



ISOTERM ADSORPSI Pb(II) PADA KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA DENGAN VARIASI KONSENTRASI AKTIVATOR NATRIUM BIKARBONAT

(ISOTHERMAL ADSORPTION OF Pb(II) BY ACTIVATED CARBON WITH VARIATIONS IN CONCENTRATION OF SODIUM BICARBONATE)

Erma Maruni, Nurlina, Nelly Wahyuni*

Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof Dr.H. Hadari Nawawi, Pontianak

*Corresponding author: nellywahyuni@chemistry.untan.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.26418/indonesian.v5i2.52987>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 February 2022

Accepted 30 May 2022

Available online 31 July 2022

Keywords:

Adsorption, Ion Pb(II)
Langmuir, Sodium
Bicarbonate

ABSTRACT

Activated carbon is a porous solid that contains 85-95% carbon. The study used coconut shells as carbon sources and sodium bicarbonate as activators. Sodium bicarbonate can release carbon dioxide (CO₂), where the CO₂ will be used as a carbon donor. The study aims to explain the properties of carbon, activated carbon (KA), and its performance test in the solutions of Pb(II) ions. Metallic lead is toxic, which can slow down the normal working of red blood cells so that it can cause anemia and can also inhibit the biosynthesis of hemoglobin. The research phase starts from the pyrolysis of coconut shells (t =2 hours, T=230 °C) to carbon. Carbon is activated with the varied percentage of sodium bicarbonate from 0 % to 8% and soaked for 24 hours (KA 0%, KA 4%, and KA 8%). Activated carbon is characterized by water content, ash content, uptake of iodine, and methylene blue following the SNI method. Carbon, KA 0%, KA 4%, and KA 8% tested its performance as adsorbent ion Pb(II) from PbNO₃ solution with concentrations of 5, 10, 15, 20, and 25 ppm. The results showed that the water content, ash levels, and uptake of blue methylene KA met SNI No. 06-3730-1995. The highest adsorption efficiency at five ppm Pb(II) of carbon = 86.87%, KA 4% = 99.01% Isotherm adsorption of Pb(II) ions fitted to Langmuir for Carbon and KA 4% with K = 1.5044 L/g, a_m = 0.11 mg/g and K= 4.9468 L/g, a_m = 1.0735 mg/g, respectively.

© 2022 IJoPAC. All rights reserved

1. Pendahuluan

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang terdapat pada golongan kimia IV A. Logam timbal berwarna abu kebiruan dan tekstur lunak dengan densitas 11,4 g/cm³[1]. Ion Pb(II) dapat mengakibatkan penurunan kemampuan berpikir atau penurunan kinerja otak, pertumbuhan badan lambat juga kelumpuhan[2]. Keracunan ion Pb(II) dapat menimbulkan gejala yang dapat dilihat yaitu mengalami mual dan sakit perut selain itu dapat juga mengalami anemia. Penelitian lain juga melaporkan bahwa pencemaran logam Pb(II) berasal dari aktivitas transportasi air yang menggunakan bahan bakar[3], Umbara dan suseno juga mengatakan logam berat timbal dapat juga berasal dari cat kapal tua dan

industri^[4]. Berdasarkan permenkes RI Nomer 492 tahun 2010, kadar logam timbal maksimum pada air minum adalah 0,01 ppm atau 0,01 mg/L ^[5].

Logam berat dapat menjadi sumber utama pencemaran air. Hal ini mendorong banyak pihak untuk melakukan berbagai penelitian dalam rangka mengatasi pencemaran, antara lain melalui proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. ^[6] Oleh karena itu maka dilakukan penelitian karbon aktif untuk adsorpsi limbah ion Pb(II). Karbon aktif telah banyak dimanfaatkan sebagai adsorben mengadsorpsi logam. Karbon aktif mengandung 85-95% karbon yang diperoleh dari hasil pemanasan 600-2000°C pada tekanan tinggi sehingga menyebabkan padatan karbon aktif berpori. Karbon kemudian diaktivasi dengan aktivasi kimia menggunakan larutan natrium bikarbonat. Natrium bikarbonat dipilih sebagai aktivator karena ramah lingkungan dan natrium bikarbonat dapat melepaskan gas karbon dioksida (CO₂) ketika direaksikan dengan akuades. Pengaktifan karbon aktif secara kimia dapat menggunakan beberapa pelarut seperti NaCl^[7], ZnCl₂ dan Na₂CO₃^[8], KOH ^[9] dan H₃PO₄^[3]

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka penulis melakukan penelitian tentang proses adsorpsi Pb (II) oleh karbon dari tempurung kelapa yang diaktivasi dengan natrium bikarbonat. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik fisika dan kimia karbon dan karbon aktif serta menentukan efektivitas dan model adsorpsi ion Pb(II) oleh adsorben tersebut.

2. Metodologi

Alat dan Bahan

Alat dan instrumentasi utama digunakan dalam penelitian neraca analitik (*Mettler Toledo*), oven (*Memmert*), pemanas elektrik, pengaduk magnetik, tanur (*Thermolyne*), Spektrofotometer UV-Vis (*Shimadzu single beam*), Spektrofotometer Serapan Atom (*Shimadzu AA6800*).

Bahan yang digunakan diantaranya seperti pelarut akuades, asam nitrat (HNO₃), kalium iodida (KI), metilen biru, natrium hidroksida (NaOH) p.a Merek, natrium tiosulfat (Na₂S₂O₃), soda kue (cap onta), tempurung kelapa dari limbah masyarakat di Parit Bugis Kabupaten Kuburaya, logam timbal (Pb) dari larutan Pb(NO₃)₂.

Prosedur Penelitian

Preparasi karbon aktif tempurung kelapa

Tempurung kelapa yang telah bersih dan dipirolisis selama 2 jam pada suhu 230°C kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan ukuran 200 *mesh*. Karbon tempurung kelapa sebanyak 60 g direndam dengan larutan natrium bikarbonat 0%, 4% dan 8% selama 24 jam dan disaring. Padatan selanjutnya di cuci dengan HNO₃ 0,1 M dan akuades hingga pH=7, kemudian dioven selama 3 jam pada suhu 105°C.

Karakterisasi Karbon Aktif^[10]

a) Uji kadar air

Sampel karbon aktif ditimbang 1 g, kemudian di masukkan ke cawan petri kosong yang telah ditimbang (berat sampel dinyatakan sebagai A). Cawan petri yang telah terisi sampel dimasukkan ke dalam tanur yang telah mencapai temperatur 150°C hingga diperoleh berat konstan. karbon aktif di dinginkan di dalam desikator kurang lebih 15 menit dan ditimbang hingga tercapai berat yang konstan (dinyatakan sebagai B). Kadar air dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana, A: berat sampel awal (g) dan B: berat sampel setelah perlakuan (g)

b) Uji kadar abu

Sebanyak 1 g sampel karbon aktif di masukkan ke cawan pantri yang telah di timbang (berat sampel dinyatakan sebagai A). kemudian karbon aktif ditanur selama 3 jam pada suhu 650°C. Karbon aktif yang telah menjadi abu di dinginkan di dalam desikator kurang lebih 30 menit kemudian ditimbang (dinyatakan sebagai B). Kadar abu dapat dihitung dengan Persamaan 3.2 berikut ini:.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (3.2)$$

dimana, A : berat sampel awal (g) dan B : berat sampel setelah perlakuan (g)

c) Uji serapan iodine

a) Pembuatan larutan kanji

Sebanyak 1 g kanji dilarutkan dengan 10 mL akuades, kemudian larutan kanji ditambahkan dengan 100 ml akuades sambil diaduk dan dipanaskan.

b) Standarisasi larutan iod 0,1 N

(1) Pembuatan larutan KI

Ditimbang sebanyak 25 g padatan KI yang dilarutkan menggunakan akuades 30 mL dalam wadah labu ukur 1 L. Selanjutnya ditambahkan 13 g iodine dan dikocok hingga larut. Larutan ditepatkan dengan akuades sampai tanda batas, kemudian di simpan di tempat yang gelap.

(2) Standarisasi larutan iod

Larutan KI sebanyak 25 mL dititer dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N hingga terbentuk larutan berwarna kuning tipis. Selanjutnya, ditambahkan 1 ml larutan kanji 1% sebagai indikator hingga larutan berwarna biru. Larutan iodine dititrasi dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ hingga terbentuk larutan bening.

c) Standarisasi larutan natrium tio-sulfat 0,1 N

(1) Pembuatan larutan natrium tio-sulfat

Sebanyak 26 g padatan natrium tio-sulfat ditimbang dan dilarutkan dengan akuades dalam wadah labu ukur 1 L, kemudian ditambahkan dengan 0,2 Na_2CO_3 dan ditepatkan dengan akuades hingga tanda batas. Ke dalam larutan tersebut, ditambahkan 10 mL isoamil alkohol. Campuran dikocok dan dibiarkan selama 2 hari.

(2) Pembuatan larutan KIO_3

Padatan KIO_3 sebanyak 2-3 g dipanaskan di dalam oven pada suhu 130-140°C dalam waktu 1,5-2 jam. Padatan selanjutnya didinginkan di dalam desikator. Padatan KIO_3 ditimbang 1-1,5 g dan dilarutkan dengan akuades pada wadah labu ukur 250 mL.

(3) Standarisasi natrium tio-sulfat

Sebanyak 20 mL larutan KIO_3 dimasukkan ke erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan 2 g KI dan 5 mL H_2SO_4 kemudian ditutup dan dikocok ke dalam erlenmeyer hingga larutan menjadi kuning pekat. Larutan didiamkan dalam ruang gelap selama 5 menit, selanjutnya ditambahkan 100 mL akuades, dititrasi sampai terbentuk warna kuning tipis lalu ditambahkan 1 mL larutan kanji dan larutan berubah menjadi biru. Campuran larutan KIO_3 -KI- H_2SO_4 dititrasi dengan larutan natrium tio-sulfat hingga warna berubah bening.

d) Uji daya serap iod oleh karbon aktif

Karbon aktif (KA) dipanaskan di oven selama 1 jam pada suhu 115-120°C dan didinginkan di desikator. Sempel karbon aktif 0,5 g dipindahkan ke wadah gelap dan tertutup. Sebanyak 50 mL larutan iod 0,1 N ditambahkan ke dalam KA, selanjutnya larutan dipindahkan ke dalam tabung sentrifugal. Larutan dikocok sampai karbon aktif terpisah dan cairan menjadi bening. Larutan bening tadi diambil sebanyak 10 mL dan dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N, jika warna kuning dari larutan samar maka ditambahkan dengan larutan kanji 1%. Titrasi dilanjutkan hingga warna larutan bening.. Banyaknya iodine yang terserap dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$A = \left(\frac{10 - \frac{V \times N}{0,1}}{W} \right) \times 126,9 \times 5 \quad (3.3)$$

dimana,

A = iod yang diadsorpsi

V = larutan natrium tiosulfat

N = normalitas larutan natrium tio-sulfat

126,9= jumlah iod sesuai dengan 1ml larutan natrium tiosulfat 0,1 N
W = karbon aktif

d) Serapan metilen biru

a) Pembuatan Larutan Standar Metilen Biru (MB)

Larutan standar MB 100 ppm dibuat dengan menimbang padatan metilen biru 0,01 g dan ditara pada labu ukur 100 mL. Selanjutnya dibuat larutan standar dengan konsentrasi 0,5- 3 ppm. Absorbansi masing-masing larutan diukur pada panjang gelombang 500-700 nm.

b) Adsorpsi Metilen Biru oleh KA

Sebanyak 0,1 g sampel KA dimasukkan ke wadah erlenmeyer dan ditambahkan 25 mL larutan 3 ppm, kemudian di kocok selama 60 menit dengan shaker dengan kecepatan 200 rpm. Setelah itu, sampel uji disaring dan filtrat yang kemudian pengukuran absorbansinya dilakukan pada panjang gelombang 665 nm dengan spektrofotometer UV-Vis.

Efektivitas Karbon Aktif

Larutan ion Pb(II) dibuat dengan menggunakan larutan Pb(II) konsentrasi 5 ppm-25 ppm pada kondisi pH 5. Sebanyak 0,5 g adsorben dimasukkan ke dalam 25 mL larutan Pb(II), di kocok selama 60 menit dengan kecepatan 120 rpm kemudian disaring. Filtrat diuji kandungan Pb(II) nya dengan AAS. Efisiensi adsorpsi karbon, karbon aktif dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 3.4 di bawah ini:

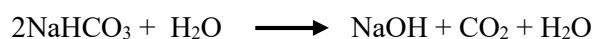
$$Ef (\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\% \quad (3.4)$$

dimana (Y_i) konsentrasi Pb sebelum adsorpsi dan (Y_f) kandungan Pb setelah adsorpsi^[11].

3. Hasil dan Pembahasan

Preparasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Penelitian ini menggunakan tempurung kelapa sebagai sumber karbon. Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin berturut-turut yaitu 34%, 21% dan 27%. Komposisi unsur dari tempurung kelapa terdiri dari C (74,3%), O (21,9%), Si (1,4%), K (0,5%), dan P (1,7%)^[12]. Pembuatan karbon dari bahan baku tempurung kelapa menggunakan pembakaran secara pirolisis proses pemanasan dengan seminimal mungkin kontak dengan oksigen. Tahap selanjutnya adalah aktivasi karbon tempurung kelapa. Perlakuan aktivasi terhadap karbon yang bertujuan untuk melepaskan zat pengotor yang menyumbat pori-pori karbon^[13]. Proses aktivasi menggunakan aktivator natrium bikarbonat dapat meningkatkan porositas dan luas permukaan sehingga daya serap karbon aktif menjadi semakin baik^[14]. Selain itu natrium bikarbonat dapat melepaskan gas karbon dioksida (CO₂) yang dapat melepaskan pengotor pada karbon sehingga dapat membuka pori-pori karbon. Selain itu gas CO₂ tersebut akan digunakan sebagai pendonor karbon. Reaksi natrium bikarbonat ketika direaksikan dengan air ^{[15][16]}:



Menurut penelitian Ismadi (2009) yang menggunakan mengkaji penggunaan aktivator natrium bikarbonat dengan perbandingan konsentrasi aktivator yaitu 0%, 4% dan 8% diperoleh data bahwa variasi konsentrasi aktivator tidak begitu berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif, tetapi dengan variasi konsentrasi karbon aktif dapat menghasilkan karbon aktif dengan nilai fluktuatif^{[17] [18]}. Setelah dilakukan aktivasi pada karbon aktif kemudian dilakukan pengujian karakterisasi dimana dilakukannya karakterisasi agar karbon aktif dapat diketahui kualitasnya menurut Standar Nasional Indonesia (SNI).

Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif dilakukan agar kualitas karbon aktif yang dihasilkan dapat dipastikan dan aplikasi yang sesuai dapat direkomendasikan^[19]. Hasil karakterisasi karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi karbon aktif

Karakterisasi	Variasi Sampel			SNI
	Karbon Aktif 0%	Karbon Aktif 4%	Karbon Aktif 8%	
Kadar Air (%)	11,6	12,19	12,63	15
Kadar Abu (%)	4,73	2,63	3,59	10
Daya Serap Metilen Biru (Mg/g)	694,8598	734,5	713,9159	Min 120
Daya Serap Iodin (mg/g)	312,1780	437,0746	411,2897	Min 750

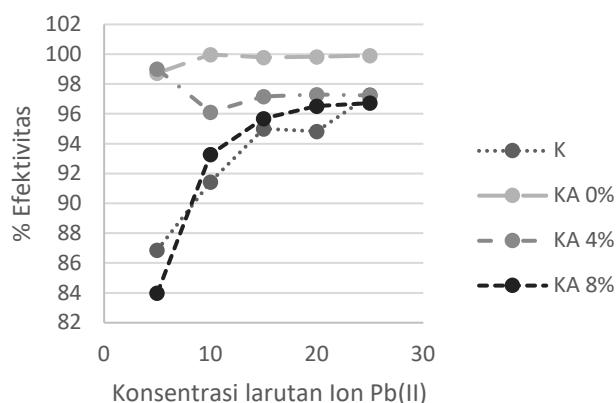
Karakterisasi karbon aktif yang dilakukan meliputi kadar air, kadar abu, serapan iodin, metilen biru. Karakterisasi karbon aktif dilakukan setelah didapatkan rendemen karbon yang diaktivasi menggunakan aktivator natrium bikarbonat. Tingginya kadar air pada karbon aktif dipengaruhi oleh sifat higroskopis karbon aktif selain itu juga dipengaruhi dengan adanya molekul air yang terperangkap dalam kisi karbon aktif. Penentuan kadar abu karbon aktif tempurung kelapa bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral dan oksida logam yang tersisa di dalam karbon aktif dimana kandungan tersebut tidak dapat larut dan terbuang saat dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi.

Karakteristik lain yang dapat menunjukkan kualitas karbon aktif adalah dengan uji daya adsorpsi karbon aktif terhadap larutan iod. Penelitian Anggriana mengatakan bahwa semakin besar angka daya serap iod maka semakin besar pula kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap adsorbat yang artinya memiliki luas permukaan yang besar^[20]. Penentuan daya serap metilen biru bertujuan untuk menggambarkan kemampuan adsorpsi adsorben terhadap adsorbat yang berukuran besar.

Berdasarkan Tabel 1, kadar air, kadar abu dan serapan MB pada karbon aktif tempurung kelapa memenuhi SNI No. 06-3730-1995 dan serapan iodin pada karbon aktif tempurung kelapa tidak memenuhi SNI No. 06-3730-1995. Semakin tinggi daya serap metilen biru maka semakin besar dan semakin bagus luas permukaannya. Sehingga daya serap metilen biru yang terbaik adalah KA 4%. Karbon aktif memiliki ukuran pori yang besar karena hasil dari pengujian serapan metilen biru telah memenuhi SNI (06-3730-1995) sehingga efektif digunakan untuk menyerap molekul yang lebih besar^[21].

Adsorpsi Ion Pb(II) oleh Karbon dan Karbon Aktif

Pada penelitian ini larutan ion Pb(II) dibuat dengan pH 5. Hal ini berdasarkan diagram pourbaix, dimana keberadaan ion Pb(II) berkisar pada rentang $0 < \text{pH} < 9,5$. Namun, pada rentang kisaran $0 < \text{pH} < 4$, ada juga keberadaan ion Pb(IV) (pada kondisi potensial sel besar). Oleh karena itu pada proses adsorpsi ion Pb(II) dapat dilakukan pada kisaran $4 < \text{pH} < 9,5$. Tangio juga telah melaporkan bahawa adsorpsi Pb(II) optimum pada pH 5^[22]. Larutan ion Pb(II) pH 5 dicampurkan dengan adsorben (karbon dan karbon aktif) yang telah ditimbang. Efektivitas adsorpsi Pb (II) oleh karbon dan KA dapat dilihat seperti Gambar 1.



Gambar 2 Efektivitas Adsorpsi ion Pb(II) oleh Karbon dan Karbon Aktif

Efektivitas Adsorpsi ion Pb(II) pada konsentrasi 5 ppm oleh karbon, karbon aktif 4% paling tinggi dibandingkan adsorpsi pada konsentrasi yang lain. Efektifitas adsorpsi Pb (II) tertinggi oleh KA 4% sebesar yaitu 99,01%. Selanjutnya ditentukan kapasitas adsorpsi menggunakan persamaan Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (DR), Harkins Jura dan Temkin. Setiap sampel yang diuji mendapatkan hasil yang berbeda-beda. Hasil isoterm adsorpsi karbon dan karbon aktif seperti Tabel 2.

Tabel 5 Model isoterm adsorpsi yang dipilih

Sampel	Model Isoterm yang Dipilih	Persamaan Garis	R ²	Konstanta-konstanta terkait persamaan
Karbon	Langmuir	$Q_e = a_m - \frac{Q_e}{K C_e}$	0,8831	$a_m = 0,11 \text{ mg/g}$ $K = 1,5044 \text{ L/g}$
KA 0%	Jovanovich	$\ln Q_e = \ln Q_{max} - K_f C_e$	0,2596	$Q_{max} = 1,026 \text{ (mg/g)}$ $K_j = 14,629 \text{ L/g}$
KA 4%	Langmuir	$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{a_m K C_e} + \frac{1}{a_m}$	0,906	$a_m = 1,0735 \text{ mg/g}$ $K = 4,9468 \text{ L/g}$
KA 8%	Jovanovich	$\ln Q_e = \ln Q_{max} - K_f C_e$	0,0213	$Q_{max} = 1,5536 \text{ (mg/g)}$ $K_j = 1,3016 \text{ L/g}$

Model adsorpsi Langmuir Pb (II) oleh K dan KA 4% memiliki nilai R² berturut-turut sebesar 0,8831 dan 0,906. Adsorpsi pb (II) oleh adsorben karbon dan karbon aktif cenderung mengikuti model adsorpsi Langmuir. Isoterm Langmuir menunjukkan proses adsorpsi karena pembentukan lapisan tunggal adsorbat pada permukaan adsorben [23]. KA yang diaktivasi dengan 4% natrium bikarbonat memiliki nilai R² yang paling mendekati 1 dan lebih mendekati model isoterm Langmuir dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 1,0735 mg/g, sedangkan karbon 0,11 mg/g. Dengan demikian aktivasi karbon dengan natrium bikarbonat dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap Pb(II) hampir 10 kali lipat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah disusun, diperoleh simpulan bahwa:

1. Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kadar air, kadar abu dan metilen blue karbon aktif memenuhi SNI 06-3730-1995 dengan kadar air masing-masing konsentrasi 0% (11,6) , 4% (12,19) dan 8% (12,63), kadar abu yaitu 0% (4,73), 4% (2,63) dan 8% (3,59), untuk metilen blue yaitu 0% (312,1780), 4% (437,0746) dan 8%(411,2897).
2. Berdasarkan isoterm adsorpsi yang dihitung dapat disimpulkan bahwa karbon dan karbon aktif 4% mengikuti isoterm Langmuir dengan konstanta masing-masing yaitu karbon (K=1,5044 L/g dan a_m= 0,11 mg/g) dan karbon aktif 4% (K= 4,9468 L/g dan a_m= 1,0735 mg/g).

Daftar Pustaka

- [1] Gusnita D. (2012). Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Di Udara Dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13(3).
- [2] Manahan S.E. (1990). *Environment Chemistry*, Edisi 4, Jewis Publisher, Michigan, p, 17-18
- [3] Lestari.R.S., Denni K.S., Afriyanti R. dan Bening D. (2016). Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dengan Aktivator Asam Fosfat Serta Aplikasinya Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Teknika*, 12(3)
- [4] Umbara H., Heny S. (2006). Faktor Bioakumu lasi ²¹⁰Pb Oleh Kerang Darah (*Anadara granosa*). *Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR*, hal 62-70
- [5] Badan Pusat Statistik. (2020). *Pertanian Tanaman Sayuran Dan Buah-Buahan Kalimantan Barat*, Pontianak.

- [6] Blais J.F., Dufresne B., dan Mercier G.(2000). State of the Art Of Technologies For Metal Removal from Industrial Effluents. *Rev. Sci,Eau*, 12(4): 687-711.
- [7] Prasetyo A., Ahmad Y., Rini N.A. (2011). Adsorpsi Metilen Blue Pada Karbon Aktif Dari Ban Bekas Dengan Variasi Konsentrasi Nacl Pada Suhu Pengaktifan 600°C Dan 650°C. *Jurnal Neutrino*, 4(1).
- [8] Pambayun. G.S., Remigius Y.E. Yulianto M.R, Endah M.M.P. (2013). Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator ZnCl₂ Dan Na₂CO₃ Sebagai Adsorben Untuk mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 2(1)
- [9] Yuliusman, (2016). Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Melalui Aktifasi Kimia Dengan Koh Dan Fisika Dengan CO₂. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soeardjo Brotohardjono Xii*
- [10] SNI. (1995). Arang Aktif Teknis, Standar Nasional Indonesia. SNI 06-3730-1995. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [11] Hajar, Erna W. I., Reny S., Novi M dan Fransiska J.W. (2016). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ dan Cd²⁺ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1). Hal 1-8.
- [12] Budi E., Nasbey H., Budi S. dan Handoko E. (2012). Kajian Pembentukan Karbon Aktif Berbahan Arang Tempurung Kelapa, *Seminar Nasional Fisika*, Jakarta.
- [13] Sianipar L.D., Zaharah T.A dan Syahbanu I. (2016). Adsorpsi Fe (II) Dengan Arang Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao*. L) Teraktivasi Asam Klorida. *JKK*. 5(2), Hal 50-59
- [14] Sembiring M.T. dan Tuti S.S. (2003). Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). *Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik* , Universitas Sumatera Utara
- [15] Winarno F.G. (2004). Keamanan Pangan. M.BRIO proses Bogor.
- [16] Nasution A.R. (2018). Pengaruh Penambahan Natrium Bikarbonat (NaHCO₃) dan Asam Sitrat Terhadap Mutu Minuman Sari Buah Kedondong Berkarbonasi.
- [17] Arif N., Edwin P., Diah R.G., dan Intan L. (2021). Pengaruh konsentrasi Aktivator Terhadap Kualitas Karbon Aktif dari Batubara Lignit. *Jurnal Daur Lingkungan*, 4(2), 44-53
- [18] Arisna R. (2016). Adsorpsi Besi Dan Bahan Organik Pada Air Gambut Oleh Karbon Aktif Kulit Durian. *Skripsi* , Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam , Pontianak.
- [19] Siregar R.D., Titin A.Z dan Nelly W. (2015). penurunan kadar COD (*chemical oxygen demand*) limbah cair industri kelapa sawit menggunakan arang aktif biji kapuk (*celba petandra*); *JKK*, 4(2) 62-66
- [20] Angriana F. (2018) Modifikasi Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq.*) Dengan Teknik Pelapisan Magnetit Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. *Skripsi*, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Bandar Lampung
- [21] Anita I. dan Adhityawarman. (2015). Kapasitas Adsorpsi Maksimum Ion Pb(II) oleh Arang Aktif Ampas Kopi Teraktivasi HCl dan H₃PO₄, *JKK*, 4(2):50- 61.
- [23] Benjedim S., Luis A.R.O., Hesham H., Ester B.C., Vaclav S., Francisco C.M., and Agustin, F.P.C. (2021). Synthesis of magnetic adsorbents carbon hingly efficient and stable for use in the removal of Pb(II) and Cd(II) in aqueous solution. *Materials*, 14 (6134):1-16.