

## LIMBAH KULIT BUAH SALAK TERAKTIVASI ASAM KLORIDA SEBAGAI ARANG AKTIF LOGAM BERAT TIMBAL Pb (II) dan KROMIUM Cr (VI)

S. Y. Prabawati\*, D. P. Aji, dan D. Rahmadhani

*Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta, Jawa Tengah, Indonesia*  
*\*Email: dewipraptomoaji@gmail.com*

---

### ABSTRAK

Keberadaan logam Pb (II) dan Cr (VI) sangat berbahaya bagi lingkungan hingga menimbulkan gangguan keseimbangan lingkungan, terutama pada ekosistem perairan. Upaya untuk mengurangi logam berat telah banyak menggunakan berbagai metode, salah satunya adalah adsorpsi menggunakan arang aktif sebagai agen penyerap. Metode ini sangat efektif dan tidak mahal. Salah satu limbah organik yang berpotensi sebagai arang adalah limbah kulit salak. Kajian adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI) telah dilakukan menggunakan arang kulit salak teraktivasi HCl. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik arang aktif kulit salak untuk menurunkan kandungan logam Pb (II) dan Cr (VI). Parameter uji dilakukan pada variasi pH waktu kontak, dan konsentrasi larutan logam. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus -OH, C=C, dan C-O pada permukaan arang aktif kulit salak. Karakterisasi SEM menunjukkan morfologi permukaan arang aktif kulit salak teraktivasi HCl memiliki struktur berpori sehingga diharapkan lebih efektif dalam menyerap ion logam berat. Adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI) pada variasi pH didapatkan kondisi optimum pada pH 4 dan 2 dengan efektivitas adsorpsi masing-masing sebesar 85,05% dan 17,65%. Adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI) memberikan waktu stabil pada menit ke 60 dan 90 dengan persen adsorpsi sebesar 42,05% dan 82,90%. Pola isoterm adsorpsi pada penelitian ini mengikuti pola isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI) masing-masing sebesar 0,2278 mg/g dan 0,9999 mg/g serta diperoleh energi adsorpsi sebesar 26,77 kJ/mol dan 26,43 kJ/mol. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, limbah kulit salak sangat berpotensi sebagai arang aktif dalam mengurangi logam Pb (II) dan Cr (VI).

**Kata kunci:** adsorpsi, logam Pb (II) dan Cr (VI), limbah kulit salak, arang aktif, isoterm adsorpsi

### ABSTRACT

The contents of Pb (II) and Cr (VI) metals are dangerous for the surrounding environment and can cause environmental disturbances, especially in aquatic ecosystems. The attempts to reduce heavy metals have used many methods, one of which is adsorption, which uses activated charcoal as an absorbent agent. One of the organic wastes that has the potential to be used as charcoal is salacca peel. The study about the adsorption of Pb (II) and Cr (VI) metals was carried out using charcoal from salacca peel activated with HCl. This research aimed to study the characteristics of activated charcoal from salacca peel to reduce the Pb (II) and Cr (VI) metals. The test parameters were carried out at variations in pH, contact time, and concentration of metal solution. The results of the FTIR characterization showed the presence of -OH, C=C, and C-O groups on the surface of the salacca peel charcoal after HCl activation. The characterization using SEM showed that the surface morphology of salacca peel charcoal after HCl activation has a porous structure that was expected to be more effective in absorbing heavy metal ions. The adsorption of Pb (II) and Cr (VI) metals at various pH obtained optimum conditions at pH 4 and 2 with adsorption effectiveness of 85.05% and 17.65%, respectively. The adsorption of Pb (II) and Cr (VI) metals had a stable time at 60 and 90 minutes with the adsorption percentages of 42.05% and 82.90%. The adsorption isotherm pattern in this study followed the Langmuir isotherm with the adsorption capacities of Pb (II) and Cr (VI) metals of 0.2278 mg/g and 0.9999 mg/g, respectively, and obtained adsorption energies of 26.77 kJ/mol and 26.43 kJ/mol. In conclusion, salacca peel waste has great potential as active charcoal in reducing Pb (II) and Cr (VI) metals.

**Keywords:** adsorption, Pb (II) and Cr (VI) metals, salacca peels, activated charcoal, adsorption isotherm

## PENDAHULUAN

Limbah logam berat merupakan salah satu bahan pencemar yang cukup berbahaya yang dapat berasal baik dari industri, kegiatan pertambangan maupun aktivitas gunung berapi di Indonesia. Kadmium (Cd), timbal (Pb), nikel (Ni), tembaga (Cu), dan kromium (Cr) adalah beberapa logam berat yang penyebab utama atas pencemaran air (Yunita Prabawati *et al.*, 2012). Kontaminan anorganik tersebut sukar didegradasi, sehingga akumulasi logam berat dapat mencapai konsentrasi toksik yang menyebabkan kerusakan ekologi. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang tepat dan efektif untuk mencegah timbulnya pencemaran lingkungan akibat logam berat.

Metode seperti pertukaran ion, elektrolisis, dan metode lainnya telah banyak digunakan untuk menangani logam berat. Namun, kelemahan teknik-teknik untuk pengurangan logam berat adalah biaya yang tinggi dan waktu yang lama (Zein *et al.*, 2018). Kelemahan dari metode tersebut dapat dilakukan cara alternatif yakni dengan proses adsorpsi. Proses adsorpsi, dinilai lebih murah dan tidak menimbulkan efek beracun karena menggunakan sisa bahan alam sebagai sumber arang aktif Metode adsorpsi terjadi karena adanya interaksi logam (zat pencemar) dengan gugus fungsional pada permukaan arang aktif. Mekanisme interaksi tersebut dapat terjadi melalui pembentukan ikatan kompleks atau pertukaran ion antara gugus fungsional pada permukaan arang aktif dengan ion logam berat pada zat pencemar. Umumnya, permukaan arang aktif mengandung gugus fungsional -OH (hidroksil), -NH<sub>2</sub> (amina), -SH (sulfhidril), dan COOH (karboksil) (Zaini and Sami, 2016). Menurut (Wulandari and Dewi, 2019), proses adsorpsi terjadi ketika zat pencemar yang mengandung ion logam berat bermuatan positif seperti besi (Fe<sup>2+</sup>), tembaga (Cu<sup>2+</sup>), kromium (Cr<sup>6+</sup>), dan timbal (Pb<sup>2+</sup>) terikat dengan gugus fungsi hidroksil (-OH) dari permukaan arang aktif yang memiliki pasangan elektron bebas. Akibatnya, mereka dapat berfungsi sebagai ligan dan terjadi mekanisme pembentukan ikatan kompleks (Mohadi, Hidayati and Lesbani, 2014).

Telah banyak upaya untuk mengurangi zat pencemar melalui proses adsorpsi menggunakan sisa bahan alam, salah satunya ialah menggunakan limbah kulit buah salak.

Salak adalah jenis tanaman buah yang memiliki kulit yang mirip dengan sisik ular atau juga disebut sebagai *snake fruit* (Hanifah *et al.*, 2020). Buah salak memiliki kandungan nutrisi seperti serat, protein, lemak, dan karbohidrat. Buah salak dapat mempengaruhi tingkat lipid plasma dan memiliki kandungan kolesterol yang cukup rendah sehingga banyak dikonsumsi (Hendri, Arianingrum and Zuhdi, 2010). Akan tetapi, limbah dari buah salak berupa kulit buahnya masih belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat (Turmuzi and Syaputra, 2015). Kandungan yang berada dalam kulit buah salak segar diantaranya terdapat kandungan air, karbohidrat, dan protein masing-masing sebesar 74,67%; 3,80%; dan 0,57% (Tiara Rahmadini, 2016). Kandungan tersebut menyebabkan kulit salak mudah sekali membusuk, sehingga perlu ditangani dengan cara dijemur di bawah sinar matahari atau pada suhu kamar (Angraini, Subardi Bali and Sofia Anita, 2013). Kulit buah salak juga mengandung selulosa sebesar 25,84% yang berpotensi untuk dijadikan arang aktif melalui proses karbonisasi menggunakan furnace dan aktivasi kimia maupun fisika (Wijayanti, 2016). Adanya kandungan selulosa tersebut menyebabkan arang aktif kulit buah salak memiliki struktur berpori yang berperan dalam menjerap ion logam berat (zat pencemar) sehingga kulit buah salak sangat memungkinkan untuk digunakan sebagai arang aktif ion logam berat (Huda, Ratnani and Kurniasari, 2020).

Salah satu faktor yang dapat meningkatkan kemampuan daya serap dari arang aktif ialah adanya permukaan arang aktif yang lebih luas dan pori-pori yang lebih terbuka. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan aktivasi kimia terhadap arang kulit salak hasil karbonisasi menggunakan zat aktivator berupa larutan asam seperti HCl. Aktivator HCl adalah golongan asam kuat yang stabil yang mudah terlarut dalam air dan memiliki sifat untuk menghilangkan molekul air dari senyawa yang terhidrasi (Dini, Rachmadiarti and Kuntjoro, 2013). Penggunaan asam sebagai aktivator memungkinkan pembentukan garam mineral dari zat-zat pengotor yang bersifat basa. Saat terjadi adsorpsi antara zat pencemar berupa ion logam berat (adsorbat) dengan permukaan arang aktif, zat aktivator berupa larutan asam ini akan merusak jaringan pada permukaan arang

sehingga pori-pori pada permukaan arang menjadi lebih terbuka dan diharapkan ion logam berat akan terjerap ke dalam pori-pori tersebut (Jawad *et al.*, 2016).

Berdasarkan uraian di atas, akan dilakukan penelitian tentang limbah kulit buah salak yang teraktivasi HCl sebagai penyerap ion logam Pb (II) dan Cr (VI) yang merupakan bahan pencemar yang cukup berbahaya di lingkungan.

## MATERI DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan antara lain kulit salak, HCl 2M, HCl 37%, aquades,  $K_2Cr_2O_7$ , dan  $Pb(NO_3)_2$ .

### Peralatan

Alat yang digunakan meliputi seperangkat gelas kimia, Buchner, oven, *furnace*, neraca analitik, *hotplate*, *magnetic stirrer*, desikator, *pH meter*, corong gelas, kertas saring, mortar alu, blender, spektrofotometer FTIR (Shimadzu Prestige-21), spektrofotometer Scanning Electron Microscope (SEM, JSM-6510LA), dan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS, GBC Australia, at UGM Analytical Chemistry Laboratory).

### Cara Kerja

#### Preparasi Kulit Salak

Kulit salak dicuci menggunakan aquades hingga terbebas dari zat-zat pengotor. Setelah itu, kulit salak dipotong sekitar 1-2 cm dan dijemur di bawah sinar matahari selama 5 hari berfungsi untuk menghilangkan kadar air pada kandungan kulit salak. Kemudian, kulit salak dikeringkan dalam oven selama satu jam pada suhu 110°C. Setelah itu digerus hingga menjadi serbuk dan diayak dengan saringan teh agar memiliki ukuran yang sama. Serbuk kulit salak dikarbonisasi di dalam alat *furnace* pada suhu 400°C selama 1 hari agar menjadi karbon (Safitri, 2020). Selanjutnya karbon dihitung berat rendemennya dan membandingkan antara massa karbon sebelum dengan setelah *furnace* (Alfiaturrahma and Hendriyanto, 2018).

#### Pembuatan Karbon Aktif

Serbuk kulit salak hasil karbonisasi dimasukkan ke dalam gelas beaker dan ditambahkan larutan HCl 2 M. Selanjutnya, campuran serbuk kulit salak dan larutan HCl 2

M diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 24 jam (Kartika *et al.*, 2017). Hasil yang diperoleh kemudian dicuci dengan aquades hingga pH netral. Sampel tersebut kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C selama 2 jam hingga diperoleh serbuk kulit salak yang telah teraktivasi HCl 2 M (Apecsiana, F., H., Kristianto and A., 2016).

#### Pembuatan Larutan Uji Pb (II) dan Cr (VI)

Serbuk  $Pb(NO_3)_2$  sebanyak 1,6080 g ditimbang kemudian dilarutkan dalam 500 mL larutan pengencer (aquades yang telah diasamkan dengan  $HNO_3$  hingga pH 2) hingga tanda batas dan diperoleh larutan induk Pb (II) dengan konsentrasi 1000 ppm. Kemudian sebanyak 50 mL larutan induk 1000 ppm dipipet dan diencerkan dalam labu ukur 500 mL hingga diperoleh larutan baku Pb (II) 100 ppm. Selanjutnya sebanyak 4 mL larutan baku Pb (II) 100 ppm dipipet dan diencerkan dalam labu ukur 100 mL untuk membuat larutan uji Pb (II) 4 ppm. Diulangi perlakuan yang sama untuk membuat larutan uji Pb (II) 8, 12, 16, dan 20 ppm (Dewi, Susatyo and Susilaningsih, 2015).

Sebanyak 2,83 g  $K_2Cr_2O_7$  dilarutkan dengan penambahan 10 mL HCl 37% dan aquades hingga larut. Kemudian larutan diencerkan dengan aquades dalam labu ukur 1.000 mL dan diperoleh larutan baku Cr (VI) 1.000 ppm. Selanjutnya larutan baku Cr (VI) 1.000 ppm dipipet sebanyak 50 mL dan diencerkan dengan aquades dalam labu ukur 500 mL untuk membuat larutan standar Cr (VI) 100 ppm. Sebanyak 20 mL larutan standar Cr (VI) 100 ppm dipipet dan diencerkan dalam labu ukur 500 mL untuk membuat larutan uji Cr (VI) 4 ppm. Diulangi perlakuan yang sama untuk membuat larutan uji Cr (VI) 8, 12, 16, dan 20 ppm (Yuliono, Herawati and Maryono, 2014)

#### Uji Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Logam Pb (II) dan Cr (VI) pada Variasi Waktu Kontak

Sebanyak 0,5 g arang kulit salak teraktivasi HCl dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang masing-masing telah berisi 25 mL larutan uji Pb (II) dan Cr (VI) 20 ppm pada pH optimum. Selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 250 rpm selama variasi waktu kontak 15, 30, 45, 60, 75, 90, dan 120 menit. Hasil pengadukan kemudian disaring menggunakan penyaring *Buchner*. Selanjutnya, filtrat hasil penyaringan dianalisis

dengan AAS untuk memperoleh konsentrasi larutan uji Pb (II) dan Cr (VI) setelah teradsorpsi (Yuliono, Herawati and Maryono, 2014).

#### **Pembuatan Kurva Kalibrasi Cr (VI)**

Sebanyak 2,83 g  $K_2Cr_2O_7$  dilarutkan dengan penambahan 10 mL HCl 37% dan akuades hingga larut. Kemudian larutan diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 1.000 mL dan diperoleh larutan baku Cr (VI) 1.000 ppm. Selanjutnya larutan baku Cr (VI) 1.000 ppm dipipet sebanyak 50 mL dan diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 500 mL untuk membuat larutan standar Cr (VI) 100 ppm. Sebanyak 20 mL larutan standar Cr (VI) 100 ppm dipipet dan diencerkan dalam labu ukur 500 mL untuk membuat larutan uji Cr (VI) 4 ppm. Diulangi perlakuan yang sama untuk membuat larutan uji Cr (VI) 8, 12, 16, dan 20 ppm (Yuliono *et al.*, 2014).

#### **Uji Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Logam Pb (II) dan Cr (VI) pada Variasi pH Larutan**

Sebanyak 0,5 g arang kulit salak teraktivasi HCl dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang masing-masing telah berisi 25 mL larutan uji Pb (II) dan Cr (VI) 20 ppm pada variasi pH larutan 1,2,3,4, dan 5. Selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 10 stir selama 60 menit. Hasil pengadukan kemudian disaring menggunakan penyaring *Buchner*. Selanjutnya, filtrat hasil penyaringan dianalisis dengan AAS untuk memperoleh konsentrasi larutan uji Pb (II) dan Cr (VI) setelah teradsorpsi.

#### **Uji Isoterm Adsorpsi Ion Logam Pb (II) dan Cr (VI)**

Sebanyak 0,5 g arang kulit salak teraktivasi HCl dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang masing-masing telah berisi 25 mL larutan Pb (II) dan Cr (VI) pada pH optimumnya masing-masing dengan variasi konsentrasi larutan uji Pb (II) dan Cr (VI) 4, 8, 12, 16, dan 20 ppm. Selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 250 rpm selama waktu stabilnya masing-masing. Hasil pengadukan yang diperoleh kemudian disaring dengan penyaring *Buchner*. Selanjutnya filtrat hasil penyaringan dianalisis menggunakan instrumen AAS untuk memperoleh konsentrasi larutan uji Pb (II) dan

Cr (VI) setelah teradsorpsi (Yuliono, Herawati and Maryono, 2014).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Pengolahan Kulit Salak menjadi Karbon Aktif**

Kulit salak dicuci menggunakan akuades agar menghilangkan zat pengotor yang masih menempel di dalam kulit salak. Setelah itu kulit salak dijemur dibawah sinar matahari selama 5 hari untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa didalam kulit salak. Kulit salak yang sudah kering kemudian dihaluskan agar menjadi serbuk sehingga dapat mempermudah saat proses karbonisasi. Proses selanjutnya yaitu kulit salak dioven dengan suhu 105 °C selama 1 jam tujuannya agar mendehidrasi kulit salak sehingga akan menghilangkan kadar air didalam kulit salak. selain itu juga, bertujuan untuk menentukan massa kulit salak sebelum diproses karbonisasi.

Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 400 °C selama 1,5 jam untuk memaksimalkan proses degradasi material organik dalam kulit salak melalui tiga tahapan, yaitu reaksi penguraian selulosa, penguraian lignin, dan pembentukan karbon. Selama proses karbonisasi, bahan organik yang terdapat dalam kulit salak akan didegradasi menjadi senyawa karbon. Penggunaan suhu yang tinggi dalam proses karbonisasi dapat menghilangkan kadar air, komponen *volatile*, dan zat mineral sehingga dapat diperoleh kadar karbon yang cukup tinggi. Proses karbonisasi ini menghasilkan material berupa karbon dalam bentuk arang yang masih tertutupi oleh zat pengotor. Selanjutnya karbon kulit salak hasil karbonisasi diayak menggunakan ayakan serta dihitung berat rendemennya dengan membandingkan massa sebelum dan sesudah karbonisasi. Hasil penelitian diperoleh rendemen sebesar 33,40%.

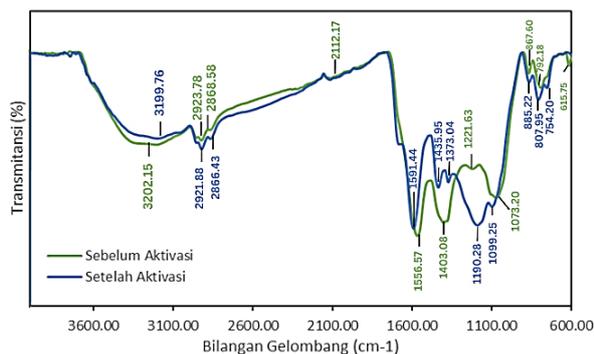
Karbon kulit salak yang sudah dilakukan proses preparasi, dilanjutkan aktivasi agar memperoleh karbon aktif sehingga proses adsorpsi dalam berjalan dengan sempurna. Aktivator yang digunakan pada penelitian ini yakni HCl 2M. Sifat aktivator asam cocok untuk material yang mengandung lignoselulosa yang tinggi karena sifatnya mudah melarutkan zat pengotor yang bersifat basa, sehingga menghasilkan pembentukan garam mineral anorganik. Proses aktivasi dilakukan dengan

cara mencampurkan massa kulit salak sebanyak 62 g dan larutan HCl 2 M sebanyak 500 mL dan diaduk menggunakan stirrer selama 24 jam agar larutan HCl tercampur ke setiap bagian karbon kulit salak hingga seluruh bagian karbon dapat teraktivasi dan diperoleh karbon aktif kulit salak teraktivasi HCl. Setelah itu, karbon aktif kulit salak dicuci dengan akuades hingga memperoleh pH netral. Tujuan pencucian tersebut untuk menghilangkan sisa larutan HCl dan memperoleh karbon aktif dengan kondisi pH netral sehingga saat dimasukkan kedalam oven tidak merusaknya. Setelah itu, karbon aktif dioven selama 2 jam dalam suhu 110°C agar membuat karbon aktif menjadi kering.

## Karakterisasi Arang Kulit Salak dengan FTIR dan SEM

### Karaterisasi dengan FTIR

Karakterisasi dengan FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi yang berada dalam karbon kulit salak dengan panjang gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ . Tujuan dari karakterisasi ini untuk melihat perubahan panjang gelombang yang terjadi antara karbon kulit salak sebelum dan sesudah teraktivasi. Setiap gugus fungsi akan menunjukkan daerah serapan tertentu yang menjadi ciri khas dari senyawa tersebut. Gabungan dari grafik tersebut menunjukkan adanya pergeseran pita serapan dari arang kulit salak.



**Gambar 1.** Spektra FTIR arang kulit salak sebelum dan sesudah aktivasi

Puncak serapan pada daerah 3500-3000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus fungsi -OH (hidroksil) seperti alkohol atau fenol.

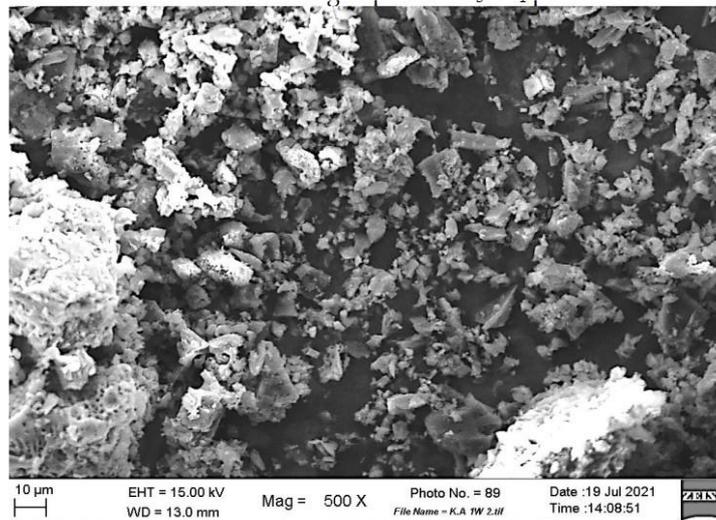
Berdasarkan Gambar 1. terlihat adanya penurunan puncak serapan gugus fungsi hidroksil (-OH) pada sampel arang kulit salak sebelum teraktivasi dengan panjang gelombang 3202,15  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 3199,76  $\text{cm}^{-1}$  pada sampel arang kulit salak teraktivasi HCl. Penurunan terjadi dikarenakan gugus OH masih belum terurai total saat proses karbonisasi, sehingga akan mempengaruhi efektivitas adsorpsi dan menyisakan sejumlah gugus OH pada permukaan karbon aktif.

Pergeseran pita serapan terjadi pada arang kulit salak sebelum aktivasi dan setelah aktivasi yakni pada serapan 1556,57  $\text{cm}^{-1}$  dan 1591,44  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan adanya gugus fungsi C=O yang merupakan gugus fungsi khas pada arang aktif. Pada penelitian ini juga ditemukan gugus fungsi C-O yang terdapat dalam daerah serapan 1300-1000  $\text{cm}^{-1}$ . Serapan gugus C-O pada arang kulit salak sebelum aktivasi muncul pada daerah serapan 1221,63  $\text{cm}^{-1}$  kemudian terjadi penurunan menjadi 1190,28  $\text{cm}^{-1}$  pada arang kulit salak setelah teraktivasi HCl. Hal ini dikarenakan adanya pengurangan gugus C-O sehingga serapannya menjadi lebih kecil dan tajam. Keberadaan gugus C-O pada bilangan gelombang yang berubah-ubah menunjukkan bahwa ikatan C-O tidak stabil.

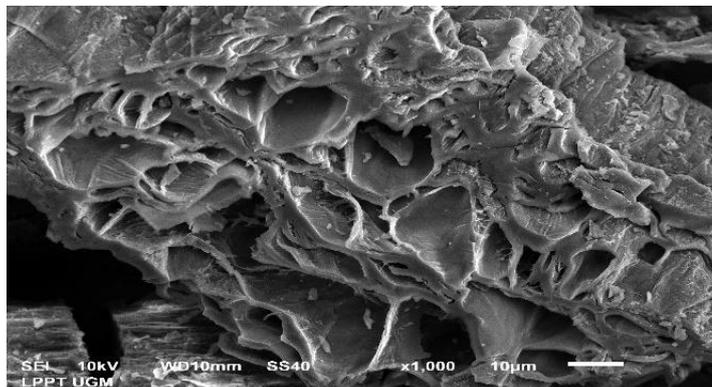
Gugus fungsi C=C ditemukan juga pada arang kulit salak pada rentang 1500-1400  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan dari arang kulit salak tersebut menunjukkan adanya peningkatan yakni 1403,08  $\text{cm}^{-1}$  pada arang sebelum aktivasi menjadi 1435,95  $\text{cm}^{-1}$  pada arang setelah teraktivasi. Oleh sebab itu, gugus-gugus fungsi yang terkandung di kulit salak yakni gugus C=O, C=C, dan -OH.

### Karakterisasi SEM

Foto morfologi arang kulit salak sebelum teraktivasi dan setelah teraktivasi menggunakan SEM masing-masing terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Gambar morfologi arang kulit salak sebelum aktivasi diperoleh berdasarkan penelitian yang dilakukan (Barita Aritonang *et al.*, 2022). Sedangkan morfologi arang kulit salak setelah teraktivasi HCl diperoleh berdasarkan penelitian mandiri.



**Gambar 2.** Foto SEM arang kulit salak sebelum aktivasi



**Gambar 3.** Foto SEM arang kulit salak sesudah aktivasi

Terjadi perbedaan morfologi permukaan pori-pori yang dihasilkan antara Gambar 2 yakni arang kulit salak sebelum aktivasi dengan Gambar 3 pada arang kulit salak sesudah aktivasi menggunakan HCl. Berdasarkan penelitian Barita Aritonang *et al.* (2022) menjelaskan bahwa arang kulit salak sebelum aktivasi mempunyai pori-pori yang kecil, dimana hal tersebut disebabkan karena tertutupnya pori-pori arang kulit salak oleh senyawa hidrokarbon dan sisa abu yang merupakan residu selama proses karbonisasi. Hal tersebut diduga karena pada saat proses karbonisasi berlangsung, energi panas yang dihasilkan sangat kecil, sehingga pergerakan partikel menjadi sangat lambat yang mengakibatkan energi tumbukan yang dihasilkan sangat kecil (Verayana, Papatungan

and Iyabu, 2018 dan Barita Aritonang *et al.*, 2022). Sedangkan pada Gambar 2 terlihat bahwa permukaan arang kulit salak setelah teraktivasi memiliki struktur berpori. Morfologi arang aktif kulit salak teraktivasi HCl menjadi lebih terbuka, sehingga diharapkan lebih efektif dalam mengadsorpsi ion logam berat. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Purwiandono *et al.* (2022), menunjukkan bahwa kemampuan arang kulit salak teraktivasi asam mampu mengadsorpsi Cu (II) jauh lebih baik daripada arang kulit salak tanpa aktivasi. Hal ini diduga karena proses aktivasi mampu melepaskan pengotor yang menutupi sebagian pori-pori arang kulit salak sehingga pori-pori menjadi lebih besar dan terbuka untuk mengadsorpsi ion logam.

**Tabel 1.** Pengaruh aktivasi dari beberapa jenis arang aktif

Jenis Arang Aktif	Parameter Terhitung	Perubahan		Referensi
		Tanpa Aktivasi	Teraktivasi	
Kulit pisang kepok	Luas permukaan	0,43 m <sup>2</sup> /g	16,53 m <sup>2</sup> /g	(Sherly & Cahyaningrum, 2014)
Cangkang kacang tanah	Luas permukaan Efisiensi penyerapan	75 m <sup>2</sup> /g 93%	117 m <sup>2</sup> /g 95%	(Wardalia <i>et al.</i> , 2021)
Kulit salak	Efisiensi penyerapan	37,99%	64,75%	Purwiandono <i>et al.</i> , (2022),
Arang kelapa	Kapasitas adsorpsi	125 mg/g	222,2 mg/g	(Saraswati, 2022)

Sejalan dengan data dalam Tabel 1, membuktikan bahwa proses aktivasi memungkinkan diperolehnya arang aktif dengan luas permukaan yang lebih besar sehingga berpengaruh terhadap efisiensi penyerapan dan kapasitas adsorpsi yang dihasilkan. Hal ini diduga karena selama proses aktivasi unsur mineral dari aktivator HCl masuk di antara celah pori-pori arang kulit salak kemudian bereaksi dengan gugus fungsi pada permukaan arang kulit salak dan membuka permukaan pori yang semula tertutup oleh zat pengotor. Dengan demikian, proses aktivasi ini mampu melarutkan zat pengotor yang menutupi sebagian pori-pori arang kulit salak sehingga pori-pori menjadi lebih terbuka untuk mengadsorpsi ion logam.

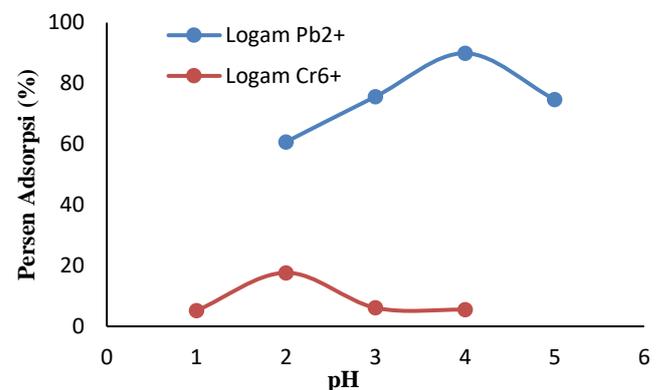
#### Hasil Adsorpsi Ion Logam Pb (II) dan Cr (VI) Pada Variasi pH Larutan

Parameter pH berperan penting dalam proses adsorpsi dikarenakan akan mempengaruhi muatan permukaan dari arang aktif. Kemampuan adsorpsi ion logam dapat bergantung pada pH dikarenakan adanya protonisasi anionik dari Pb yakni dalam bentuk Pb (II) (Yunita Prabawati *et al.*, 2012). Penentuan pH optimum dilakukan dengan mengamati efektivitas yang terbesar dari berbagai macam variasi pH yakni rentang pH 1-5.

Penyerapan maksimum untuk ion Pb (II) terjadi pada rentang pH 4, karena saat kondisi pH rendah kation Pb<sup>2+</sup> akan berkompetisi dengan ion hidronium. Pada pH rendah (pH 2) menunjukkan presentase jumlah logam Pb (II) yang teradsorpsi sebesar 41%, sedangkan presentase terbesar berada pada pH

4 sebesar 81%. Kondisi tersebut menjadi kondisi pH optimum untuk ion Pb (II).

Data pH larutan Cr (VI) diperoleh berdasarkan penelitian yang dilakukan Amalia (2015). Berdasarkan data pengaruh variasi pH diperoleh kurva penyerapan logam Cr (VI) mengalami penurunan pada pH 3-4 dengan presentase penyerapan masing-masing sebesar 6,11% dan 5,49%. Pada pH rendah (pH 1) jumlah ion logam Cr (VI) yang teradsorpsi menunjukkan presentase yang paling kecil sebesar 5,17%. Kondisi optimum penyerapan ion logam Cr (VI) terjadi pada pH 2, yaitu dengan jumlah ion logam Cr (VI) yang teradsorpsi sebesar 17,65%. Hal ini dikarenakan pada pH tersebut spesies yang dominan adalah ion HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup> dimana pada kondisi tersebut permukaan arang aktif terprotonasi sehingga sangat mendukung penyerapan ion Cr (VI) dalam bentuk anion.



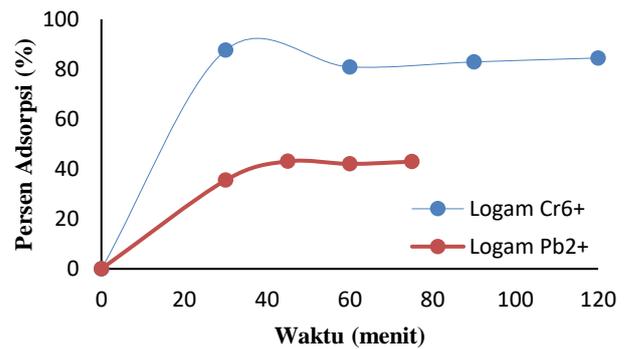
**Gambar 4.** Grafik persentase adsorpsi ion logam Pb (II) dan Cr (VI) oleh arang kulit salak teraktivasi HCl pada variasi pH

Grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4 saat kondisi pH 2 pada penyerapan ion Pb (II) menunjukkan presentase terkecil dikarenakan ion Pb akan bersaing dengan ion  $H^+$  agar dapat berikatan dengan gugus fungsi yang berada di arang aktif kulit salak. Kondisi optimum yang didapatkan dari penyerapan Pb (II) berada pada pH 4 karena memiliki efektivitas penyerapan yang tinggi. Hal ini disebabkan adanya penyerapan terhadap semua ion logam yang terjadi saat permukaan arang aktif kulit salak dikelilingi oleh muatan positif. Setelah melewati pH optimum grafik menunjukkan penurunan pada pH 5 dikarenakan terdapat ion  $OH^-$  saat kondisi pH tinggi yang menyebabkan logam mulai mengendap dan mempengaruhi penyerapan logam Pb semakin sedikit.

Berdasarkan Gambar 4, uji adsorpsi pada variasi pH untuk logam Cr (VI) mencapai kondisi optimum pada pH 2. Pada kondisi tersebut, ion logam Cr (VI) banyak dijumpai dalam bentuk anion  $HCrO_4^-$ . Kondisi tersebut menunjukkan penyerapan yang optimum karena permukaan arang aktif kulit salak sangat terprotonasi sehingga sangat mendukung penyerapan ion Cr (VI) dalam bentuk anionik. Kemudian pada pH yang lebih tinggi (pH 3-4) terjadi penurunan persen adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa jumlah ion  $OH^-$  dalam larutan akan meningkat seiring dengan peningkatan pH, sehingga sangat mungkin ion  $OH^-$  berkompetisi dengan anion  $Cr_2O_7^{2-}$ , yang menyebabkan penyerapan menjadi lebih sedikit. Mengingat pada kondisi pH 3-4 tersebut spesies yang dominan adalah ion anion  $Cr_2O_7^{2-}$ . Namun, adanya spesi kromium dalam bentuk netral yakni  $H_2CrO_4$  banyak mendominasi, sehingga menyebabkan presentase adsorpsi ion Cr (VI) menurun pada pH 1 Amalia (2015).

#### Hasil Adsorpsi Ion Logam Pb (II) dan Cr (VI) Pada Variasi Waktu

Uji variasi waktu kontak digunakan untuk menentukan waktu pengadukan yang stabil selama proses adsorpsi ion logam Pb (II) dan Cr (VI). Lamanya waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan oleh arang aktif kulit salak untuk berinteraksi dengan adsorbatnya. Pengaruh waktu kontak adsorpsi ion logam Pb (II) dan Cr (VI) oleh arang aktif kulit salak disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik persentase adsorpsi ion logam Pb (II) dan Cr (VI) oleh arang kulit salak teraktivasi HCl pada variasi waktu kontak.

Gambar 5 menunjukkan ketergantungan waktu adsorpsi ion logam Pb (II) dan Cr (VI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) yang terserap oleh arang aktif kulit salak terus mengalami peningkatan pada awal waktu kontak. Peningkatan persen adsorpsi disebabkan karena sisi aktif pada arang aktif masih cukup tersedia untuk berikatan dengan ion Pb (II) dan Cr (VI) sehingga ikatan yang terjadi antara keduanya cukup tinggi dan belum mencapai kesetimbangan (Zian, Ulfin and Harmami, 2016).

Adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) terjadi dalam 30 menit pertama kemudian terjadi penyerapan yang sangat lambat saat menentukan sisa ion Pb (II) dan Cr (VI) dalam larutan yang seimbang. Waktu kontak yang diperlukan untuk adsorpsi maksimum ion Pb (II) dan Cr (VI) oleh arang aktif kulit salak menunjukkan hasil yang relatif stabil pada waktu 60 menit dan 90 menit. Dengan demikian, adanya penambahan waktu kontak tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah ion Pb (II) dan Cr (VI) yang terserap (Yunita Prabawati *et al.*, 2012).

#### Hasil Isoterm Adsorpsi Ion Logam Pb (II) dan Cr (VI)

Model isoterm Langmuir dan Freundlich merupakan dua model yang umum diterapkan untuk menggambarkan model isoterm adsorpsi. Dalam penelitian ini, kedua model tersebut digunakan untuk menggambarkan hubungan antara jumlah ion logam Pb (II) dan Cr (VI) yang teradsorpsi dengan konsentrasi kesetimbangannya dalam larutan. Nilai  $R^2$  yang

lebih besar dari masing-masing model isoterm yang digunakan dapat memberikan informasi mengenai kapasitas adsorpsi suatu adsorbat (Yunita Prabawati *et al.*, 2012; (Astuti, 2018)).

Isoterm adsorpsi Langmuir menggambarkan adsorpsi maksimum terjadi ketika molekul adsorbat teradsorpsi secara satu lapis tunggal oleh situs aktif permukaan arang aktif yang bersifat homogen. Setiap situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat karena ikatan yang kuat antara molekul adsorbat dan situs aktif. (Yunita Prabawati *et al.*, 2012; (Astuti, 2018)).

Isoterm Freundlich mendeskripsikan adsorpsi secara fisika dimana molekul adsorbat teradsorpsi secara beberapa lapis atau lebih dari satu lapisan permukaan dan situs aktif bersifat heterogen (Yustinah *et al.*, 2019). Lapisan yang terbentuk mengakibatkan ikatan yang terjadi cukup lemah. Menurut Prabawati dkk. (2012) jika adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir, maka besarnya energi adsorpsi

(EAds) menunjukkan nilai lebih dari 20 kJ/mol. Jika adsorpsi mengikuti model isoterm Freundlich, maka nilai energi adsorpsi (EAds) menunjukkan nilai kurang dari 20 kJ/mol. Model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich beserta energi adsorpsinya (EAds) dituliskan dalam persamaan:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{max} \cdot K_l} + \frac{C_e}{Q_{max}} \quad (1)$$

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

$$E_{Ads} = -\Delta G = RT \ln (K_{ads}) \quad (3)$$

Keterangan:

Q<sub>e</sub> : daya serap (mg/g)

C<sub>e</sub> : konsentrasi larutan (mg/L)

K<sub>f</sub> : konstanta Freundlich (L/mg)

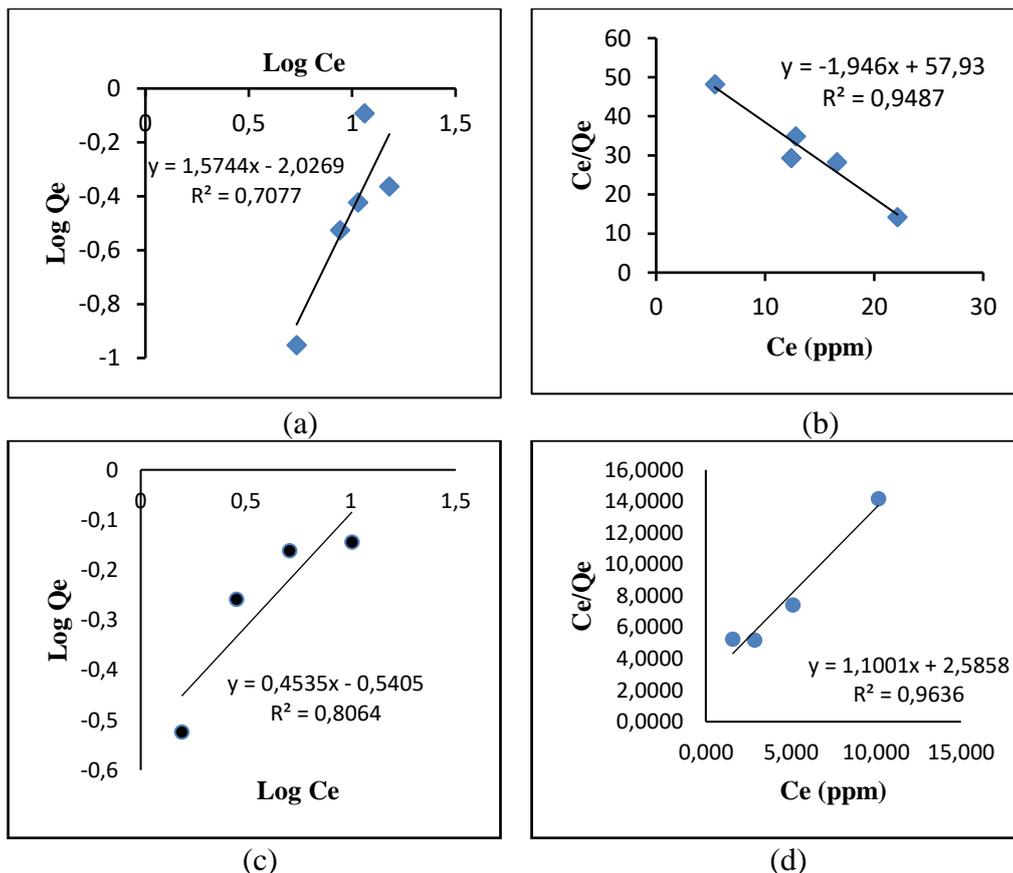
n : konstanta empiris

EAds : energi adsorpsi (kJ/mol)

R : konstanta gas (8,314 J/mol<sup>o</sup>K)

T : suhu (<sup>o</sup>K)

K<sub>ads</sub> : konstanta kesetimbangan (L/mol)



**Gambar 6.** Model isoterm (a) Freundlich (b) Langmuir adsorpsi ion Pb (II) (c) Freundlich (d) Langmuir adsorpsi ion Cr (VI)

**Tabel 2.** Parameter terhitung model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich

Logam	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich			
	R <sup>2</sup>	Q <sub>max</sub> (mg/g)	K <sub>L</sub> (L/mg)	R <sup>2</sup>	n	K <sub>F</sub> (L/mg)	E <sub>Ads</sub> (kJ/mol)
Pb (II)	0,9487	0,5139	0.0336	0,7077	2,8810	0.00939	21,15
Cr (VI)	0,9636	0,9999	0,3871	0,8064	2,2051	0,2881	26,43

Penerapan model isotherm adsorpsi Langmuir dan Freundlich tersebut menghasilkan parameter adsorpsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai linearitas (R<sup>2</sup>) dari model isoterm Langmuir lebih tinggi daripada model isoterm Freundlich untuk kedua ion logam. Nilai R<sup>2</sup> untuk grafik Langmuir adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) mendekati nilai 1 yaitu 0,9487 dan 0,9636. Dengan demikian pola adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) oleh arang aktif kulit salak cenderung mengikuti model isoterm Langmuir. Artinya, adsorpsi tertinggi terjadi ketika semua situs aktif arang aktif tertutup oleh adsorbat yang membentuk satu lapisan. Penelitian ini menunjukkan bahwa ikatan antara adsorbat dengan situs aktif arang kulit salak cukup kuat sehingga terbentuk lapisan monolayer (Yunita Prabawati *et al.*, 2012).

Hasil parameter hitung yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai kapasitas adsorpsi maksimum (Q<sub>max</sub>) adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) masing-masing sebesar 0,5139 dan 0,9999 mg/g. Nilai konstanta adsorpsi Langmuir (K<sub>L</sub>) sebesar 0.0336 dan 0,3871 L/mg. Nilai tersebut digunakan untuk menghitung energi adsorpsi (E<sub>Ads</sub>). Energi adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) masing-masing sebesar 21,15 dan 26,43 kJ/mol. Nilai energi adsorpsi yang dihasilkan tersebut

menggambarkan energi adsorpsi pada proses adsorpsi kimia.

Berdasarkan data dalam Tabel 3 belum terdapat penelitian mengenai pemanfaatan kulit salak sebagai arang aktif ion Pb (II) dan Cr (VI), sehingga hal tersebut menjadi salah satu kebaharuan dalam penelitian ini. Penelitian sebelumnya menunjukkan kapasitas adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) yang jauh lebih kecil daripada penelitian yang dilakukan menggunakan arang aktif kulit salak. Artinya kemampuan adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) pada penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih baik daripada penelitian sebelumnya. Hal ini diduga karena adanya pengaruh proses aktivasi dan faktor pH pada saat proses adsorpsi. Proses aktivasi arang kulit salak mampu melarutkan zat pengotor yang menutupi sebagian pori-pori arang kulit salak sehingga pori-pori menjadi lebih terbuka dan adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) dapat berjalan maksimal. Pada kondisi pH asam, kemampuan gugus aktif yang terkandung dalam arang aktif kulit salak akan berkompetisi dengan ion logam, sehingga akan semakin besar jumlah ion Pb (II) yang terserap (Hanifah *et al.*, 2021). Sedangkan pada proses adsorpsi ion Cr (VI), pada suasana asam spesies yang dominan adalah anion HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup>, dimana pada kondisi tersebut permukaan arang aktif kulit salak sangat terprotonasi sehingga sangat mendukung penyerapan ion Cr (VI) dalam bentuk anion.

**Tabel 3.** Perbandingan kapasitas adsorpsi ion Pb (II) dan Cr (VI) menggunakan berbagai jenis arang aktif dari penelitian sebelumnya

Arang Aktif	Logam Berat	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Referensi
Kitosan	Pb (II)	0,2280	(Rosema, Supriyantini and Sedjati, 2021)
Cangkang Kelapa Sawit	Pb (II)	0,3246	(Gultom and Lubis, 2014)
Kulit Salak	Pb (II)	0,5139	Penelitian ini
Batang pisang	Cr (VI)	0,2139	(Yuliono <i>et al.</i> , 2014)
Kulit Pisang Uli	Cr (VI)	0,5140	(Fajrianti <i>et al.</i> , 2016)
Kulit Salak	Cr (VI)	0,9999	Penelitian ini

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa karbon kulit salak teraktivasi asam klorida sangat berpotensi sebagai agen penyerap dalam mengurangi logam Pb (II) dan Cr (VI). Analisis FTIR menunjukkan bahwa karbon aktif kulit salak mengandung gugus -OH, C=C, dan C-O yang akan berperan penuh dalam proses adsorpsi logam berat. Karakterisasi SEM menunjukkan morfologi arang kulit salak teraktivasi HCl memiliki pori-pori yang lebih terbuka, sehingga diharapkan lebih efektif dalam mengadsorpsi ion logam berat. Adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI) pada karbon kulit salak teraktivasi HCl optimum terjadi pada pH 4 dan 2. Waktu stabil yang dicapai oleh karbon aktif kulit salak untuk berinteraksi secara maksimal dengan logam berat Pb (II) dan Cr (VI) terjadi pada rentang waktu 60 dan 90 menit. Pola isoterm adsorpsi pada penelitian ini menggunakan pola isoterm Langmuir dengan memperoleh hasil kapasitas adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI) masing-masing sebesar 0,2278 mg/g dan 0,9999 mg/g serta diperoleh energi adsorpsi sebesar 26,77 kJ/mol dan 26,43 kJ/mol.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alfiaturrahma, P. and Hendriyanto, O. 2018. 'Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok sebagai Adsorben untuk Menyisihkan Logam Cu'. *Enviro. 8*(2): 105–111.
- Amalia, N. 2015. Adsorption of Cr (III) and Cr (VI) from Aqueous Solution by Activated Carbon from Trembesi (Samanea saman) Seeds. *Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Andreas Arie, A., Kristianto, H. and Apecsiana, F. 2018. 'Adsorption of Cu (II) from Aqueous Solution by Salacca Peel Based Activated Carbons'. *Journal of Chemistry and Applied Chemical Engineering*. 02(01). doi: 10.4172/2576-3954.1000113.
- Angraini, R. D., Subardi Bali and Sofia Anita 2013. *Potensi Arang Aktif Daging Buah Salak Padang Sidempuan (Salacca sumatrana) sebagai Adsorben Ion Cd(Ii) dan Ion Pb(Ii) dengan Aktivator Na2CO3*, Repository University of Riau.
- Apecsiana, F., H., Kristianto dan A., A. 2016. 'Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak'. in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*.
- Astuti, W. .2018. 'Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa'. *Unnes Press*. 1–216.
- Barita Aritonang *et al.* 2022. 'Sintesis dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Kulit Salak Sebagai Adsorben Terhadap Kadar BOD, COD dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tekstil'. *Jurnal Multidisiplin Madani*. 2(6): 2611–2626. doi: 10.55927/mudima.v2i6.441.
- Dewi, M. S., Susatyo, E. B. and Susilaningih, E. 2015. 'Pemanfaatan arang aktif kulit pisang raja untuk menurunkan kadar ion Pb(II)'. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 4(3): 228–233.
- Dini, M. K., Rachmadiarti, F. and Kuntjoro, S. 2013. 'Potensi Jerami Sebagai Adsorben Logam Timbal ( Pb ) Pada Limbah Cair Industri Batik Sidokare . Sidoarjo The Potential of Rice Straw as

- Pb Adsorbent on Wastewater of Batik Industry in Sidokare Sidoarjo'. *LenteraBio*. 5(2012): 111–116.
- Fajrianti, H., Oktiawan, W., & Wardhana, I. W. 2016. Pengaruh Waktu Perendaman Dalam Aktivator NaOH Dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Krom Total (Cr) Dan Seng (Zn) Pada Limbah Cair Industri Elektroplating Dengan Menggunakan Arang Aktif Dari Kulit Pisang. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(1): 1–9.
- Gultom, E. M. and Lubis, M. T. 2014. Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 3(1): 5.
- Hanifah, H. N. *et al.* 2020. 'Laboratorium Farmasi Jurusan Farmasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Al- Ghifari'. (100).
- Hendri, Z., Arianingrum, R. and Zuhdi, B. M. 2010. *Penerapan Teknologi Pemanfaatan Kulit Salak pada Produk Keramik Guna Peningkatan Usaha Kerajinan Keramik di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul. Universitas Negeri Yogyakarta*. Yogyakarta.
- Huda, S., Ratnani, R. D. and Kurniasari, L. 2020. 'Karakterisasi Karbon Aktif dari Bambu Ori (*Bambusa arundinacea*) yang di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl)'. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*. 5(1). doi: 10.31942/inteka.v5i1.3397.
- Jawad, A. H. *et al.* 2016. 'Adsorption of methylene blue onto activated carbon developed from biomass waste by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activation: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies'. *Desalination and Water Treatment*. 57(52): 25194–25206. doi: 10.1080/19443994.2016.1144534.
- Kartika, G. F. *et al.* 2017. 'Pengaruh Aktivator Terhadap Kemampuan Bubuk Biji Alpukat (*Persea americana* Mill) dalam Menjerap Ion Timbal (II)'. *Chimica et Natura Acta*, 5(1):9. doi: 10.24198/cna.v5.n1.12814.
- Mohadi, R., Hidayati, N. and Lesbani, A. 2014. 'Adsorption Desorption of Chromium (III) Ion on Cellulose from Wood Powder'. *International Journal of Science and Engineering*. 7(1): 77–80. doi: 10.12777/ijse.7.1.77-80.
- Purwiandono, G., dan Ibrahim, S., 2022, Adsorpsi Logam Cu(II) Menggunakan Adsorben Kulit Buah Salak Teraktivasi HNO<sub>3</sub>. *IJCR*. 7 (1): 1–7
- Rosema, R., Supriyantini, E. and Sedjati, S. 2021. Pemanfaatan Kitosan untuk Menurunkan Kadar Logam Pb dalam Perairan yang Tercemar Minyak Bumi. *Buletin Oseanografi Marina*. 10(1): 61–66. doi: 10.14710/buloma.v10i1.31051.
- Safitri, R. A. 2020. 'Pemanfaatan Limbah Kulit Salak Pondoh (*Salacca edulis*) sebagai Komposit Karbon Aktif Termodifikasi untuk Adsorpsi Logam Timbal (Pb)'.  
Saraswati, N. L. P. A. 2022. Pengaruh Suhu Aktivasi Arang Terhadap Kondisi Equilibrium dan Parameter Termodinamika Adsorpsi Senyawa Remazol Red. *Jurnal Matematika, Sains, Dan Pembelajarannya*. 16(3):1858–0629.
- Sherly, A., & Cahyaningrum, S. E. 2014. Aktivasi Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* L.) Dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Logam Cr(VI). *Journal of Chemistry*. 3(1): 22–25.
- Tiara Rahmadini. 2016. *Modifikasi Kulit Salak Sebagai Absorben Ion Tembaga (II), Asia-Pacific Development Journal*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Turmuzi, M. and Syaputra, A. 2015. 'Pengaruh suhu dalam pembuatan karbon aktif dari kulit salak (*Salacca edulis*) dengan impregnasi asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)'. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 4(1): 42–46.
- Verayana, V. (Verayana), Papatungan, M. (Mardjan) and Iyabu, H. (Hendri). 2018. 'Pengaruh Aktivator HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa Serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb)'. *Jambura Journal of Educational Chemistry*. 13(1): 67–75. Available at: <https://www.neliti.com/publications/277418/>.
- Wardalia, Rusdi, Hartono, R., & Adiwibowo, M. T. 2021. Pengaruh Jenis Aktivasi

- pada Adsorben Cangkang Kacang Tanah Terhadap Adsorpsi Metil Violet. *Jurnal Integrasi Proses*. 10(2): 115–119.
- Wijayanti. 2016. *Modifikasi Kulit Salak (Salacca Zalacca) Sebagai Adsorben Kromium Dalam Limbah Penyamakan Kulit*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Wulandari, W. T. and Dewi, R. 2019. 'Selulosa Dari Ampas Tebu Sebagai Adsorben Pada Minyak Bekas Penggorengan'. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*. 4(3): 332–339. doi: 10.22487/kovalen.2018.v4.i3.10920.
- Yuliono, Herawati, N. and Maryono. 2014. 'Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Batang Pisang (*Musa paradisiaca*) Terhadap Ion Logam Kromium VI Adsorption Capacity of Banana Stem Activated Charcoal ( *Musa paradisiaca* ) Toward Chromium VI Ions'. *Jurnal Chemica*. 15(2): 24–32.
- Yunita Prabawati, S. *et al.* 2012. 'Study on the adsorption properties of novel calix[6]arene polymers for heavy metal cations', *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(1): 28–34. doi: 10.22146/ijc.21368.
- Yustinah *et al.* 2019. 'Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch'. *Jurnal Konversi*. 9(1): 17–28.
- Zaini, H. and Sami, M. 2016. 'Kinetika Adsorpsi Pb (II) dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah'. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. (November 2016), p. p-ISSN : 2407 – 1846 e-ISSN : 2460 – 8416 1-9.
- Zein, R. *et al.* 2018. 'Kulit Salak Sebagai Biosorben Potensial Untuk Pengolahan Timbal(II) Dan Cadmium(II) Dalam Larutan'. *Chimica et Natura Acta*. 6(2): 56. doi: 10.24198/cna.v6.n2.17857.
- Zian, Ulfin, I. and Harmami. 2016. 'Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R Menggunakan Adsorben Nata de Coco'. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 5(2): 2337–3520.