**Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 7 (2), 2022, page 141 - 158**

**Tersedia *online* di https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana**

**ISSN 2503-2682 (*Online*)**
**ISSN 2503-3654 (Cetak)**

# Pemanfaatan Karbon Aktif dari Batang Daun Buah Naga Teraktivasi Asam Kuat Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb)

## (*Utilization of Activated Carbon Derived from Dragon Fruit Foliage Using Strong Acid Activator as a Lead (Pb) Metal Adsorbent*)

**Rosita Dwi Chrisnandari [1*], Wianthi Septia Witasari [2], Anugrah Windy Mustikarini [3]**
[1, 2, 3] Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Jatimulyo, Malang

## ARTICLE INFO

**Article history**
Received : 04 July 2022
Revised : 18 August 2022
Accepted : 12 September 2022

**DOI :**
doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.3856

**Keywords :**
*activated carbon; adsorbtion; dragon fruit foliage; lead metal,*

***e-mail corresponding author :**
**rositadwi86@yahoo.com**

## ABSTRAK

Limbah cair dari aktivitas industri sebagian besar mengandung logam berat timbal (Pb). Logam (Pb) dapat diturunkan kadarnya menggunakan karbon aktif. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung lignin dan selulosa, salah satunya batang daun buah naga. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan pengaruh penambahan aktivator HCl dan $H_3PO4$ terhadap karakteristik karbon aktif serta pengaruh variasi konsentrasi aktivator terhadap penurunan kadar logam (Pb). Metode karbonisasi digunakan untuk pembuatan karbon aktif, sedangkan metode *batch* digunakan untuk proses adsorpsi logam (Pb). Aktivator HCl dan $H_3PO4$ yang digunakan sebesar 2, 3 dan 4 M. Kadar air terbaik sebesar 4,76% diperoleh pada karbon yang teraktivasi HCl 3 M. Daya serap iod terbaik sebesar 990,05 mg/g diperoleh pada karbon teraktivasi HCl 2 M. Kadar logam (Pb) dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dengan efisiensi penurunan terbaik sebesar 55,6% pada karbon aktif teraktivasi HCl 2 M. Efisiensi penurunan kadar logam (Pb) pada karbon teraktivasi $H_3PO4$ dan tanpa aktivasi berturut-turut sebesar 22,2% dan 44,4%. Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan bahwa karbon yang teraktivasi HCl 2 M memiliki rongga yang lebih besar dibandingkan dengan yang teraktivasi $H_3PO4$ dan tanpa aktivasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa daun buah naga berpotensi digunakan sebagai adsorben logam (Pb) yang murah dan cukup efisien.

## PENERBIT

**UNITRI PRESS**
Jl. Telagawarna, Tlogomas-Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500

This is an open access article under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License**. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC–BY-SA

## *ABSTRACT*

*The majority of industrial liquid waste contains heavy metal lead (Pb). Lead (Pb) levels can be lowered by employing activated carbon as an adsorbent. Lignin and cellulose found in dragon fruit stem can be employed as activated carbon for heavy metal adsorption. This research aimed to examine the addition of HCl and H3PO4 as activators to the properties of carbon and determine variations in activator concentration that affected the reduction of lead (Pb) levels. The carbonization method was applied to produce carbon. The batch method was implemented to adsorb lead (Pb) on the sample. The utilized concentrations of HCl and H3PO4 to activate carbon were 2, 3, and 4 M. The best water content of activated carbon was obtained by adding 3 M HCl, which accounted for 4.76%. The best iodine absorption, measured for 990,05 mg/g, was procured on HCl 2 M activated carbon. Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) was applied to quantify the lead reduction (Pb) levels, with the best reduction efficiency accounting for 55.6% produced by carbon activated 2M HCl. Furthermore, H3PO4-activated and unactivated carbon only reduced by about 22.2% and 44.4%, respectively. Scanning Electron Microscope (SEM) results revealed that carbon activated with 2 M HCl had a larger cavity than that activated by H3PO4 and without activation. According to the results obtained in this study, dragon fruit stem can be utilized as a low-cost and effective metal (Pb) adsorbent.*

**Cara Mengutip :** Chrisnandari, R. D., Witasari, W. S., Mustikarini, A. W. (2022). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Batang Daun Buah Naga Teraktivasi Asam Kuat Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik* Kimia, 7 (2), 141-158. doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.3856

## 1. PENDAHULUAN

Kegiatan industri dalam beberapa dekade terakhir telah mengalami peningkatan pembangunan yang berdampak positif yakni memajukan sektor perekonomian negara. Di sisi lain, dampak negatif yang ditimbulkan adalah munculnya limbah industri yang berpotensi mencemari lingkungan. Pencemaran tersebut dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup yang berada di sekitarnya [1]. Logam berat termasuk ke dalam limbah industri yang dikategorikan beracun dan bersifat stabil sehingga tidak dapat diuraikan secara biologis [2]. Salah satu jenis logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi adalah timbal atau (Pb). Logam timbal ini memiliki sifat tidak dapat diurai oleh organisme hidup dan mampu terakumulasi pada makhluk hidup [3]. Pada organisme air, kematian biota dapat terjadi sedangkan pada manusia berpotensi menimbulkan masalah kesehatan seperti penurunan intelegensi anak, perkembangan tubuh terhambat, hingga mengakibatkan tubuh paralisis [4].

Beberapa metode konvensional yang digunakan untuk mengeliminasi logam (Pb) dari fase air antara lain pertukaran ion, presipitasi, absorpsi biologis, filtrasi membran, elektrokimia, dan adsorpsi [3]. Di antara metode tersebut adsorpsi adalah metode yang memiliki keunggulan karena penggunaan material dengan banyak pori berfungsi sebagai penjerap dari bahan yang berbentuk cair maupun gas [5]. Metode ini banyak digunakan karena efektif dalam menghilangkan ion logam berat dan biayanya murah [6]. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain yaitu jenis adsorben, jenis zat yang diserap, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi dan suhu. Ningsih *et al* (2016) [7] mengaplikasikan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif berbahan dasar biomassa tongkol jagung untuk menghilangkan ion logam timbal dengan efisiensi sebesar 94 – 97%. Sementara penelitian dari Verayana *et al* (2018) menyebutkan bahwa efisiensi adsorpsi menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivator yang berbeda-beda sebesar 59,485% - 92,926% [8]. Pemanfaatan batang tanaman karira (*Capparis decidua*) sebagai karbon aktif telah dilakukan untuk mengadsorpsi logam (Pb) menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 719,42 mg/g [9]. Karbon aktif berbahan dasar biji tanaman *Opuntia ficus indica L.* yang dimanfaatkan untuk menghilangkan logam (Pb) menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 158,4 mg/g [10]. Biji buah plum [11] serta biji buah kurma [12] yang diubah menjadi karbon aktif mampu mengadsorb logam (Pb) hingga 178,1 mg/g dan 101,35 mg/g.

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang diperoleh dari proses karbonisasi dan kemampuan adsorpsinya ditingkatkan melalui proses aktivasi. Penguapan hidrogen, senyawa-senyawa volatil dan air pada permukaan bahan terjadi pada proses karbonisasi sehingga menyebabkan perubahan fisik pada permukaan [13]. Untuk meningkatkan luas permukaan pada karbon maka perlakuan khusus seperti aktivasi sangat diperlukan [14]. Proses aktivasi umumnya menggunakan aktivator asam seperti HCl dan $H_3PO_4$. Penggunaan asam kuat sebagai aktivator dikarenakan asam kuat tersebut bersifat sebagai agen penghidrasi yang mampu meningkatkan pengembangan pori pada permukaan karbon [15]. Beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap karbon aktif, diantaranya adalah ukuran partikel. Ukuran partikel yang semakin kecil menunjukkan luas permukaan partikel

yang semakin besar. Semakin luas permukaan adsorben, maka zat yang teradsorps akan semakin banyak. Besarnya luas permukaan adsorben mengakibatkan daya serapnya semakin tinggi [16]. Penelitian yang dilakukan oleh Imawati dan Adhitiyawarman (2015) [17] menggunakan $H_3PO_4$ sebagai aktivator menghasilkan karbon aktif yang memiliki kadar air, kadar abu dan daya serap iodium masing-masing sebesar 2.8058%, 3.6848%, dan 344.2158 mg/g. Sedangkan dari penggunaan aktivator HCl diperoleh kadar air, kadar abu, dan daya serap iodium masing-masing sebesar 4.2023%, 3.4803%, dan 302.1308 mg/g. Disebutkan penggunaan aktivator $H_3PO_4$ menghasilkan karbon aktif dengan daya adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan aktivator HCl maupun tanpa aktivasi [8].

Material yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar karbon aktif adalah limbah biomassa. Salah satu contoh biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah batang daun buah naga. Kandungan yang terdapat pada batang daun buah naga antara lain selulosa, lignin dan hemiselulosa yang cocok digunakan sebagai bahan baku karbon aktif [18]. Abidin *et al* (2014) [19] telah memanfaatkan batang daun buah naga sebagai adsorben untuk menurunkan kadar pewarna kationik *metilen blue* dengan efisiensi mencapai 80%. Namun, belum ada penelitian yang memanfaatkan batang daun buah naga sebagai adsorben karbon aktif untuk mengeliminasi logam berat khususnya logam (Pb).

Maka penelitian lebih lanjut dilakukan untuk membuat karbon aktif berbahan dasar batang daun buah naga yang diaktivasi menggunakan HCl dan $H_3PO_4$ sebagai adsorben untuk menurunkan kadar logam berat timbal. Karakteristik karbon aktif teraktivasi HCl dan $H_3PO_4$ diamati dari kadar air, kadar abu dan daya serap Iod. Sedangkan efisiensi adsorpsi dilihat berdasarkan persen penurunan kadar ion logam Pb.

## 2. METODE PENELITIAN

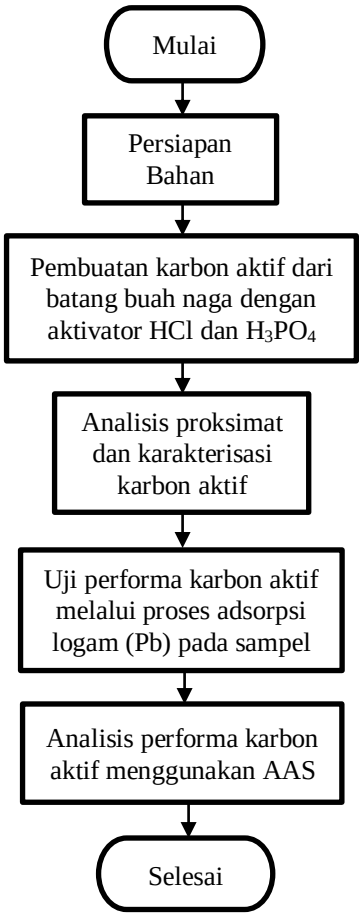
### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: *furnace*, desikator, mortar dan *sieve* 70 mesh, oven, cawan porselen, neraca digital, pH meter, buret, *stirrer*, statif, gelas ukur, pipet ukur, pipet tetes, erlenmeyer, spatula, kuvet, AAS (*Atomic Absorbtion Spectrometry)* Perkin Elmer 3100, dan SEM (*Scanning Electron Microscopy)* Merk FEI, Type: Inspect-S50.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: Batang daun buah naga, $Pb(NO_3)_2$ dengan kemurnian ≥ 99% (Sigma-Aldrich), aquadest, Kalium Iodida (KI), HCl, $H_3PO_4$, Iodin ($I_2$), $Na_2S_2O_3$, dan amilum.

### 2.2 Diagram Penelitian

Tahapan dan alur penelitian secara umum digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 1.




**Gambar 1. Diagram alir penelitian**

## 2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan batang daun buah naga sebagai bahan dasar karbon aktif. Untuk persiapan bahan dimulai dari pencucian daun buah naga untuk menghilangkan kotoran kemudian dipotong kecil-kecil ± 3 cm lalu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105 ˚C selama 24 jam. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 400˚C menggunakan *furnace* selama 1 jam kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Karbon yang terbentuk dikecilkan ukurannya dengan mortar lalu diayak dengan ayakan berukuran 70 mesh. Proses aktivasi karbon dilakukan dengan merendam 15 gram karbon selama 24 jam menggunakan 500 mL larutan $H_3PO_4$ dan HCl dengan variasi konsentrasi sebesar 2, 3, dan 4 M. Setelah itu karbon aktif dicuci hingga pH netral dengan aquades, lalu dioven pada suhu 110 ˚C untuk pengeringan. Setelah didinginkan dalam desikator, karbon aktif yang terbentuk dianalisis karakteristiknya untuk mengetahui kadar air, kadar abu serta daya serap Iod ($I_2$) yang mengacu pada SNI 06–3730-1995. Sedangkan Morfologi permukaan dari karbon aktif dianalisis menggunakan alat SEM (*Scanning Electrom Microscopy*).

a) Analisis kadar air

Lima gram karbon aktif ditambahkan pada cawan yang massanya telah diketahui. Lalu karbon aktif dioven pada suhu 100 ˚C selama 3 jam setelah itu didinginkan

menggunakan desikator. Timbang kembali bobot karbon aktif untuk menentukan kadar airnya [20].

$$Kadar\ air = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%$$

$W_0$ = Massa cawan kosong (g)
$W_1$ = Massa cawan kosong + karbon aktif (g)
$W_2$ = Massa cawan kosong + karbon aktif setelah dioven (g)

b) Analisis kadar abu

Cawan porselen dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven pada suhu 100 ˚C selama 15 menit kemudian dinginkan menggunakan desikator dan timbang massanya. 5 gr karbon aktif ditambahkan ke dalam cawan, kemudian dipijarkan dalam *furnace* dengan suhu 550 ˚C sampai memperoleh abu berwarna keputih-putihan dengan waktu 2-3 jam. Keluarkan cawan dari furnace dan dinginkan pada desikator. Kemudian timbang massanya sampai mendapat massa konstan.

$$Kadar\ abu\ total = \frac{W_3 - W_4}{W_2 - W_1} \times 100\%$$

$W_1$ = Massa cawan kosong (gr)
$W_2$ = Massa cawan kosong setelah dioven (gr)
$W_3$ = Massa cawan kosong + karbon aktif sebelum masuk *furnace* (gr)
$W_4$ = Massa cawan kosong + karbon aktif setelah *furnace* (gr)

c) Analisa daya serap Iod ($I_2$)

- Pembuatan larutan Iod ($I_2$) 0,1 N
  Iodine sebanyak 6,35 gram dan KI sebanyak 9 gram dilarutkan menggunakan aquades hingga larut sempurna. Tambahkan KI apabila Iodine masih belum larut. Masukkan larutan Iodine ke dalam labu takar 500 mL kemudian tambahkan aquades hingga tanda batas.
- Pembuatan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,1 N
  Natrium Thiosulfat sebanyak 24,8 dilarutkan menggunakan aquades. Setelah larut dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL kemudian ditambahkan aquades hingga tanda batas.
- Pembuatan larutan KI 20%
  Kalium Iodida sebanyak 20 gram, dilarutkan dengan aquades lalu masukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan tambahkan aquades hingga tanda batas.
- Daya serap Iod
  1 gram serbuk karbon aktif dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 10 mL 0,1 N larutan Iodin ($I_2$), lalu kocok perlahan-lahan dan simpan di tempat tertutup dan gelap kurang lebih 2 jam. Kemudian larutan tersebut disaring dan ditambahkan 5 mL larutan KI 20% serta 75 mL aquades lalu dikocok hingga homogen. Setelah itu dititrasi dengan larutan 0,1 N $Na_2S_2O_3$ dari warna kuning kecokelatan hingga kuning muda, lalu tambahkan indikator amilum 10 tetes, titrasi kembali hingga warna biru pekat hilang menjadi tidak berwarna. Larutan blanko disiapkan menggunakan cara yang sama namun tanpa penambahan adsorben digunakan sebagai perbandingan.

$$DSI = \frac{\left(A - \frac{B \times N}{n}\right) \times 126{,}93 \times fp}{a}$$

Keterangan:

DSI = Daya serap Iodin ($I_2$)
A = Volume larutan Iodin ($I_2$)
B = Volume $Na_2S_2O_3$ yang terpakai
fp = Faktor pengenceran
a = Massa karbon aktif
N = Konsentrasi $Na_2S_2O_3$
n = Konsentrasi Iodin ($I_2$)
126,93 = Jumlah Iodin ($I_2$)sesuai 1 mL larutan $Na_2S_2O_3$

d) Adsorpsi logam Timbal (Pb)

- Pembuatan Larutan Induk Pb 1000 ppm
  Menimbang 1,5985 gram $Pb(NO_3)_2$ kemudian dilarutkan menggunakan aquades. Selanjutnya masukkan ke dalam labu ukur 1000 ml dan encerkan hingga tanda batas. Kemudian kocok hingga larutan homogen.
- Pembuatan larutan kerja Pb 10 ppm
  Mengukur 10 ml larutan Pb 100 ppm kemudian encerkan dalam labu takar 100 ml menggunakan aquades hingga tanda batas.
- Proses Adsorpsi secara *batch*
  Karbon aktif sebanyak 1 gram ditambahkan ke dalam 100 ml sampel Larutan Pb 10 ppm kemudian distirrer selama 40 menit dengan kecepatan 100 rpm. Setelah selesai, saring sampel karbon aktif menggunakan kertas saring. Ukur kadar Pb sisa pada filtrat hasil penyaringan dengan menggunakan instrumen *Atomic Absorbtion Spectrometry* (AAS).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisis Kadar Air

Analisis kadar air berfungsi untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam karbon aktif setelah proses karbonisasi. Kadar air pada karbon aktif menunjukkan ukuran kemampuan aktivator sebagai zat pendehidrasi. Nilai kadar air karbon aktif ditunjukkan pada tabel 1 dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 2.

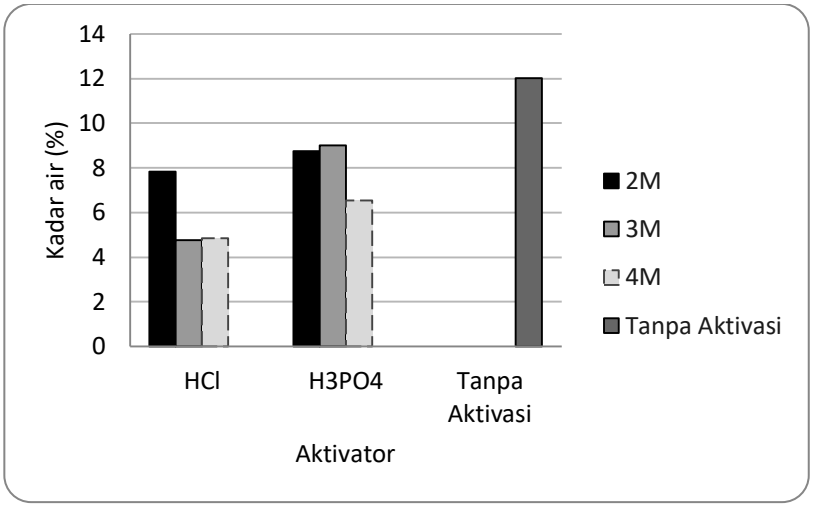
Grafik pada gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan variasi aktivator berpengaruh terhadap kadar air karbon aktif. Kadar air tertinggi sebesar 12,02 % diperoleh oleh karbon tanpa aktivasi sementara kadar air terendah sebesar 4,76 % diperoleh oleh karbon aktif dengan aktivator HCl 3M. Kadar air yang semakin rendah mengindikasikan adanya sedikit jumlah air yang tertinggal dan menghalangi pori karbon aktif [20]. Kadar air yang tinggi pada karbon tanpa aktivasi bisa terjadi karena sifat higroskopis yang dimilikinya sehingga memungkinkan terjadi penyerapan uap air dari udara saat proses pendinginan [21]. Kadar air yang tinggi dapat menurunkan kemampuan penyerapan karbon aktif terhadap gas atau cairan sehingga kualitas karbon aktif menjadi berkurang [22]. Hasil

ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Thompson *et al* [23] yang menunjukkan adanya penurunan kadar air pada karbon yang diaktivasi dengan asam.

Dari hasil kadar air rata-rata antara aktivator HCl dan $H_3PO_4$ menunjukkan bahwa penggunaan aktivator HCl lebih efektif dibandingkan aktivator $H_3PO_4$. HCl dapat membantu pengoptimalan penurunan kadar air pada karbon aktif dikarenakan sifatnya yang higroskopis sehingga mampu menarik molekul air yang terdapat dalam karbon aktif. Jenis aktivator akan memengaruhi kadar air suatu karbon aktif. Aktivator yang mampu mengikat molekul air dalam arang aktif dengan baik akan menghasilkan kadar air yang rendah [17].

**Tabel 1. Data Kadar Air Karbon Aktif**

| | HCl | | | $H_3PO_4$ | | | Tanpa Aktivasi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2M | 3M | 4M | 2M | 3M | 4M | |
| Berat cawan + karbon | 51,54 | 31,82 | 44,05 | 51,72 | 43,07 | 44,53 | 39,35 |
| Berat cawan + karbon setelah oven | 51,37 | 31,72 | 43,08 | 51,65 | 42,98 | 44,46 | 38,75 |
| Hasil (%) | 7,83 | 4,76 | 4,85 | 8,75 | 9 | 6,54 | 12,02 |




**Gambar 2. Grafik Hasil Kadar Air**

Hasil pengujian 7 sampel tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif dari daun buah naga telah memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995 dan masih berada di bawah standar maksimal untuk kadar air yaitu sebesar 15%.

### 3.2. Analisis Kadar Abu

Analisis kadar abu dilakukan untuk menentukan jumlah oksida logam yang terkandung didalam karbon aktif. Abu didefinisikan sebagai oksida-oksida logam yang terdapat pada karbon yang tersusun atas mineral yang tidak dapat menguap (*nonvolatile*) saat proses karbonisasi. Menurut Rahmawati dan Yuanita (2013) [24], menyebutkan bahwa kadar abu dari karbon aktif merupakan residu mineral seperti kalium, natrium,

magnesium dan kalsium yang terkandung pada karbon aktif dan tertinggal pada saat proses karbonisasi. Nilai kadar abu karbon aktif ditunjukkan pada tabel 2 dan disajikan dalam grafik pada gambar 3.

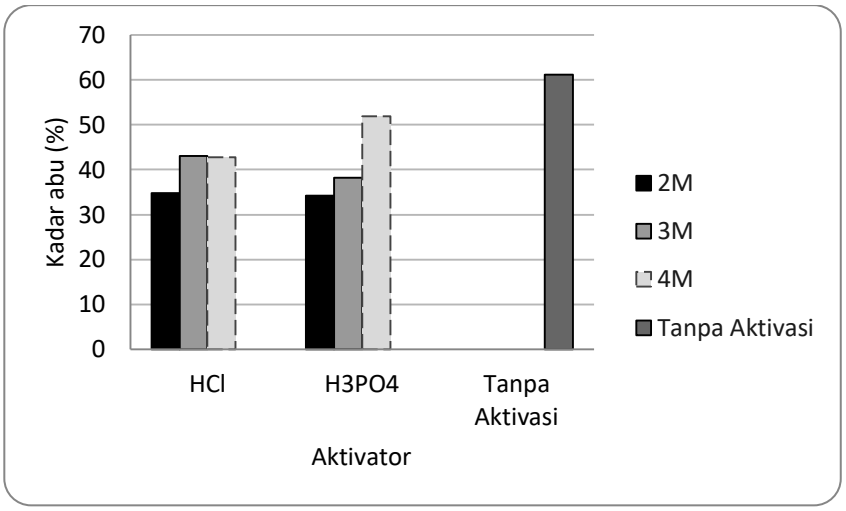
Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan variasi aktivator berpengaruh terhadap kadar abu karbon aktif. Kadar abu tertinggi sebesar 61% diperoleh oleh karbon aktif tanpa aktivasi sementara kadar abu terendah sebesar 34% diperoleh oleh karbon aktif dengan aktivator HCl 2M dan $H_3PO_4$ 2M. Kedua karbon aktif tersebut tidak memenuhi syarat mutu karbon aktif untuk kadar abu maksimal sebesar 10% (SNI 06-2720-1995). Hal ini menunjukkan bahwa mineral logam seperti kalsium, magnesium, kalium dapat mengisi dan menempati pori-pori karbon aktif dan menunjukkan adanya proses oksidasi lebih lanjut terutama pada partikel-partikel halus akibat dari suhu karbonisasi yang tinggi [25]. Karbon aktif adalah material yang mampu menyerap apa saja jika terjadi kontak dengannya baik di air maupun di udara. Bila diudara terbuka, karbon aktif akan menyerap debu halus yang terkandung di udara. Dan umumnya baru akan mengalami kejenuhan dalam waktu 60 jam hingga menjadi tidak aktif lagi [26]. Hasil analisis kadar abu ini tidak sesuai dengan penelitian Thompson *et al* [23] yang menyebutkan bahwa aktivasi karbon menggunakan asam akan meningkatkan nilai kadar abu.

Peningkatan pemakaian konsentrasi larutan aktivator asam dapat menyebabkan meningkatnya kadar abu. Hal ini dikarenakan pori-pori yang dihasilkan akan semakin banyak hingga permukaan karbon aktif akan semakin luas. Pada proses pembentukan pori terjadi pembakaran pada bidang permukaan karbon aktif yang menghasilkan abu, sehingga semakin banyak pori yang terbentuk maka semakin tinggi kadar abu yang dihasilkan [27]. Kualitas karbon aktif salah satunya dipengaruhi oleh kandungan abunya. Keberadaan abu yang berlebihan mengakibatkan terjadinya penyumbatan pori-pori karbon aktif, dan hal ini menyebabkan penurunan pada luas permukaan karbon aktif [28].

Kadar abu karbon aktif tanpa aktivasi lebih tinggi dibandingkan karbon aktif dengan aktivasi, hal ini kemungkinan disebabkan karena karbon dengan aktivator asam konsentrasi tinggi akan mengisi permukaan karbon dan melarutkan oksida-oksida logam yang terdapat pada permukaan karbon aktif sehingga residu logam yang ikut terabukan berjumlah lebih sedikit dibandingkan dengan karbon tanpa aktivasi.

**Tabel 2. Data Kadar Abu Karbon Aktif**

| | **HCl** | | | **$H_3PO_4$** | | | **Tanpa Aktivasi** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2M** | **3M** | **4M** | **2M** | **3M** | **4M** | |
| Berat cawan + karbon | 52,94 | 44,14 | 45,54 | 50,51 | 39,05 | 34,93 | 34,71 |
| Berat cawan + karbon setelah furnace | 51,66 | 43,02 | 44,40 | 49,90 | 38,47 | 34,49 | 32,79 |
| Kadar Abu (%) | 34,78 | 43,06 | 42,78 | 34,21 | 38,18 | 51,85 | 61,2 |




**Gambar 3. Grafik Hasil Kadar Abu**

### 3.3. Analisis Daya Serap Iod

Analisa daya serap iod mengindikasikan kemampuan karbon aktif untuk mengadsorp komponen dengan berat molekul rendah serta kemampuan karbon aktif dalam menyerap pengotor maupun zat warna dalam bentuk larutan. Karbon aktif dengan kemampuan penyerapan iodium tinggi berarti memiliki luas permukaan yang lebih besar dan juga memiliki struktur mikro dan pori yang lebih besar. Hal ini berkaitan dengan penyerapan adsorben terhadap zat yang diserap [29]. Angka iodin ($I_2$) didefinisikan sebagai jumlah milligram iodin ($I_2$) yang dapat diadsorpsi oleh satu gram karbon aktif. Larutan iodin ($I_2$) berperan sebagai adsorbat yang akan diserap oleh adsorben yaitu karbon aktif. Faktor yang mempengaruhi daya serap karbon aktif terhadap iodin ($I_2$) kemungkinan disebabkan karena residu senyawa hidrokarbon pada permukaan arang terbuang pada saat aktivasi, sehingga permukaannya menjadi aktif [30]. Nilai daya serap iod ($I_2$) ditunjukkan pada tabel 3 dan disajikan dalam grafik pada gambar 4.

Dari gambar 4 diatas dapat disimpulkan daya serap iod paling tinggi sebesar 990.05 mg/g dimiliki oleh karbon aktif dengan aktivator HCl 2M sedangkan daya serap iod yang paling rendah sebesar 342.71 mg/g dimiliki oleh karbon aktif dengan aktivator $H_3PO_4$ 4M. Luas permukaan karbon aktif memiliki hubungan dengan daya serap iodinnya. Luas permukaan yang besar menunjukkan banyaknya pori-pori yang terbentuk dan hal ini akan meningkatkan nilai daya serap iodinnya. Daya serap iodin menunjukkan kapabilitas karbon aktif dengan jumlah pori yang berdiameter 10-15 Å yang mampu menyerap iodin. Bila kemampuan penyerapannya tinggi mengindikasikan bahwa karbon aktif tersebut memiliki struktur mesopori dan mikropori yang banyak. Semakin banyak jumlah pori karbon aktif maka tumbukan yang terjadi antara molekul iodin dan karbon aktif juga makin meningkat, hal ini berarti jumlah molekul iodin yang diserap karbon aktif akan meningkat pula [31].

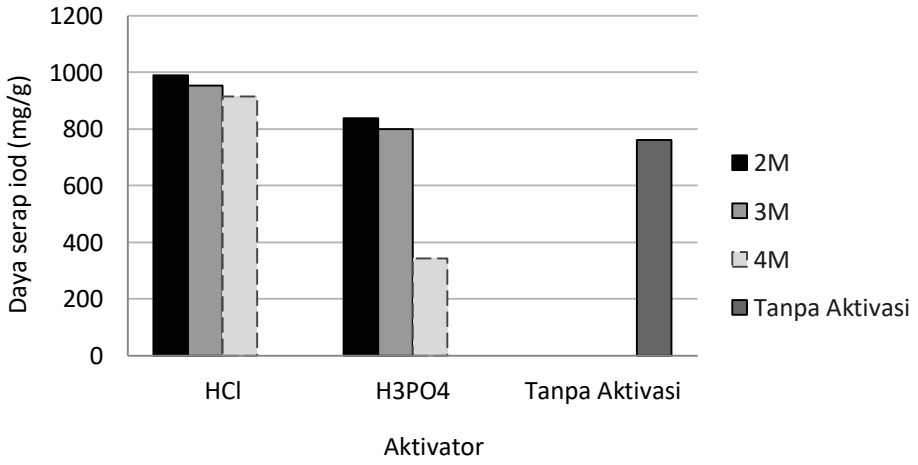
Menurut Oko *et al* pada tahun (2021) [32], faktor yang sangat berpengaruh terhadap daya serap tersebut adalah luas permukaan karbon aktif karena mekanisme adsorpsi berkaitan dengan jumlah pori-porinya. Hasil uji daya serap iod karbon aktif dengan aktivator HCl dan karbon aktif tanpa aktivasi telah memenuhi mutu karbon aktif SNI 06-3730-1995 dengan minimal daya serap iod sebesar 750 mg/g. Karbon aktif dengan

aktivator $H_3PO_4$ 2M dan 3M telah memenuhi mutu karbon aktif sedangkan untuk konsentrasi 4M didapatkan hasil sebesar 342.71 mg/g dimana hasil tersebut belum memenuhi standar mutu karbon aktif. Aktivasi dapat membantu meningkatkan daya serap karbon aktif namun hingga pada konsentrasi tertentu. Penggunaan konsentrasi yang terlalu tinggi beresiko mengubah susunan molekul karbon aktif [33]. Penyerapan $I_2$ pada $H_3PO_4$ 4M belum memenuhi standar mutu karbon aktif. Hal ini didukung dengan hasil uji morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* yaitu pori-pori yang terbentuk belum sempurna dan mengakibatkan tidak terjadi penyerapan $I_2$ secara maksimal.

Daya serap iod adalah indikasi karbon aktif dalam penyerapan zat warna dalam larutan. Dari hasil rata-rata dapat disimpulkan dan dibandingkan dengan daya adsorpsi karbon aktif terhadap logam Pb, bahwa karbon aktif daun buah naga lebih baik dalam menyerap zat warna karena daya serap iod (mg/g) yang didapatkan pada 6 sampel telah memenuhi SNI 06-3730-1995 sedangkan adsorpsi terhadap logam Pb tidak didapatkan efisiensi lebih dari 60%

**Tabel 3. Data Analisa Daya Serap Iod Karbon Aktif**

| | HCl (mL) | | | $H_3PO_4$ (mL) | | | Tanpa Aktivasi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2M | 3M | 4M | 2M | 3M | 4M | (mL) |
| Rata-rata titar ($Na_2S_2CO_3$) | 7,4 | 7,5 | 7,6 | 7,8 | 7,9 | 9,1 | 8 |
| Hasil (mg/g) | 990,05 | 951,97 | 913,89 | 837,73 | 799,65 | 342,71 | 761,58 |




**Gambar 4. Grafik Hasil Analisa Daya Serap Iod**

.

### 3.4. Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Logam Pb

Kadar logam timbal (Pb) yang tersisa pada sampel dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*). Waktu kontak saat proses adsorpsi antara karbon aktif dan logam timbal (Pb) berpengaruh terhadap hasil daya serapnya. Semakin lama waktu kontak maka kapasitas adsorpsi akan meningkat dan akan mencapai nilai maksimum atau kondisi kesetimbangan pada waktu tertentu. Proses adsorpsi berlangsung cepat di awal-awal waktu kontak yang disebabkan karena sisi aktif adsorben masih banyak sehingga frekuensi pembentukan interaksi dengan molekul adsorbat cukup tinggi. Seiring

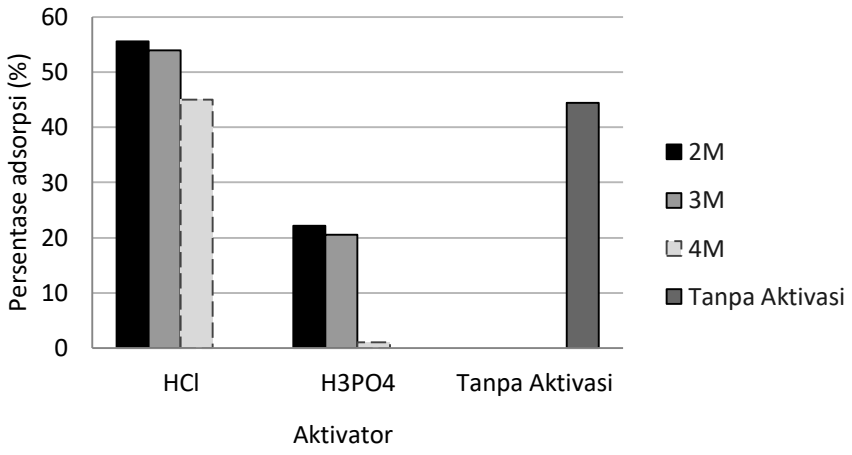
bertambahnya waktu kontak, penyerapan adsorbat pada permukaan adsorben mulai melambat hingga tercapai kondisi stasioner atau kesetimbangan [34]. Waktu kontak maksimal karbon aktif tercapai apabila kadar timbal yang teradsorpsi tidak mengalami perubahan sehingga penambahan waktu kontak tidak akan terlalu berpengaruh terhadap penurunan kadar timbal dalam sampel [35].

Hasil analisis adsorpsi logam timbal (Pb) menggunakan AAS (*Atomic Absorbtion Spectrometry*) berupa konsentrasi timbal yang tidak teradsorps dalam satuan ppm. Pemilihan larutan kerja dengan kadar Pb 10 ppm dikarenakan kadar Pb 10 ppm adalah kadar Pb dilingkungan perairan yang diakibatkan oleh limbah rumah tangga yang berupa limbah cair seperti deterjen, sabun, pestisida, air bekas cucian, dan lain-lain. Selain itu pada limbah cair dapat dijumpai berbagai macam bahan organik seperti sisa sayuran, buah-buahan, dan daun-daunan [36].

Hasil data dihitung dan didapatkan efisiensi adsorpsi Pb yang disajikan pada tabel 4 dan gambar 4. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa pemberian aktivator memiliki pengaruh terhadap efisiensi adsorben, dimana semakin tinggi aktivator maka efisiensi adsorben semakin kecil. Pada penelitian ini, karbon aktif daun buah naga tanpa aktivasi memperoleh presentase adsorpsi sebesar 44.4%. Sedangkan pada karbon aktif yang diaktivasi HCl 2M diperoleh efisiensi adsorpsi terbaik sebesar 55.6%.

**Tabel 4. Presentase Adsorpsi Pb**

| | | Pb Awal (ppm) | Pb Sisa (ppm) | Pb Teradsorpsi (ppm) | Efisiensi Adsorpsi (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| HCl | 2M | 10 | 4,44 | 5,56 | 55,6 % |
| | 3M | 10 | 4,61 | 5,39 | 53,9% |
| | 4M | 10 | 5,50 | 4,5 | 45% |
| $H_3PO_4$ | 2M | 10 | 7,78 | 2,22 | 22,2% |
| | 3M | 10 | 7,94 | 2,06 | 20,6% |
| | 4M | 10 | 9,89 | 0,11 | 1,1% |
| Tanpa aktivasi | | 10 | 5,56 | 4,44 | 44,4% |




**Gambar 4. Grafik Daya Adsorpsi Karbon Aktif**

Kapasitas adsorpsi dan efisiensi penurunan logam (Pb) oleh karbon aktif dari daun buah naga dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya (Tabel 5)

**Tabel 5. Kapasitas adsorpsi dan efisiensi penurunan logam Pb(II) pada karbon aktif yang berasal dari beberapa macam precursor**

| Karbon prekursor | Kondisi adsorpsi | | $q_{max}$ (mg/g) | Efisiensi penurunan (%) | Referensi |
|---|---|---|---|---|---|
| | Dosis adsorben (g/L) | Konsentrasi Pb(II) awal (mg/L) | | | |
| Biji *Opuntia ficus indica L.* | 0,05 | 200 | 158,4 | 79,2 | [10] |
| Biji kurma | 2 | 50 | 101,35 | 92,6 | [12] |
| Kulit singkong | 0,3/30 ml | 50 | 50,1 | 96,83 | [23] |
| Bagasse tebu | 10 | 100 | 0,873 | 87,3 | [37] |
| Daun buah naga | 1 | 10 | 0,556 | 55,6 | Penelitian ini |

Hasil ini menunjukkan bahwa karbon aktif daun buah naga memiliki efisiensi adsorpsi Pb(II) yang cukup bagus. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa karbon aktif daun buah naga berpotensi digunakan sebagai biosorben untuk menghilangkan logam berat (Pb) dari limbah cair.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi suatu karbon aktif antara lain karakteristik karbon aktif, sifat adsorbatnya, sifat media larutannya dan parameter kontaknya. Struktur pori dan permukaan karbon aktif berpengaruh pada daya serapnya terhadap komponen komponen yang berada pada fase larutan atau gas. Kemampuan karbon aktif untuk mengadsorp suatu bahan berbeda-beda. Adsorpsi dari senyawa dengan struktur yang sama akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul yang diserap layaknya dalam deret homolog [20].

Reaksi yang terbentuk antara aktivator dan logam berat (Pb) adalah garam, sebagai berikut :

$$Pb^{2+} + HCl \rightarrow PbCl_2$$

$$Pb^{2+} + H_3PO_4 \rightarrow Pb_3(PO_4)_2$$

Garam yang terbentuk akibat reaksi tersebut dapat menutupi pori-pori dari karbon aktif sehingga menyebabkan kurangnya daya adsorpsi karbon aktif terhadap logam Pb.

Karbon aktif yang diaktivasi menggunakan HCl lebih efektif menyerap logam timbal (Pb) dibanding karbon aktif tanpa aktivasi. Hal ini disebabkan karena aktivasi terutama menggunakan asam akan memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon karena asam adalah *dehydrating agent* yang kuat. Pori-pori berdampak kepada daya adsorpsi dimana pori-pori yang terbuka akan meningkatkan daya adsorpsi [20]. Karbon aktif yang diaktivasi menggunakan $H_3PO_4$ memiliki daya adsorpsi yang lebih kecil dibanding karbon aktif tanpa aktivasi. Hal ini bertentangan dengan literatur dimana seharusnya $H_3PO_4$ selaku asam dapat membantu perkembangan pori di dalam karbon aktif.

Ada beberapa oksidator atau penghidrolisa yang mampu mendegradasi kekuatan pada selulosa. Struktur selulosa yang terdapat di dalam karbon aktif dapat mengalami kerusakan apabila dilakukan pretreatment seperti penambahan asam atau basa. Kerusakan selulosa ini berasal dari ikatan hidrogen penyusun serat yang terputus [38]. Larutan asam kuat akan menyebabkan degradasi yang cepat, sedangkan larutan asam encer bila dibiarkan

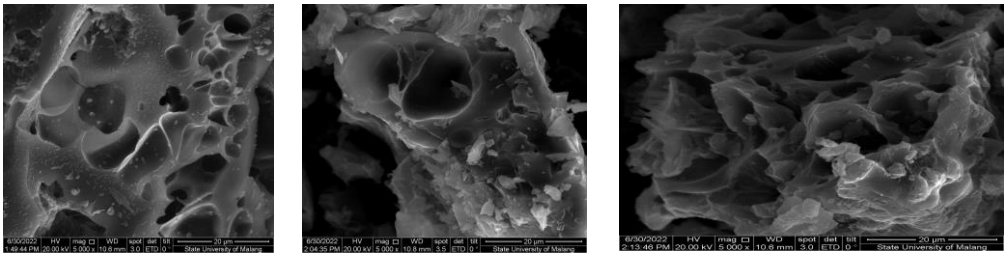
mengering pada serat akan mengakibatkan penurunan kekuatan [39]. Penurunan kekuatan selulosa dapat berdampak terhadap karbon aktif karena komposisi selulosa di dalam karbon aktif daun buah naga adalah terbanyak (~31%) [40], sehingga ketika selulosa yang diberi asam mengalami penurunan kekuatan dan kerusakan struktur maka penyerapan logam Pb tidak berlangsung secara maksimal.

Karbon aktif dengan aktivator HCl terbukti lebih efektif dalam menyerap logam timbal (Pb) dibandingkan dengan karbon aktif aktivator $H_3PO_4$. Karbon aktif dengan aktivator HCl membentuk situs reaktif untuk adsorpsi larutan Pb [41].

Variasi konsentrasi aktivator juga berpengaruh terhadap daya serap adsorben dimana semakin tinggi konsentrasi aktivator maka efisiensi adsorpsi semakin kecil. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran jari-jari ion logam yang relatif kecil sehingga menyebabkan interaksi antara adsorbat dan adsorben terpengaruh oleh jarak antar spesi. Pada kedua aktivator, konsentrasi 2M memiliki hasil daya serap yang paling bagus, hal ini dapat terjadi karena ion logam bisa masuk ke bagian interlayer dengan lebih mudah dan saat dilakukan proses pengadukan tidak mudah terlepas. Pada konsentrasi 3M dan 4M, interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat bersifat lemah sehingga memudahkan terlepasnya ion logam Pb saat dilakukan pengadukan [42].

### 3.5. Uji Morfologi Pori Karbon Aktif

Pengujian morfologi karbon aktif dari daun buah naga yang dicari adalah bentuk morfologi dari pori-pori karbon aktif. Karbon aktif yang diuji adalah karbon aktif tanpa aktivasi, karbon aktif aktivator HCl 2M dan karbon aktif aktivator $H_3PO_4$ 2M sebagai karbon aktif dengan hasil adsorpsi terbaik. Analisis dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* FEI Tipe *Inspect-S50* dengan perbesaran 5000 kali. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 5.



(a) (b) (c)

**Gambar 5. Hasil Pengujian SEM Karbon Aktif (a) Tanpa Aktivasi (b) dengan aktivator HCl 2M (c) dengan aktivator $H_3PO_4$ 2M**

Hasil analisis morfologi dengan perbesaran 5000x pada gambar 5(a) menunjukkan bahwa pori-pori karbon tanpa aktivasi sudah banyak terbentuk tetapi belum memiliki rongga kosong yang membesar. Gambar 5 (b) menunjukkan morfologi pori-pori pada karbon aktif dengan aktivator HCl 2M sudah terbentuk yang ditandai dengan rongga kosong yang membesar. Gambar 5(c) menunjukkan morfologi pori-pori pada karbon aktif dengan aktivator $H_3PO_4$ 2M tersebut masih belum terbuka dan terbentuk secara sempurna

sehingga mengakibatkan kurangnya daya adsorpsi dibandingkan karbon aktif tanpa aktivasi dan karbon aktif dengan aktivator HCl 2M. Pori-pori yang dihasilkan dari karbon aktif ini masih kecil dan terdapat banyak pengotor/*impurities*. Pengotor yang ada dalam pori karbon aktif dihasilkan karena proses karbonisasi, sehingga menutupi pori karbon.

Pemberian aktivator berpengaruh terhadap pori-pori karbon aktif. Dimana pada karbon aktif dengan aktivator HCl 2M terbentuk pori dengan kedalaman yang lebih besar dibandingkan karbon tanpa aktivasi. Proses aktivasi mampu meningkatkan ukuran pori dan membentuk pori baru, sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap molekul yang ukurannya lebih dari makropori. Pori ini dapat terbentuk karena karbon aktif teraktivasi HCl 2 M telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi secara kimia sedangkan pada karbon tanpa aktivasi hanya melalui proses karbonisasi. Pembentukan dan pembesaran pori terjadi karena adanya komponen selulosa yang terdegradasi dan lepasnya zat *volatile*. Degradasi senyawa hidrokarbon akan menghasilkan permukaan karbon aktif dengan pori yang terlihat semakin jelas [43].

Penelitian ini masih perlu dikembangkan dengan menggunakan waktu karbonisasi yang berbeda dan agen aktivator lain untuk memperoleh karakteristik karbon aktif yang lebih baik.

## 4. KESIMPULAN

Penambahan aktivator pada karbon aktif daun buah naga memiliki pengaruh terhadap penyerapan logam timbal (Pb) sebagai adsorben. Karbon yang diaktivasi dengan HCl 2M memiliki efisiensi adsorpsi sebesar 55.6%. Sedangkan efisiensi adsorpsi pada karbon tanpa aktivasi sebesar 44.4%. Aktivasi akan memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon karena asam adalah agen pendehidrasi yang kuat. Untuk karbon teraktivasi $H_3PO_4$ memiliki daya adsorpsi lebih rendah dari karbon tanpa aktivasi karena peningkatan pemakaian konsentrasi larutan yang menyebabkan pori-pori menjadi rusak.

Variasi konsentrasi pada aktivator terhadap penyerapan logam timbal (Pb) terbukti berpengaruh. Hasil analisis adsorpsi dengan logam timbal (Pb) menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) menunjukkan aktivator dengan konsentrasi 2M lebih baik dalam penyerapan logam timbal (Pb) karena ion logam dapat masuk ke bagian *interlayer* dengan lebih mudah dan saat dilakukan proses pengadukan tidak mudah terlepas sehingga karbon aktif teraktivasi HCl 2M memiliki interaksi yang lebih kuat dengan ion logam Pb saat di lakukan pengadukan.

## 5. PENGHARGAAN

Kami berterima kasih kepada Politeknik Negeri Malang yang telah mendukung penelitian ini melalui dana DIPA penelitian reguler tahun 2022.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Manurung, E. Sahara, and P. S. Sihombing, “Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Bambu Apus (*Gigantochloa apus*) Dengan Aktivator $H_3PO4$,” *J. Kim.*, vol. 13, no. 1, p. 16, 2019, doi: 10.24843/jchem.2019.v13.i01.p03.

[2] S. Misfadhila, Z. Azizah, Rusdi, and cynthia diane P. Chaniago, "Pengaplikasian Cangkang Telur Dan Karbon Aktif Sebagai Adsorben Logam Timbal," *Farm. Higea*, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2018.

[3] I. Lestari, M. Mahraja, F. Farid, D. R. Gusti, and E. Permana, "Penyerapan Ion Pb(II) Menggunakan Adsorben Dari Limbah Padat Lumpur Aktif Pengolahan Air Minum," *Chem. Prog.*, vol. 13, no. 2, 2020, doi: 10.35799/cp.13.2.2020.31391.

[4] T. Widayatno *et al.*, "Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif," *J. Teknol. Bahan Alam*, vol. 1, no. 1, pp. 17–23, 2017.

[5] A. A. Arie, Vincent, and A. Putranto, "Activated carbons from KOH-activation of salacca peels as low cost potential adsorbents for dye removal," *Adv. Mater. Lett.*, vol. 7, no. 3, pp. 226–229, 2016, doi: 10.5185/amlett.2016.6194.

[6] R. Chakraborty, A. Asthana, A. K. Singh, B. Jain, and A. B. H. Susan, "Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review," *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, vol. 102, no. 2, pp. 342–379, 2022, doi: 10.1080/03067319.2020.1722811.

[7] D. A. Ningsih, I. Said, and P. Ningsih, "Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung," *J. Akad. Kim.*, vol. 5, no. 2, p. 55, 2017, doi: 10.22487/j24775185.2016.v5.i2.8002.

[8] V. (Verayana) Verayana, M. (Mardjan) Paputungan, and H. (Hendri) Iyabu, "Pengaruh Aktivator HCl dan H3PO4 terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa Serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb)," *Jambura J. Educ. Chem.*, vol. 13, no. 1, pp. 67–75, 2018, [Online]. Available: https://www.neliti.com/publications/277418/

[9] M. Bilal, J. Ali, M. Y. Khan, R. Uddin, and F. Kanwl, "Synthesis and characterization of activated carbon from capparis decidua for removal of pb(II) from model aqueous solution: Kinetic and thermodynamics approach," *Desalin. Water Treat.*, vol. 221, pp. 185–196, 2021, doi: 10.5004/dwt.2021.27041.

[10] R. Dhahri *et al.*, "Optimization of the Preparation of Activated Carbon from Prickly Pear Seed Cake for the Removal of Lead and Cadmium Ions from Aqueous Solution," *Sustain.*, vol. 14, no. 6, pp. 1–17, 2022, doi: 10.3390/su14063245.

[11] M. Wiśniewska, M. Marciniak, M. Gęca, K. Herda, R. Pietrzak, and P. Nowicki, "Activated Biocarbons Obtained from Plant Biomass as Adsorbents of Heavy Metal Ions," *Materials (Basel).*, vol. 15, no. 17, 2022, doi: 10.3390/ma15175856.

[12] R. Krishnamoorthy, B. Govindan, F. Banat, V. Sagadevan, M. Purushothaman, and P. L. Show, "Date pits activated carbon for divalent lead ions removal," *J. Biosci. Bioeng.*, vol. 128, no. 1, pp. 88–97, 2019, doi: 10.1016/j.jbiosc.2018.12.011.

[13] Yuliusman, "Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan bahan pengaktif koh dan gas N2 / CO2," in *Seminar Teknologi dan Rekayasa (SENTRA),*

2015, pp. 978–979.

[14] L. W. B. P. Ika, "Aktivasi Karbon Dari Sekam Padi Dengan Aktivator Asam Klorida (HCL) Dan Pengaplikasiannya Pada Limbah Pengolahan Baterai Mobil Untuk Mengurangi Kadar Timbal (pb)," 2017.

[15] F. E. Pujiono and T. A. Mulyati, "Potensi Karbon Aktif Dari Limbah Pertanian Sebagai Material Pengolahan Air Limbah," *J. Wiyata*, vol. 4, no. 1, pp. 37–45, 2017.

[16] A. Z. Tumanggor and D. F. Ayu, "Ukuran Partikel Dan Waktu Kontak Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Terhadap Mutu Minyak Jelantah," *J. Sagu*, vol. 19, no. 2, p. 27, 2021, doi: 10.31258/sagu.v19i2.7896.

[17] A. Imawati and Adhitiyawarman, "Kapasitas adsorpsi maksimum ion Pb (II) oleh arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl dan H3PO4," *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 4, no. 2, pp. 50–61, 2015.

[18] T. P. T. Anh *et al.*, "Dragon Fruit Foliage: An Agricultural Cellulosic Source to Extract Cellulose Nanomaterials," *Molecules*, vol. 26, no. 24, 2021, doi: 10.3390/molecules26247701.

[19] Z. Z. Abidin, H. Zahra, M. A. Shavandi, M. H. Shah Ismail, and F. Ahmadun, "Methylene blue removal from aqueous solution by Hylocereus undatus (dragon fruit) foliage," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 625, pp. 864–869, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.625.864.

[20] Verayana, M. Paputungan, and H. Iyabu, "Pengaruh aktivator HCl dan H 3PO4 terhadap karakteristik (morfologi pori) arang aktif tempurung kelapa serta uji adsorpsi pada logam timbal (Pb)," *J. Entropi*, vol. 13, no. 1, pp. 67–75, 2018.

[21] A. Novananda, I. Rahmawati, S. Sani, D. H. Astuti, and L. Suprianti, "Karbon Aktif Dari Batubara Lignite Dengan Proses Aktivasi Menggunakan Hidrogen Flourida," *J. Tek. Kim.*, vol. 15, no. 1, 2020, doi: 10.33005/jurnal_tekkim.v15i1.2297.

[22] A. S. Sanjaya and R. P. Agustine, "Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif Dari Kulit Pisang," *Konversi*, vol. 4, no. 1, pp. 17–24, 2015.

[23] C. O. Thompson, A. O. Ndukwe, and C. O. Asadu, "Application of activated biomass waste as an adsorbent for the removal of lead (II) ion from wastewater," *Emerg. Contam.*, vol. 6, pp. 259–267, 2020, doi: 10.1016/j.emcon.2020.07.003.

[24] E. Rahmawati and L. Yuanita, "ADSORPSI Pb 2+ OLEH ARANG AKTIF SABUT SIWALAN (Borassus flabellifer)," *UNESA J. Chem.*, vol. 2, no. 3, pp. 82–87, 2013.

[25] C. Abdi, R. M. Khair, and M. W. Saputra, "PEMANFAATAN LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (Musa acuminate L.) SEBAGAI KARBON AKTIF UNTUK PENGOLAHAN AIR SUMUR KOTA BANJARBARU :Fe DAN Mn," *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol. 1, no. 1, 2016, doi: 10.20527/jukung.v1i1.1045.

[26] H. D. dan H. F. A. Tangkuman, "Perbandingan Kualitas Karbon Aktif Yang Dibuat

Dari Batok Kelapa Hibrida Dan Batok Kelapa Dalam," *Perbandingan Kualitas Karbon Aktif Yang Dibuat Dari Batok Kelapa Hibrida Dan Batok Kelapa Dalam*, vol. 2, no. 1, pp. 29–32, 2009.

[27] G. S. Pambayun, R. Y. E. Yulianto, M. Rachimoellah, and E. M. M. Putri, "Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator ZnCl2 dan Na2CO3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah," *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 116–120, 2013, doi: 10.12962/j23373539.v2i1.2437.

[28] G. Gilang Ramadhan Maulana, L. Agustina, and J. Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian, "Proses Aktivasi Arang Aktif dari Cangkang Kemiri (Aleurites Moluccana) dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Aktivator Kimia," *Ziraa'ah Maj. Ilm. Pertan.*, vol. 42, no. 3, pp. 247–256, 2017.

[29] L. E. Laos, "Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif," *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidik. Fis.*, vol. 1, no. 1, p. 32, 2016, doi: 10.26737/jipf.v1i1.58.

[30] A. R. Permatasari, L. U. Khasanah, and E. Widowati, "KARAKTERISASI KARBON AKTIF KULIT SINGKONG (Manihot utilissima) DENGAN VARIASI JENIS AKTIVATOR," *J. Teknol. Has. Pertan.*, vol. 7, no. 2, 2014, doi: 10.20961/jthp.v0i0.13004.

[31] P. Susmanto, Y. Yandriani, A. P. Dila, and D. R. Pratiwi, "Pengolahan Zat Warna Direk Limbah Cair Industri Jumputan Menggunakan Karbon Aktif Limbah Tempurung Kelapa pada Kolom Adsorpsi," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 4, no. 2, p. 77, 2020, doi: 10.30595/jrst.v4i2.7309.

[32] S. Oko, Mustafa, A. Kurniawan, and E. S. B. Palulun, "Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Aktivator HCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Kopi," *Metana Media Komun. Rekayasa Proses dan Teknol. Tepat Guna*, vol. 17, no. 1, pp. 15–21, 2021.

[33] Sani, "Activated Carbon Production From Turf Soil," *J. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 2, pp. 400–406, 2012.

[34] H. Zian, Ita Ulfin, "Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R Menggunakan Adsorben Nata de Coco," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 107–110, 2016.

[35] A. A. Puspitasari, N. K. Sumarni, and M. Musafira, "KAJIAN KAPASITAS ADSORPSI ARANG KULIT KOPI ROBUSTA TERAKTIVASI ZNCl2 TERHADAP ION Pb (II)," *Kovalen*, vol. 3, no. 2, p. 134, 2017, doi: 10.22487/j24775398.2017.v3.i2.8719.

[36] L. Waluyo, "Resistensi Logam Berat Strain Bakteri Heterotrofik Asal Limbahcair Domestik Sebagai Formula Pengurai Limbah," *Pros. Semin. Nas. Pendidik. Biol.*, vol. 1, no. 1, pp. 130–136, 2018.

[37] I. U Salihi et al 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 201 012034.

[38] J. R. Pangau, H. F. Sangian, and B. M. Lumi, "Karakterisasi Bahan Selulosa Dengan Iradiasi Pretreatment Gelombang Mikro Terhadap Serbuk Kayu Cempaka Wasian (Elmerillia Ovalis) Di Sulawesi Utara," *J. MIPA*, vol. 6, no. 1, p. 53, 2017, doi: 10.35799/jm.6.1.2017.16157.

[39] S. Suhardjo, Kuntari Adi dan Legowo, "MODIFIKASI KAIN POLIESTER/SELULOSA MENGGUNAKAN PROSES KARBOKSIMETILASI METODE BENAM PERAS PEMANGGANGAN," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 16, no. 4, pp. 178–187, 2015.

[40] I. Z, Haddadian; M.A, Shavandi; Z.Z, Abidin ;A, Fakhru'l-razi; M.H.S., "Removal Methyl Orange from Aqueous Solutions Using Dragon Fruit (Hylocereusundatus) Foliage," *Chem. Sci. Trans.*, pp. 900–910, 2013, doi: 10.7598/cst2013.439.

[41] F. T. Ademiluyi and E. O. David-West, "Effect of Chemical Activation on the Adsorption of Heavy Metals Using Activated Carbons from Waste Materials," *ISRN Chem. Eng.*, vol. 2012, pp. 1–5, 2012, doi: 10.5402/2012/674209.

[42] Joko Murtono and Iriany, "PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI CANGKANG BUAH KARET DENGAN AKTIVATOR H3PO¬4 DAN APLIKASINYA SEBAGAI PENJERAP Pb(II)," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 1, pp. 43–48, 2017, doi: 10.32734/jtk.v6i1.1564.

[43] A. Nurrahman, E. Permana, D. R. Gusti, and I. Lestari, "Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Kualitas Karbon Aktif dari Batubara Lignit," *J. Daur Lingkung.*, vol. 4, no. 2, p. 44, 2021, doi: 10.33087/daurling.v4i2.86.