

Sintesis Karbon Aktif Magnetik dari Tempurung Kelapa menggunakan Aktivator Soda Kue dengan Variasi Perbandingan Massa Karbon Aktif dan Oksida Besi

Elma Suryani, Lia Destiarti, Nurlina*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura, Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak 78124, Indonesia

*Penulis korespondensi: nurlina@chemistry.untan.ac.idDOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v12.n1.42382>

Abstrak: Tempurung kelapa mengandung lignin, selulosa, dan hemiselulosa, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik karbon aktif (KA) dan karbon aktif magnetik (KAM) yang dibuat dengan variasi massa karbon aktif : oksida besi (KA:OB) 1:1, 2:1 dan 3:2 serta uji kinerjanya dalam mengadsorpsi ion Pb(II). Tahapan penelitian dimulai dari pirolisis tempurung kelapa ($t=2$ jam, $T=230^{\circ}\text{C}$) hingga menjadi karbon selanjutnya diaktivasi dengan larutan natrium bikarbonat (soda kue) 4% dengan perendaman 24 jam menghasilkan KA. Karbon aktif disintesis menjadi KAM dengan metode *kopresipitasi refluks* pada suhu 70°C dengan mencampurkan larutan besi FeCl_3 dan FeSO_4 (rasio molar 2:1), dengan penambahan larutan NaOH 5M. Material KAM dikarakterisasi menggunakan FTIR, kemudian diuji kemampuan adsorpsinya terhadap ion Pb(II). Hasil uji kadar air, kadar abu, serapan iodin dan *methylene blue* KA berturut-turut sebesar 10,85%; 6,48%, dan 676,7916 mg/g, memenuhi SNI No. 06-3730-1995. Analisis FTIR KAM menunjukkan puncak khas Fe-O pada bilangan gelombang $546,54\text{ cm}^{-1}$ (KAM 1:1), $406,38\text{ cm}^{-1}$ (KAM 2:1) dan $406,78\text{ cm}^{-1}$ (KAM 3:2). Adsorpsi ion Pb(II) oleh KAM 2:1 memberikan efektivitas adsorpsi 98,444 % mengikuti model isoterm Jovanovich.

Kata kunci: adsorpsi karbon aktif magnetik, tempurung kelapa, pirolisis

Abstract: Coconut shell contains lignin, cellulose, and hemicellulose, which can be used as materials for carbon production. This study aims to determine the characteristics of activated carbon (KA) and magnetic activated carbon (KAM) made with variations in mass of activated carbon: iron oxide (KA:OB) 1:1, 2:1 and 3:2 and to test their performance in adsorbing ions Pb(II). Coconut shell was pyrolyzed for 2 hours to a temperature of 230°C to carbon, then activated with 4% sodium bicarbonate (baking soda) solution by immersion for 24 hours to produce KA. Activated carbon was synthesized into KAM by reflux coprecipitation method at 70°C by mixing FeCl_3 and FeSO_4 solutions (molar ratio 2:1), with the addition of 5M NaOH solution. The KAM material was characterized using FTIR, then tested for its adsorption ability to Pb(II) ions. The results of the test for water content, ash content, iodine uptake and methylene blue KA were 10.85%, respectively; 6.48%, and 676.7916 mg/g, complied with SNI No. 06-3730-1995. FTIR KAM analysis showed typical Fe-O peaks at wave numbers 546.54 cm^{-1} (KAM 1:1), 406.38 cm^{-1} (KAM 2:1) and 406.78 cm^{-1} (KAM 3:2). The adsorption of Pb(II) ions by KAM 2:1 gave an adsorption effectiveness of 98.444% follow Jovanovich isotherms models.

Keywords: adsorption, magnetic activated carbon, coconut shell, pyrolysis**PENDAHULUAN**

Kelapa merupakan tumbuhan yang ketersediaanya melimpah dengan jumlah produksi 84,80 ton kelapa pertahunnya. Pemanfaatan tempurung kelapa yang masih kurang menyebabkan tempurung kelapa menjadi salah satu limbah yang mudah didapatkan dan dijumpai. Tempurung kelapa yang tersedia melimpah dapat digunakan menjadi bahan alternatif pembuatan karbon aktif sebagai adsorben yang memberikan nilai ekonomi lebih (BPS Kalbar 2020). Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia berupa lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang merupakan prekursor dalam pembuatan karbon aktif.

Karbon pada penelitian ini dilakukan aktivasi menggunakan NaHCO_3 atau yang umum dikenal dengan soda kue yang merupakan bahan ramah lingkungan. Aktivator NaHCO_3 yang dilarutkan di dalam air akan mengalami ionisasi yang diikuti hidrolisis ion bikarbonat yang menyebabkan larutan menjadi bersifat basa. Pengaktifan karbon dapat menggunakan beberapa reagen pengaktif seperti larutan HCl (Sianipar dkk. 2016), NaOH (Setiawati & Suroto 2010), H_3PO_4 (Sahara dkk. 2017) dan KOH (Esterlita & Herlina 2015). Penggunaan aktivator ini dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif.

Modifikasi karbon aktif (KA) menjadi karbon aktif magnetik (KAM) dengan menggabungkan bahan yang bersifat magnet akan menghasilkan komposit yang memiliki daya adsorpsi lebih besar dan dapat merespon medan magnet luar (Fisli dkk. 2012). Karbon aktif magnetik pada penelitian ini akan diaplikasikan untuk mengadsorpsi ion Pb(II) yang merupakan logam berat dan tergolong ke dalam bahan pencemar yang berbahaya. Sumber utama Pb yang masuk ke lingkungan berasal dari limbah industri seperti industri baterai dan industri bahan bakar (Sudarmadji dkk. 2006). Selain itu Pb(II) dapat dihasilkan dari emisi mobil (Mahmoud *et al.* 2010), gas buang kendaraan bermotor dan asap cerobong industri yang akan merusak lingkungan dan membahayakan kesehatan (Gusnita 2012). Berdasarkan PERMENKES No 32 Tahun 2017 tentang parameter kimia dalam standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media air dalam keperluan hygiene sanitasi nilai ambang batas maksimum yang dibolehkan untuk logam Pb sebesar 0.05 mg/L. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai kemampuan daya serap menggunakan adsorben berupa karbon aktif magnetik terhadap ion Pb(II).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah tempurung kelapa yang diperoleh dari Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, asam nitrat (HNO_3), asam sulfat (H_2SO_4), Besi (III) klorida anhidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) p.a Merck, Besi Sulfat (FeSO_4) p.a Merck, indikator amilum, kalium iodida (KI), Kalium iodat (KIO_3), *methylene blue*, natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), natrium hidroksida (NaOH) p.a Merck, soda kue (NaHCO_3) Cap Onta, dan timbal (II) nitrat (PbNO_3)₂ p.a Merck.

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah ayakan, batang pengaduk, botol semprot, beaker, cawan porselin, erlenmyer, *hotplate*, mortar, neraca analitik (*Mettler Toledo*), oven (*Memmert*), pemanas elektrik, pengaduk magnetik, tanur (*Thermolyne*), sentrifuse, spatula, Spektrofotometer Uv-Vis (*Shimadzu single beam*), Spektrofotometer Serapan Atom (*Shimadzu AA6800*).

Preparasi dan Aktivasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Sebanyak ± 25 kg tempurung kelapa dibersihkan dari kotoran terlebih dahulu, kemudian dikeringkan dan dicacah menjadi ukuran lebih kecil. Selanjutnya tempurung kelapa dijemur di bawah sinar matahari hingga kering.

Tahap karbonisasi tempurung kelapa dilakukan dengan memanaskan tempurung kelapa kering di dalam tungku pirolisis selama 2 jam hingga suhu 230

°C menghasilkan karbon. Karbon yang terbentuk dihaluskan menggunakan kurs, lalu diayak menggunakan ayakan 200 mesh.

Berdasarkan Ismadi (2009) hasil karbonisasi berupa serbuk karbon sebanyak 10 gram direndam dalam larutan soda kue 4 % dengan waktu aktivasi selama 24 jam. Setelah itu, dicuci menggunakan HNO_3 0,1 M yang dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades hingga pH 7. Sampel dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 105-110°C selama 24 jam. Serbuk karbon aktif yang diperoleh siap digunakan untuk perlakuan selanjutnya.

Karakterisasi Karbon Aktif (SNI 06-3730-1995)

Karakterisasi karbon aktif diuji dengan kadar air, kadar abu, serapan metilen biru dan serapan iodin.

Pembuatan dan Karakterisasi KAM

Metode pembuatan adsorben KAM merujuk pada Fisli dkk. (2012) dimana suspensi karbon aktif diaduk dengan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan pada suhu 70°C. Larutan campuran $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan rasio mol 2:1, kemudian dimasukkan ke dalam larutan karbon aktif yang sedang diaduk dan dipanaskan.

Sintesis KAM dibuat dengan perbandingan massa karbon aktif dan oksida besi, KA: OB (1:1), (2:1) dan (3:2) yang kemudian masing-masing ditambahkan 100 mL NaOH 5M secara perlahan hingga terbentuk komposit antara endapan Fe dengan karbon aktif. Partikel komposit dipisahkan dari larutan air menggunakan batangan magnet. Endapan dicuci dengan air bebas mineral kemudian dikeringkan pada suhu 100°C hingga 3 jam. KAM yang diperoleh digerus untuk mendapat serbuk yang halus.

KAM dikarakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy* (FTIR). Sampel dipindai di kisaran 4000– 400 cm^{-1} . Dalam analisis ini, karakterisasi dengan FTIR dilakukan di laboratorium kimia Universitas Islam Indonesia dan Universitas Padang.

Adsorpsi Ion Pb(II) oleh Karbon Aktif Magnetik

Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dibuat dalam 1000 ppm dengan menimbang 1,5989 gram padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ kemudian dilarutkan dengan 1000 ml akuades. Larutan induk diencerkan konsentrasinya menjadi 25, 20, 15, 10 dan 5 ppm. Sebanyak 25 ml larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan pH 5 diinteraksikan dengan Karbon, KA, KAM 1:1, KAM 2:1 dan KAM 3:2 sebanyak 0,5 gram. Tiap-tiap campuran dikocok menggunakan *shaker* selama 60 menit dengan kecepatan 120 rpm, kemudian campuran disaring menggunakan kertas saring biasa. Konsentrasi filtrat diukur menggunakan spektrofotometer AAS. Konsentrasi Pb(II) teradsorpsi dihitung menggunakan persamaan linear model isotherm. Nilai % Efektifitas penjerapan dapat dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$RE \% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \% \quad (1)$$

Dimana, C_0 adalah konsentrasi adsorbat pada keadaan awal, dan C_e adalah konsentrasi adsorbat pada keadaan setimbang (mg/L) (Rahmalia 2019)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi dan Aktivasi Karbon dari Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa yang digunakan pada penelitian ini adalah tempurung kelapa yang diperoleh dari Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya. Tempurung kelapa yang diperoleh dibersihkan untuk menghilangkan pengotornya, kemudian tempurung kelapa dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kering. Tempurung kelapa yang sudah kering kemudian dicacah agar ukurannya menjadi kecil dan dilakukan pirolisis dengan menggunakan tungku pirolisis selama 2 jam hingga suhu 230°C menjadi karbon.

Penentuan karakteristik karbon aktif pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Karakterisasi ini dilakukan berdasarkan standar SNI No 06-3730-1995 meliputi sifat fisik dan sifat kimia karbon aktif seperti kadar air, kadar abu, uji daya serap iod, dan *methylene blue*. Hasil dari penentuan kualitas karbon aktif tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 1.

Kadar air merupakan salah satu sifat yang menentukan kualitas dari karbon aktif. Kadar air diukur untuk mengetahui banyaknya air yang dapat diuapkan agar air yang terikat pada karbon tempurung kelapa tidak menutupi pori-porinya. Semakin rendah nilai kadar air suatu karbon aktif maka semakin banyak dalam pori yang akan ditempati adsorbat. Berdasarkan penelitian kadar air dari karbon aktif yang dihasilkan, memenuhi persyaratan menurut SNI No 06-3730-1995. Kadar air yang melebihi maksimal standar menyebabkan berkurangnya kemampuan untuk

menyerap adsorbat karena terhalangnya pori-pori karbon aktif oleh molekul air.

Selain kadar air, kadar abu juga merupakan salah satu sifat yang menentukan kualitas pada karbon. Penentuan kadar abu dilakukan untuk mengetahui kandungan oksida logam di dalam karbon aktif. Kadar abu pada penelitian ini, memenuhi SNI No 06-3730-1995. Karakter lain yang menentukan kualitas karbon aktif adalah daya serap karbon aktif terhadap larutan iod, Kereaktifan dari karbon aktif dilihat dari kemampuannya mengadsorpsi molekul yang seukuran dengan iodium. Kemampuan tersebut didasarkan dari besarnya angka iod yang dihasilkan. Iod berfungsi sebagai adsorbat yang akan diserap oleh karbon aktif. Berdasarkan penelitian yang dilakukan bilangan iodin yang dihasilkan karbon aktif tempurung kelapa belum memenuhi standar baku kualitas arang aktif berdasarkan SNI No 06-3730-1995.

Pada penentuan daya serap karbon aktif terhadap *methylene blue* untuk menunjukkan kemampuan penyerapan karbon aktif terhadap larutan berwarna dan menentukan luas permukaan karbon aktif (Prasetyo dkk. 2011). Komposit KAM 3:2 pada penelitian menghasilkan penyerapan yang paling baik terhadap *methylene blue* seperti yang dilihat pada Tabel 2.

Senyawa *Methylene blue* digunakan sebagai parameter untuk mengukur kemampuan dari karbon aktif dalam menyerap molekul yang memiliki berat lebih besar yang ukurannya berkisar 15-25 Angstrom atau 1,5-2,5 nm. Tinggi rendahnya daya serap karbon aktif terhadap *methylene blue* menunjukkan ukuran pori yang terbentuk (Imawati & Adhityawarman 2015).

Karakterisasi dan Pembuatan Karbon Aktif Magnetik

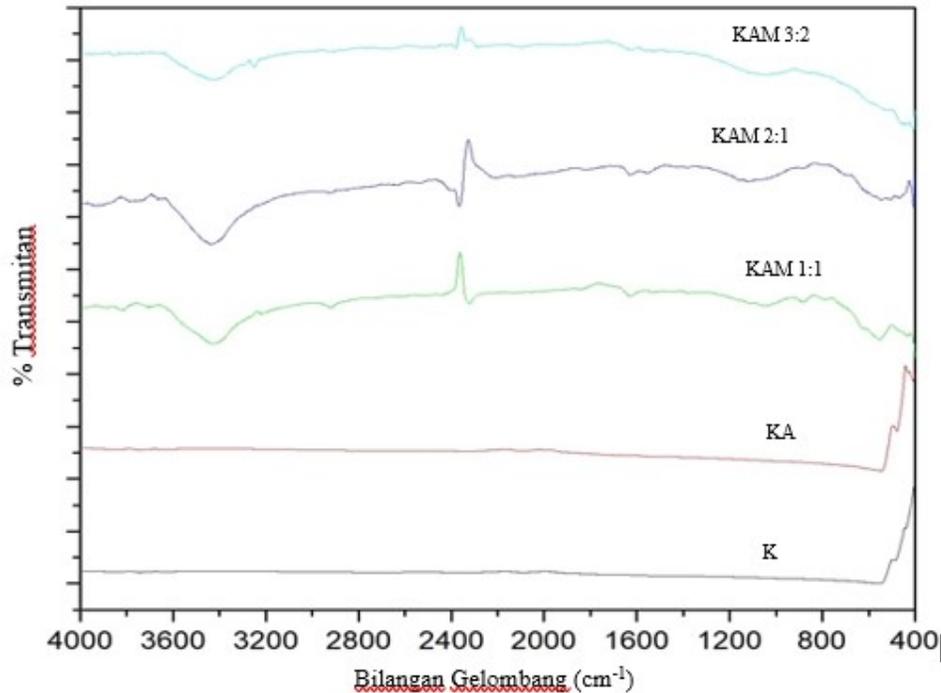
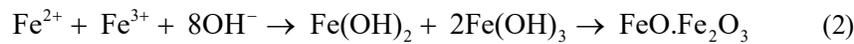
Proses pembuatan karbon aktif magnetik dilakukan dengan mencampurkan karbon aktif dan campuran Fe dengan variasi perbandingan massa 1:1, 2:1 dan 3:2. Campuran $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ terlebih dahulu dibuat dengan perbandingan rasio mol 2:1. Pada wadah lain, karbon aktif dilarutkan

Tabel 1. Hasil karakterisasi karbon aktif

Uraian	Hasil Penelitian	SNI No. 06-3730-1995
Kadar Air (%)	10,85	Maks. 15
Kadar Abu (%)	6,4866	Maks. 10
Serapan Iodin (mg/g)	320,2049	Min. 750

Tabel 2. Hasil karakterisasi methylene blue pada karbon, KA dan KAM

Uraian	Karbon Aktif	KAM 1:1	KAM 2:1	KAM 3:2	SNI no. 06-3730-1995
Serapan <i>methylene blue</i> (mg/g)	676,7916	701,6791	725,0755	735,7726	Min. 120



Gambar 1. Spektra FT-IR karbon, KA dan KAM

dengan 200 ml aquadest bebas mineral ke dalam karbon aktif yang sudah dilarutkan dengan aquadest sambil dipanaskan menggunakan *magnetik stirrer* pada suhu 70°C. Langkah ini dilakukan pada tiap-tiap perbandingan. Larutan campuran besi yang sebelumnya telah dibuat, dicampurkan kedalam suspensi karbon aktif. Adapun reaksi yang terjadi dapat dilihat dari persamaan (2) (Ariyani 2011).

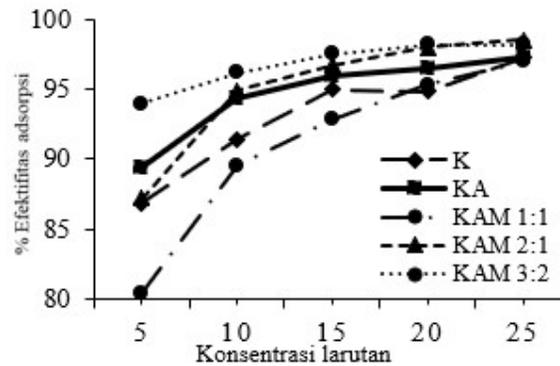
Campuran besi akan terjerap ke dalam karbon membentuk endapan hidroksida besi berupa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Pemanasan pada suhu 70°C menyebabkan endapan mengalami proses dehidrasi kemudian membentuk oksida besi yang terkomposit pada karbon aktif. Selanjutnya, larutan NaOH dengan konsentrasi 5M sebanyak 100ml ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan hingga terbentuk komposit antara endapan Fe dan KAM. Endapan komposit tersebut selanjutnya dipisahkan dari larutannya dengan menggunakan batang magnet. Endapan dicuci dengan air bebas mineral berulang-ulang hingga mencapai pH netral (pH 7). Komposit KAM selanjutnya dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometr FTIR, untuk mengetahui gugus fungsi dari bahan yang diamati sehingga dapat menduga sifat permukaan KAM.

Berdasarkan Gambar 1. spektrum FTIR dari karbon aktif magnetic mempunyai puncak pita serapan pada kisaran bilangan gelombang 3429 cm^{-1} untuk KAM (1:1), 3436,50 cm^{-1} dan untuk KAM (2:1) dan 3434,22 cm^{-1} untuk KAM (3:2) yang mana menunjukkan keberadaan gugus hidroksi dari

karboksilat, fenol atau alkohol dan air yang terdapat pada permukaan KAM yang mengalami vibrasi *stretching* (Wibowo dkk 2011). Besarnya gugus hidroksil menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang kuat. Diperkirakan terdapat gugus $\text{C}=\text{O}$ *stretching vibration* pada bilangan gelombang 1631 cm^{-1} untuk KAM (1:1) dan 1632,59 cm^{-1} untuk KAM (2:1). Berdasarkan penelitian Rahmadani & Kurniawati (2017) juga ditemukan gugus $\text{C}=\text{O}$ pada 1627,35 cm^{-1} dalam karbon aktif dari makhota nanas.

Berdasarkan taksiran, terlihat adanya perbedaan yang muncul pada daerah *fingerpint*. Serapan pada bilangan gelombang 555,39 cm^{-1} dan 546,54 cm^{-1} pada KAM (1:1) dan KAM (2:1) memperkuat dugaan bahwa sampel yang dianalisis pada penelitian ini memiliki kandungan oksida besi. Pita tersebut berasal dari vibrasi *stretching* pita serapan logam-oksigen atau ikatan antara Fe-O dalam kisi kristalin Fe_3O_4 . Hal ini tentu diharapkan adanya interaksi antara gugus hidroksi pada permukaan karbon aktif dengan oksida besi/ Fe_3O_4 . Merujuk pada Aripin (2008), pita-pita serapan pada bilangan gelombang 468 cm^{-1} menunjukkan ikatan Fe-O yang mengalami *stretching torsial*.

Penelitian Fisli dkk. (2018) menyebutkan adanya serapan pada bilangan gelombang kisaran 500-700 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi *stretching* dari Fe-O sehingga dapat dikatakan bahwa berhasil mengkompositkan Fe kedalam KAM. Puncak frekuensi di 500-700 cm^{-1} juga terdeteksi pada karbon dan KA namun dengan intensitas yang rendah



Gambar 2. Kurva efektifitas adsorpsi ion Pb(II) oleh K, KA, dan KAM

Tabel 3. Model isoterm adsorpsi pada karbon

Model Isoterm Adsorpsi	R ²	Konstanta-Konstanta Terkait Persamaan
Freundlich	0,1261	K = 0,8241
		n = 0,7707
Langmuir	0,0743	a _m = -0,5876 mg/g
		K = -0,5900 L/mg
	0,8832	a _m = 0,1653 mg/g
		K = -1,5044 L/mg
0,2238	a _m = -0,4727 mg/g	
	K = -0,6594 L/mg	
0,9988	a _m = 0,1352 mg/g	
	K = -2,8387 L/mg	
Dubinin-Radushkevich (DR)	0,1293	K = 1,6845 mg/g
		D = 2,0000 mol ² /KJ ²
Harkins Jura*	0,2559	B = 0,0044
Temkin	0,0441	A = 0,0182 mg/g
		b _T = 5587,6680 J/mol
Jovanovich	0,1261	Q _{max} = 0,1758 mg/g
		K _j = -1,5455 L/g

dan pita yang melebar menunjukkan adanya gugus fungsi C-C *stretching*. Penelitian Anyinka *et al.* (2017) menyatakan terdapat gugus fungsi C-Cm *stretching* pada bilangan gelombang 762-535 cm⁻¹ pada karbon aktif.

Adsorpsi Ion Pb(II) oleh Karbon, Karbon Aktif dan Karbon Aktif Magnetik

Sintesis KAM dari tempurung kelapa berhasil dibuat dan diaplikasikan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion Pb(II). Sebagai perbandingan juga dilakukan terhadap Karbon dan KA. Kurva efektifitas adsorpsi Ion Pb(II) terhadap karbon, KA dan KAM dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil pengamatan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion Pb(II) yang digunakan, maka akan semakin banyak ion Pb(II) yang teradsorpsi. Hal ini dibuktikan dari semakin tinggi nilai % efektifitas adsorpsi yang dihasilkan. Nilai % efektifitas tertinggi pada KAM 2:1 yaitu 98,444%. Hasil uji penyerapan dengan variasi massa adsorben terhadap ion Pb(II) menggambarkan bahwa efektifitas penyerapan menurun ketika jumlah massa karbon aktif ditingkatkan. Dalam kondisi tertentu, adsorben dan adsorbat dapat mengalami kondisi jenuh dimana tidak ada adsorbat yang dapat terserap lagi pada adsorben (Anyika *et al.* 2017).

Tabel 4. Model isoterm adsorpsi pada karbon aktif

Model Isoterm Adsorpsi	R ²	Konstanta-Konstanta Terkait Persamaan
Freundlich	0,9178	K = 8,3810
		n = 0,1869
Langmuir	0,7509	α_m = -0,1170 (mg/g)
		K = -0,0182 (L/mg)
	0,9905	α_m = -0,1283 (mg/g)
		K = -1,3194 (L/mg)
	0,8223	α_m = -0,1078 (mg/g)
		K = -1,3515 (L/mg)
Dubidin-Radushkevich (DR)	0,9535	K = 41,4505 mg/g D = 7,0000, mol^2/KJ^2
Harkins Jura	0,6662	B = 0,1682
		A = 0,0077 mg/g
Temkin*	0,9424	A_T = 2,0429 mL/mg b_T = 782,7289 J/mol
Jovanovich	0,8989	Q_{max} = 0,0029 mg/g
		K_j = -8,6337 L/g

Tabel 5. Model isoterm adsorpsi pada karbon aktif magnetik 1:1

Model Isoterm Adsorpsi	R ²	Konstanta-Konstanta Terkait Persamaan
Freundlich	0,2807	K = 0,5126
		n = -0,3623
Langmuir	0,1543	α_m = 0,1849 (mg/g)
		K = -1,7428 (L/mg)
	0,9575	α_m = 0,1426 (mg/g)
		K = -1,3952 (L/mg)
	0,128	α_m = 0,1580 (mg/g)
		K = -0,0001 (L/mg)
Dubidin-Radushkevich (DR)*	0,2975	K = 0,0907 mg/g D = 7,000 mol^2/KJ^2
Harkins Jura	0,0473	B = 0,2003
		A = -0,0264 mg/g
Temkin*	0,5177	A_T = 0,7544 mL/mg b_T = -1,177,83 J/mol
Jovanovich	0,264	Q_{max} = 10,0542 mg/g
		K_j = 2,9628 L/g

Setelah diketahui nilai efektifitas adsorpsi maka perlu dilakukan pendekatan isoterm adsorpsi untuk mengetahui mekanisme adsorpsi yang terbentuk. Model isoterm adsorpsi yang digunakan yaitu Freundlich, Langmuir, Jovanovich, Temkin, Harkins-Jura dan Dubinin-Radushkevich (D-R).

Untuk menggunakan model isoterm adsorpsi tersebut diperlukan data berupa variasi konsentrasi

awal adsorbat, massa adsorbat, volume dan konsentrasi akhir. Salah satu parameter penting dalam menentukan model isoterm adsorpsi adalah dilihat dari nilai koefisien determinan (R²) yang paling mendekati nilai satu.

Berdasarkan Tabel 3, model isoterm yang dipilih untuk mendeskripsikan proses adsorpsi ion Pb(II) pada adsorben karbon adalah model isoterm Harkins

Jura. Model isoterm Harkins Jura menjelaskan bahwa kemungkinan adsorpsi multilayer pada permukaan adsorben yang memiliki heterogenitas. Nilai A dan B pada model isoterm Harkins-Jura adalah konstanta

yang dapat diperoleh dengan memplotkan $1/Q_e^2$ vs $\log C_e$ (Ayawei *et al.* 2017).

Tabel 6. Model isoterm pada karbon aktif magnetik 2:1

Model Isoterm Adsorpsi	R ²	Konstanta-Konstanta Terkait Persamaan	
Freundlich	0,9482	K	= 0,0553
		n	= 0,3071
Langmuir	0,8994	α_m	= 0,0995 (mg/g)
		K	= 2,6471 (L/mg)
	0,9883	α_m	= 0,1421 (mg/g)
		K	= -2,8719(L/mg)
	0,1148	α_m	= -0,3435 (mg/g)
		K	= -0,4214(L/mg)
Dubinin-Radushkevich (DR)	0,0187	K	= 1,0852 mg/g
		D	= 3,0000 mol^2/KJ^2
Harkins Jura	0,7665	B	= -0,3913
		A	= -0,0116 mg/g
Temkin	0,9337	A_T	= 0,7009 mL/mg
		b_T	= -1,316,9467 J/mol
Jovanovich*	0,9628	Q_{max}	= 15,0052 mg/g
		K_j	= 6,5744 L/g

Tabel 7. Model Isoterm Adsorpsi pada karbon aktif magnetik 3:2

Model Isoterm Adsorpsi	R ²	Konstanta-Konstanta Terkait Persamaan	
Freundlich	0,3342	K	= 48,0286
		n	= 0,2410
Langmuir	0,3825	α_m	= -0,1225 (mg/g)
		K	= -2,3136 (L/mg)
	0,9914	α_m	= 0,0076 (mg/g)
		K	= -2,8368 (L/mg)
	0,1017	α_m	= -0,4395 (mg/g)
		K	= -0,3944 (L/mg)
Dubinin-Radushkevich (DR)	0,0142	K	= 1,0085 mg/g
		D	= 3,000 mol^2/KJ^2
Harkins Jura*	0,7036	B	= 0,4206
		A	= 0,0064 mg/g
Temkin	0,1431	A_T	= 4,4118 mL/mg
		b_T	= 1,520,9158 J/mol
Jovanovich	0,306	Q_{max}	= 0,0100 mg/g
		K_j	= -11,727 L/g

Tabel 8. Data Parameter Model Isoterm Adsorpsi

Sampel	Model isoterm	R ²	Konstanta
Karbon	Harkins-Jura	0,2559	B = 0,0044
			A = 0,0182 mg/g
Karbon aktif	Temkin	0,9424	A_T = 2,0429 mL/mg
			b_T = 782,7289 J/mol
KAM 1:1	Dubinin-Radushkevich	0,2975	K = 0,0907mg/g
			D = 7,000 mol ² /KJ ²
KAM 2:1*	Jovanovich	0,9628	Q_{max} = 15,0052 mg/g
			K_j = 6,5744 L/g
KAM 3:2	Harkins-Jura	0,7036	B = 0,4206
			A = 0,0064 mg/g

Selanjutnya, model isoterm adsorpsi untuk karbon aktif yang dipilih adalah model isoterm Temkin. Nilai konstanta A_T pada isoterm Temkin berkaitan dengan parameter sorpsi (J/mol) dan nilai b_T berkaitan dengan energi panas maksimum sorpsi (mL/mg).

Pada KAM 1:1 model isoterm yang dipilih mengikuti isoterm Dubinin-Radushkevich (DR). Meskipun pada model isoterm Langmuir ada diperoleh koefisien determinasi sebesar 0,9575, namun model ini menghasilkan koefisien K yang bernilai negatif, sehingga model ini dianggap belum cocok untuk menjelaskan proses adsorpsi yang terjadi. Model isoterm Dubinin-Radushkevich (DR) dapat digunakan untuk mengira struktur pori dan karakteristik dari adsorpsi (Jakfar 2020).

Model isoterm Harkins-Jura lebih cocok digunakan pada KAM 3:2. Model isoterm ini sama seperti isoterm yang dipilih pada karbon namun dengan nilai R² yang lebih mendekati satu dibanding pada adsorben karbon. Model isoterm Harkins Jura menjelaskan bahwa kemungkinan adsorpsi multilayer pada permukaan adsorben yang memiliki heterogenitas. Nilai A dan B pada model isotherm Harkins-Jura adalah konstanta yang dapat diperoleh dengan memplotkan $1/Q_e^2$ vs $\log C_e$ (Ayawei *et al.* 2017).

KAM yang disintesis dengan campuran larutan besi FeCl₃ dan FeSO₄ pada perbandingan 2:1 memberikan nilai koefisien determinasi (R²) yang paling baik dengan pendekatan adsorpsi model isoterm Jovanovich. Hal ini juga dibuktikan dari nilai % efektifitas adsorpsi pada KAM 2:1 adalah yang paling baik jika dibandingkan dengan karbon, KA, KAM 1:1 dan KAM 3:2. Nilai Q_{max} yang diperoleh sebesar 15,0052 mg/g yang mana menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum Jovanovich yang diperoleh dari plot $\ln Q_e$ terhadap C_e , sedangkan nilai K_j atau konstanta Jovanovich yang diperoleh sebesar 6,5744 L/g. Magnetisasi pada adsorben KAM dan penggunaan teknik pemisahan magnetik menjadi cara efektif terkait pemisahan dan penyaringan. Sehingga

dapat disimpulkan bahwa KAM dapat diaplikasikan sebagai adsorben yang dapat digunakan kembali.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai adsorben untuk ion Pb(II) maka diperoleh yaitu hasil karakterisasi kadar air, kadar abu, daya serap methylene blue KA memenuhi SNI No. 06-3730-1995, berturut-turut 10,85%; 6,48%, dan 676,7916 mg/g. Hasil karakterisasi dengan FTIR KAM menunjukkan munculnya serapan pada bilangan gelombang 555,39 cm⁻¹ dan 546,54 cm⁻¹ sebagai ciri dari Fe-O. KAM dengan perbandingan 2:1 memiliki penyerapan maksimal yang ditunjukkan dari hasil adsorpsi dengan nilai R² 0,9628. Nilai efektifitas adsorpsi mencapai 98,44%, nilai Q_{max} 15,0052 mg/g dan K_j sebesar 6,5744 L/g dengan pendekatan model isoterm Jovanovich.

DAFTAR PUSTAKA

- Anyika, C., Asri, N.A.M., Majid, Z.A., Yahya, A. & Jaafar, J. (2017). Synthesis and characterization of magnetic activated carbon developed from palm kernel shells. *Nanotechnology for Environmental Engineering*. **2(16)**:1-25
- Ariyani, A. (2011). Pembuatan komposit magnet oksida besi karbon aktif sebagai adsorben Cs dan Sr. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ayawei, N., Ebelegi, A.N. & Wankasi, D. (2017). Modelling and interpretation of adsorption isotherms. *Journal of Chemistry*. **2017**: 1-11.
- BPS (Badan Pusat Statistik). (2020). Pertanian tanaman sayuran dan buah-buahan Kalimantan Barat. Pontianak.
- 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.
- Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S. & Yusuf, S. (2012). Magnetic adsorbent of active carbon-

- Fe₃O₄ nanocomposite for thorium adsorption. *Indonesian Journal of Materials Science*. **13(3)**: 130490.
- Fisli, A., Safitri, R. D., Nurhasni, N. & Deswita, D. (2018). Analisis struktur dan porositas komposit Fe₃O₄-karbon aktif dari limbah kertas sebagai adsorben magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. **19(4)**: 179-187.
- Gusnita, D. (2012). Pencemaran logam berat timbal (Pb) di udara dan upaya penghapusan bensin bertimbal. *Berita Dirgantara*. **13(3)**: 95-101.
- Imawati, A. & Adhityawarman. (2015). Kapasitas adsorpsi maksimum ion Pb(II) oleh arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl dan H₃PO₄. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*. **4(2)**: 50-61.
- Ismadi, M. (2009). Pembuatan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit teraktivasi soda kue. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- Jakfar. (2020). Adsorpsi ion logam berat Pb²⁺, Cu²⁺, dan Cd²⁺ menggunakan bentonit aceh modifikasi polikation Al dari AlCl₃ sebagai agen pemilar. Skripsi. Fakultas. Universitas Darussalam Aceh. Banda Aceh.
- Mahmoud, M.E., Osman, M.M., Hafez, O.F., Hegazi, A.H. & Elmelegy, E. (2010). Removal and preconcentration of lead (II) and other heavy metals from water by alumina adsorbents developed by surface-adsorbed-dithizone. *Desalination*. **251(1-3)**: 123-130.
- Prasetyo, A.D. & Abduh, M. (2021). Peningkatan keaktifan belajar siswa melalui model discovery learning di sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*. **5(4)**: 1717-1724.
- Rahmadani, N. & Kurniawati, P. (2017). Sintesis dan karakterisasi karbon teraktivasi asam dan basa berbasis mahkota nanas. *In Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya*. Malang. 5 November 2017. pp. 154-161.
- Rahmalia, S. (2019). Efisiensi adsorpsi beberapa zat warna sintetis golongan azo menggunakan hidroksiapatit. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Riau. Riau.
- Sahara, E., Dahliani, N.K. & Manuaba, I.B.P. (2017). Pembuatan dan karakterisasi arang aktif dari batang tanaman gumitir (*Tagetes erecta*) dengan aktivator NaOH. *Jurnal Kimia*. **11(2)**: 174-180.
- Setiawati, E. & Suroto, S. (2010). Pengaruh bahan aktivator pada pembuatan karbon aktif tempurung kelapa. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. **2(1)**: 21-26.
- Sianipar, L.D., Zaharah, T.A. & Syahbanu, I. (2016). Adsorpsi Fe (II) dengan arang kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.) teraktivasi asam klorida. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. **5(2)**: 50-59
- SNI (Standar Nasional Indonesia). (1995). Arang aktif teknis standar nasional indonesia 06-3730-1995. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Wibowo, S., Syafi, W. & Pari, G.P. (2011). Karakterisasi permukaan arang aktif tempurung biji nyamplung. *Makara Journal of Technology*. **15(1)**: 150718.