwa kulit nangka dapat dimanfaatkan untuk menentukan kondisi optimum adsorpsi logam kadmium (III) dengan daya adsorpsi sebesar 1,227 mg/g.

Karbon aktif merupakan suatu material yang mengandung karbon yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben sehingga mampu menyerap ion bebas dalam air. Proses pembuatan karbon aktif dapat dilakukan melalui proses pemanasan pada temperatur tinggi dan aktivasi pori-porinya menggunakan bahan kimia. Dengan struktur karbon aktif yang berpori inilah, karbon aktif dimanfaatkan sebagai adsorben untuk menghilangkan zat warna, bau, logam berat maupun gas (Maulida dan Sari, 2015; Lestari dkk., 2016; Kristianto, 2017; Suartini dkk., 2018; Dewi dkk., 2020). Anggriani dkk., (2021) melaporkan hasil penelitian terkait pemanfaatan karbon aktif bahwa waktu kontak optimum proses adsorpsi logam Cu (II) dan Pb(II) yaitu 40 menit dengan massa karbon aktif 1,5 gram dan efisiensi optimum logam Cu(II) sebesar 34,1753% dan logam Pb(II) sebesar 85,6050%. Selain karbon aktif, zeolit alam juga banyak dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki kemampuan daya serap yang tinggi. Zeolit alam disebut *molecule sieve* atau *moleculer mesh* (saringan molekul) dengan pori-pori berukuran molekul sehingga mampu memisahkan molekul dengan ukuran tertentu.

Beberapa penelitian terkait pemanfaatan zeolit alam lebih dikhususkan pada peningkatan efektivitas dan efisiensi proses industri dan pencemaran lingkungan (Putri dan Sabani, 2018; Setiawan dkk., 2018; Putri dan Side, 2020; Wijaya dkk., 2021). Pratomo dkk., (2017) melaporkan pemanfaatan zeolit alam teraktivasi asam fosfat (H_3PO_4) sebagai adsorben ion Logam Cd (II) dalam larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum adsorbat ion logam kadmium menggunakan zeolit alam dengan konsentrasi awal 30 mg/L, ion kadmium yang terserap sebesar 1,38mg/g, sedangkan zeolit alam teraktivasi dengan konsentrasi awal 50 mg/L penyerapannya sebesar 2,41 mg/g dengan waktu kontak 60 menit dan pH optimum. Ngapa (2018), juga melaporkan hasil penelitiannya bahwa kondisi optimum penyerapan ion logam terhadap limbah terjadi pada pH 4 dengan waktu kontak selama 60 menit. Kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyerapan maksimum zeolit alam terhadap ion logam Pb (II) berturut-turut sebesar 24,834 mg/g dan 99,37%.

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, penelitian yang memanfaatkan kulit nangka sebagai adsorben dalam bentuk karbon aktif maupun zeolit alam sebagai adsorben dalam mereduksi konsentrasi logam, menghilangkan bau maupun zat warna dalam air telah umum dilakukan. Akan tetapi, belum ada laporan

penelitian yang memanfaatkan kombinasi adsorben (karbon aktif dan zeolit alam). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kinerja optimum kombinasi adsorben dalam mereduksi konsentrasi logam besi dan nikel dalam air. Dengan demikian, penelitian diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomis limbah kulit nangka lebih bermanfaat dan adsorben yang dihasilkan dapat diaplikasikan dalam bentuk kemasan untuk meningkatkan kualitas air bersih.

METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif kulit buah nangka dikelompokkan dalam tiga tahapan yaitu dehidrasi, karbonasi, dan aktivasi. **Dehidrasi** kulit buah nangka diawali dengan cara dibersihkan dan dipotong kecil, kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105°C. **Karbonasi** : kulit buah nangka kering dimasukkan ke dalam tanur dan dibakar pada suhu 400°C selama 2 x 24 Jam sehingga diperoleh karbon (arang). Selanjutnya arang dihaluskan menggunakan lumpang dan disaring menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. **Aktivasi**, karbon sebanyak 50 gram dimasukkan ke dalam gelas kimia dan di rendam dengan 200 mL larutan H₂SO₄ 1 M selama 24 Jam. Karbon yang telah teraktivasi disaring dan dicuci dengan air sampai pH air pencucian mencapai pH ±7. Selanjutnya karbon dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam.

Penyiapan dan Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit alam berbentuk granular berwarna kebiruan dihaluskan dengan cara ditumbuk menggunakan mortar dan saring menggunakan ayakan berukuran 150 mesh. Zeolit tersebut diaktivasi secara fisika melalui proses pemanasan dalam tahir selama 60 menit pada suhu 150°C. Setelah itu, zeolit dilanjutkan dengan proses aktivasi secara kimia. Sebanyak 150 gram zeolit dimasukkan ke dalam gelas kimia dan direndam dengan HCl 5 M pada suhu kamar dan diaduk menggunakan bantuan magnetik *stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 50 rpm. Selanjutnya zeolit alam disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan air sampai air pencucian mencapai pH netral yaitu ±7. Proses pencucian zeolit dilanjutkan dengan pelarut etanol. Sebanyak 500 mL etanol ditambahkan kedalam gelas kimia berisi zeolit dan diaduk (30 rpm) selama 60 menit, kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C. Langkah terakhir yaitu zeolit teraktivasi disaring kembali menggunakan ayakan 150 mesh untuk memastikan ukuran maksimumnya.

Tabel 1. Rasio kemasan celup Adsorben karbon aktif dan zeolit alam

No.	Massa Adsoreben (gram)		Masasa Total Adsorben (gram)	Rasio (X:Y)
	Karbon Aktif (X)	Zeolit Alam (Y)		
1	3	3		1:1
2	4	2	6	2:1
3	5	1		5:1
4	3	0		3:0
5	0	3	3	0:3

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan melalui beberapa tahap yaitu analisis kadar abu, kadar air, dan analisis kadar logam (besi (Fe) dan Nikel (Ni)) yang teradsorpsi dalam adsorben:

Analisis kadar abu dan kadar air

Analisis kandungan air dalam karbon aktif dilakukan dengan cara sebanyak 2 gram karbon aktif dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C dan ditimbang massanya setiap 60 menit. Proses ini berlangsung sampai diperoleh massa penimbangan karbon aktif yang konstan. Sedangkan uji kadar abu dilakukan dengan cara sebanyak 2 gram karbon aktif dipanaskan dalam tanur pada suhu 400°C. Proses pemanasan dilakukan sampai semua karbon aktif telah berubah menjadi abu.

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Ket: a = Massa awal karbon aktif

b = Massa konstan karbon aktif (Akhir)

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{b}{a} \times 100\%$$

Ket: a = Massa awal karbon aktif

b = Massa abu (akhir)

Analisis kadar logam yang teradsorpsi pada adsorben

Proses pengukuran kadar logam yang teradsorpsi dalam adsorben dilakukan dengan cara setiap adsorben dalam kemasan celup seperti tampak pada Tabel 1, dimasukkan dalam gelas kimia yang berisi sampel air yang mengandung logam Fe dan Ni. Setelah itu, didiamkan selama 60 menit. Setelah 60 menit, adsorben diangkat dari sampel air, kemudian sampel air tersebut diukur absorbansinya menggunakan SSA. Logam besi (Fe) diukur pada panjang gelombang maksimumnya yaitu 248,4 nm, sedangkan logam Nikel (Ni) yaitu 232,0 nm. Penentuan kadar logam Fe dan Ni dianalisis menggunakan kurva standar dengan konsentrasi larutan standar yang digunakan untuk Fe yaitu 0,000; 0,010; 0,025; 0,050; 0,100; 0,150; 0,250 ppm, sedangkan Ni yaitu 0,00; 0,01; 0,05; 0,10; 0,50; 1,00 ppm.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kadar Air dan Kadar Abu

Pengujian karbon aktif dari kulit nangka dilakukan dengan tujuan untuk menentukan kualitas karbon aktif agar diperoleh karbon aktif yang memenuhi baku mutu menurut Standar Nasional Indonesia (SNI. 06-3730-1995).

Kadar air diuji dengan cara ditimbang sebanyak 2 gram karbon aktif dari kulit nangka dalam wadah aluminium yang telah dikeringkan dan diketahui massanya dengan konstan. Kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 105°C selama 60 menit hingga massanya konstan. Sedangkan pengujian kadar abu dilakukan dengan cara ditimbang sebanyak 2 gram karbon aktif dari kulit nangka dalam cawan porselen yang telah dikeringkan dan diketahui massanya dengan

konstan. Kemudian dipanaskan dalam tanur dengan suhu 400°C sampai material karbon aktif menjadi abu. Untuk hasil pengujian kadar air dan kadar abu karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kadar Air dan Kadar Abu Karbon Aktif

Jenis Uji	Massa sampel (g)	Massa cawan kosong (g)	Massa setelah dioven (g)	Persentase (%)
Kadar Air	2,0000	46,3559	48,1882	8,685
Kadar Abu	2,0000	49,7828	50,0022	10,97

Hasil pengukuran kadar air menunjukkan bahwa kadar air pada karbon aktif yang diperoleh yaitu sebesar 8,685%. Hal ini memenuhi baku mutu karbon aktif menurut SNI. 06-3730-1995 yaitu maksimal 15%, sehingga karbon aktif dari kulit nangka layak digunakan sebagai karbon aktif dan kemungkinan daya adsorpsinya dapat maksimal. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Baloga dkk (2019), bahwa karakteristik karbon aktif yang dihasilkan sangat mempengaruhi daya adsorpsi dari karbon aktif. Dimana semakin rendah kadar airnya, maka kualitas dari karbon aktif tersebut akan semakin baik.

Hasil pengukuran kadar abu pada karbon aktif kulit nangka diperoleh sebesar 10,97%. Hasil kadar abu yang diperoleh pada penelitian ini tidak memenuhi persyaratan karbon aktif menurut SNI. 06-3730-1995 yaitu maksimal 10%. Hal ini dikarenakan tingginya kandungan mineral yang tertinggal dalam karbon aktif pada saat pembakaran. Karbon aktif yang terbuat dari bahan alam tidak hanya mengandung senyawa karbon akan tetapi mengandung juga beberapa mineral lainnya. Sebagian dari mineral ini telah hilang pada saat karbonisasi dan aktivasi. Sebagian lainnya juga diperkirakan terikat dengan karbon aktif. Akibat adanya sisa mineral ini, membuat kadar abu meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Herlandien (2013).

Baloga dkk (2019), dalam penelitiannya memperoleh kadar air dan kadar abu dari kulit nangka sebesar 4,4% dan 9,3%. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit nangka hasil penelitian ini memiliki kadar air dan kadar abu yang lebih besar dari pada kadar air dan kadar abu kulit nangka. Salah satu penyebab perbedaan hasil yang diperoleh yaitu perbedaan tempat tumbuh tanaman nangka dimana setiap tempat tumbuhnya memiliki kandungan mineral yang berbeda. Dengan adanya kandungan mineral yang cukup dalam tanah menjadi pengaruh utama terhadap tanaman untuk tumbuh (Zuhaida dan Kurniawan, 2018).

Analisis Konsentrasi Logam Besi dan Nikel pada Sampel Air Sumur

Kadar logam Fe dan Ni baik sebelum dan setelah diberi perlakuan dapat dihitung konsentrasi logamnya. Data hasil analisis penentuan konsentrasi logam yang teradsorpsi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Analisis Konsentrasi Logam Besi dan Nikel

Parameter	Konsentrasi awal (ppm)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	X:Y	Konsentrasi akhir (ppm)	Konsentrasi yang teradsorpsi (ppm)	Massa analit yang teradsorpsi (mg)	Daya serap setiap 1 g adsorben (mg/g)
Fe	0,5085	6	250	x:y	0,1002	0,4083	0,1021	0,0170
				2x:y	0,1375	0,3710	0,0928	0,0155
				5x:y	0,1891	0,3194	0,0799	0,0133
		3	125	X	0,2100	0,2985	0,0373	0,0124
				Y	0,1385	0,3700	0,0463	0,0154
Ni	0,6017	6	250	x:y	0,0023	0,5994	0,1498	0,0250
				2x:y	0,0000	0,6017	0,1504	0,0251
				5x:y	0,0197	0,5820	0,1455	0,0242
		3	125	X	0,0176	0,5841	0,0730	0,0243
				Y	0,0124	0,5893	0,0737	0,0246

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan daya adsorpsi *activated carbon* celup terhadap penurunan konsentrasi logam Fe dan Ni sebelum dan sesudah diberi perlakuan yang kemudian dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Daya adsorpsi memiliki hubungan dengan luas permukaan pada karbon aktif. Semakin besar nilai konsentrasi logam yang teradsorpsi, maka semakin besar pula kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi logam yang terlarut.

Tabel 3 menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi Fe dan Ni setelah diberikan perlakuan dengan perendaman *activated carbon* celup selama 60 menit. Konsentrasi logam Fe sebelum diberi perlakuan yakni sebesar 0,5084 ppm dan setelah diberikan perlakuan konsentrasi logam Fe dalam sampel dengan komposisi x:y mampu menurunkan konsentrasi logam Fe sebesar 0,4083 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,1021 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0170 mg/g, serta konsentrasi akhir yang diperoleh sebesar 0,1002 ppm. Perlakuan dengan komposisi 2x:y mampu menurunkan konsentrasi logam Fe sebesar 0,3710 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,0928 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0155 mg/g dan konsentrasi akhirnya sebesar 0,1375 ppm.

Perlakuan dengan komposisi 5x:y mampu menurunkan konsentrasi logam Fe sebesar 0,3194 ppm. Massa analit yang diperoleh sebesar 0,0799 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0133 mg/g dan konsentrasi akhirnya sebesar 0,1891 ppm. Pada karbon aktif murni kulit nangka mampu menurunkan konsentrasi logam Fe sebesar 0,2985 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,0373 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0124 mg/g dan konsentrasi akhir yang diperoleh yaitu 0,2100 ppm. Sedangkan zeolit alam mampu menurunkan konsentrasi logam Fe sebesar 0,3700 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,0463 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0154 mg/g dan konsentrasi akhirnya sebesar 0,1385 ppm. Daya adsorpsi optimum pada logam Fe yakni terjadi pada komposisi x:y.

Konsentrasi logam Ni sebelum diberi perlakuan yakni sebesar 0,6017 ppm dan setelah diberikan perlakuan konsentrasi logam Ni dalam sampel dengan komposisi x:y mampu menurunkan konsentrasi logam Ni sebesar 0,5994 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,1498 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0250 mg/g dan konsentrasi akhir yang diperoleh sebesar 0,0023 ppm. Perlakuan dengan komposisi 2x:y mampu menurunkan logam Ni sebesar 0,6017 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,1504 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0251 mg/g dan konsentrasi akhirnya sebesar 0,0000 ppm.

Perlakuan dengan komposisi 5x:y mampu menurunkan konsentrasi logam Ni sebesar 0,5820 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,1455 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0242 mg/g dengan konsentrasi akhirnya sebesar 0,0197 ppm. Pada karbon aktif murni kulit nangka mampu menurunkan konsentrasi logam Ni sebesar 0,5841 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,0730 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0243 mg/g dan konsentrasi akhir yang diperoleh yaitu 0,0176 ppm. Sedangkan zeolit alam mampu menurunkan konsentrasi logam Ni sebesar 0,5893 ppm. Massa analit yang teradsorpsi sebesar 0,0737 mg dengan daya serap setiap 1 gram adsorben sebesar 0,0246 mg/g dan konsentrasi akhirnya sebesar 0,0124 ppm. Daya adsorpsi optimum pada logam Ni yakni terjadi pada komposisi 2x:y.

Penelitian mengenai karbon aktif dan zeolit telah banyak digunakan, namun pemanfaatan keduanya belum pernah dilakukan. Hasil Analisis Konsentrasi Logam Besi dan Nikel menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi karbon aktif dalam kemasan celup, maka daya adsorpsi adsorben khususnya logam Fe menurun. Sedangkan untuk logam Ni fluktuasi, akan tetapi secara umum juga terjadi penurunan. Hal ini dapat disebabkan oleh daya serap adsorben karbon murni relatif rendah dibandingkan dengan daya serap adsorben murni zeolit alam.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang kami lakukan, dapat disimpulkan bahwa daya adsorpsi optimum adsorben kombinasi karbon aktif (kulit nangka) dan zeolit alam khususnya logam besi (Fe) terdapat pada kombinasi adsorben dengan perbandingan 1:1 (x:y) dengan daya adsorpsi selama 60 menit yaitu besi sebesar 0,4083 ppm (0,1021 mg), sedangkan logam Ni terdapat pada kombinasi kemasan celup komposisi 2x:y dengan konsentrasi (massa analit) yang teradsorpsi yaitu 0,6017 ppm (0,1504 mg).

DAFTAR RUJUKAN

Ardiani, K., Raya, A. N., Inayati. 2017. Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Kromium (III) Menggunakan Biosorben dari Limbah Kulit Nangka (*Artocapus heterophyllus*). *EQUILIBRIUM*. 16(1).

- Baloga, H., Walanda, D.K., dan Hamzah, B. 2019. Pembuatan Karbon dari Kulit Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*) Sebagai Adsorben Terhadap Kadmium dan Nikel Terlarut. *Jurnal Akademika Kimia*. 8(1).
- Das, K.K., Reddy, C., Bagoji, I.B., Das, S., Bagali, S., Mullur, L., Khodnapur, J.P., dan Biradar, M.S. 2019. Primary Concept of Nickel Toxicity – an Overview. *Journal Basic Clin Physiol Pharmacol*. 30(2).
- Dewi, R., Azhari, dan Nofriadi, I. 2020. Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 9(2).
- Herlandien, Y.L. 2013. Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Adsorban Logam Berat Dalam Air Lindi Di TPA Pakusari Jember. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Kristianto, H. 2017. Review: Sintesis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia $ZnCl_2$. *Jurnal Integrasi Proses*. 6(3).
- Lestari, R.S.D., Sari, D.K., Rosmadiana, A., Dwiper mata, B. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Aktivator Asam Fosfat Serta Aplikasinya pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas. *Jurnal TEKNIKA*. 12(3).
- Maulida, L., Za, N., Sari, N.D. 2015. Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 4(2).
- Ngapa, Y.D. 2018. Adsorpsi Ion Pb(II) oleh Zeolit Alam Ende Teraktivasi Asam: Studi Pengembangan Mineral Alternatif Penjerap Limbah Logam Berat. *Cakra Kimia*. 7(2).
- Pratomo, S.W., Mahatmanti, F.W., dan Sulistyaningsih, T. 2017. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi H_3PO_4 sebagai Adsorben Ion Logam Cd (II) dalam Larutan. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(2).
- Putri, W.K., dan Sabani. 2018. Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Logam Berat Mg, Al, dan Zn Menggunakan Larutan NaOH. *Jurnal Einstein*. 6(3).
- Putri, S.E., dan Side, S. 2020. Analisis Kandungan Oksida Logam Zeolit Alam Sulawesi Selatan Teraktivasi Asam Klorida. *Jurnal Sainsmat*. 9(2).
- Rosali, N.A., Zawawi, M.H., Bustami, R.A., Hipni, F., dan Kamruddin, M.A. 2015. Adsorption of Lead using Jackfruit Peel Activated Carbon. *Applied Mechanics and Materials*. Vols. 773-774, pp 1079-1084 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.107.
- Setiawan, Y., Mahatmanti, F.W., dan Harjono. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode *Top-Down*. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(1).
- Singh., R., Gautam, N., Mishra, A., Gupta, R. 2011. Heavy Metals and Living Systems: An Overview. *Indian Journal of Pharmacology*. 43(3).
- Sundarraaj, A.A., dan Ranganathan, T.V. 2017. Physicochemical characterization of Jackfruit (*Artocarpus integer* (Thumb.)) Peel. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 8(3).

- Wijaya, M.S., Darmayanti, L., Elistya, S. 2021. Aplikasi Zeolit Sebagai Adsorben untuk Menyisihkan Logam Fe pada Air Gambut. *Jom FTEKNIK*. 8.
- Zuhaida, A., dan Kurniawan, W. 2018. Deskripsi Saintifik Pengaruh Tanah pada Pertumbuhan Tanaman: Studi Terhadap QS. Al A'raf Ayat 58. *THABIEA Journal of Natural Science Teaching*. 01(02).