

# Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Karbon Aktif dari Kulit Pisang

Muhammad Patly, Edi Nasra\*, Sri Benti Etika, Umar Kalmar Nizar

Department of Chemistry, Padang State University, Jl. Prof. Hamka, Air Tawar Barat, Padang, West Sumatera, Indonesia Telp. 0751 7057420

\*edinasra@fmipa.unp.ac.id

**Abstract**— Active Carbon from biomassa has been ideal material as absorbent of pollutant chemistry. Banana peel is a biomassa contain about 60% carbohydrate and its existence is abundant in nature, it causes banana peel is great for making active carbon. This review is combination from some researches about active carbon from banana peel. It aims to comprehend the carbon active synthesis from banana peel, characterization of active carbon and application active carbon as absorbent chemical pollution. The result from this review show characteristic of active carbon as functional groups, crystalline structure, surface morphology, pore size and pore volume, percentage of absorption and absorption capacity of active carbon to pollutant chemistry.

**Keywords**—kulit pisang, karbon aktif, adsorpsi, polutan

## I. PENDAHULUAN

Kegiatan industri meningkat tiap tahunnya karena kebutuhan masyarakat yang semakin besar akan produk-produk industri seperti industri pangan, farmasi, petrokimia, pestisida, dan kosmetik. Perkembangan industri tidak hanya memberi dampak positif tetapi juga menimbulkan dampak negatif seperti pencemaran air oleh limbah kimia yang dihasilkan. Logam berat, zat warna, dan senyawa organik merupakan limbah kimia yang dihasilkan industri [1]. Logam berat, zat warna dan senyawa organik yang hadir pada perairan dapat menyebabkan gangguan saraf, hati, pernapasan, cacat lahir bahkan kematian pada makhluk hidup dan efek berbahaya bagi ekosistem perairan. Oleh karena itu logam berat, zat warna dan senyawa organik yang ada pada perairan harus dihilangkan atau dikurangi konsentrasinya, sehingga perlu teknologi pengolahan yang tepat dan ramah lingkungan untuk menghilangkan polutan kimia dalam perairan.

Teknologi pengolahan polutan kimia dalam air limbah dapat melalui biodegradasi, adsorpsi, oksidasi, koagulasi-flokulasi dan degradasi fotokatalitik. Adsorpsi merupakan teknik yang paling banyak digunakan dalam mengurangi polutan anorganik atau organik berbahaya hadir dalam perairan, hal ini karena adsorpsi memiliki kelebihan seperti kemudahan implementasi dan operasi, efisiensi tinggi, biaya rendah, regenerasi kapasitas, dan bahan yang digunakan juga berlimpah [2]. Biomassa, karbon aktif dan zeolit adalah bahan penyerap yang biasanya digunakan dalam proses adsorpsi.

Karbon aktif adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan bahan kaya karbon dan luas permukaan yang besar. Pada awalnya karbon aktif dihasilkan dari karbon yang berasal dari batu bara. Tambang batu bara yang terbatas dan tidak terbarukan menyebabkan banyak peneliti mengembangkan pembuatan karbon aktif dari biomassa limbah pertanian. Karbon aktif dari biomassa limbah pertanian menghasilkan karbon tinggi yang memiliki struktur makropori, mesopori, dan mikropori dan berbagai gugus fungsional kimia hadir pada permukaan karbon aktif. Berbagai peneliti telah melaporkan pembuatan karbon aktif dari biomassa limbah pertanian seperti tempurung kelapa [3], kulit pisang [4], kulit singkong [5] dan kulit salak [6].

Pisang dianggap sebagai tanaman yang paling banyak dibudidayakan dalam tanaman pertanian setelah padi, gandum dan jagung. Hal ini karena bagian-bagian dari tanaman pisang memiliki banyak manfaat seperti: batang pisang secara tradisional digunakan untuk pengobatan epilepsi dan histeria. Ekstrak dari bunga pisang digunakan untuk pengobatan bronchitis, bisul dan obat batuk. Pasta dari daun pisang digunakan untuk pengobatan luka bakar infeksi pada kulit dan bisul [7]. Kulit pisang sejauh ini dimanfaatkan untuk makanan ternak dan pembuatan karbon aktif [8]. Biosorbent [9]. Kulit pisang juga dimanfaatkan pada bidang farmasi dan kosmetik hal ini karena kulit pisang mengandung antioksidan [10]. Sebanyak 40 % dari berat buah pisang adalah kulit pisang. Kulit pisang jika dibuang ditempat pembuangan

sampah dapat melepaskan gas beracun karena kulit pisang membusuk[11].

Pada tulisan ini menyajikan diskusi tentang pemanfaatan biomasa kulit pisang sebagai bahan untuk menghasilkan karbon aktif. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk memahami sintesis dari karbon aktif dari kulit pisang, karakteristik dari karbon aktif dan aplikasi karbon aktif terhadap penyerapan polutan kimia berbahaya.

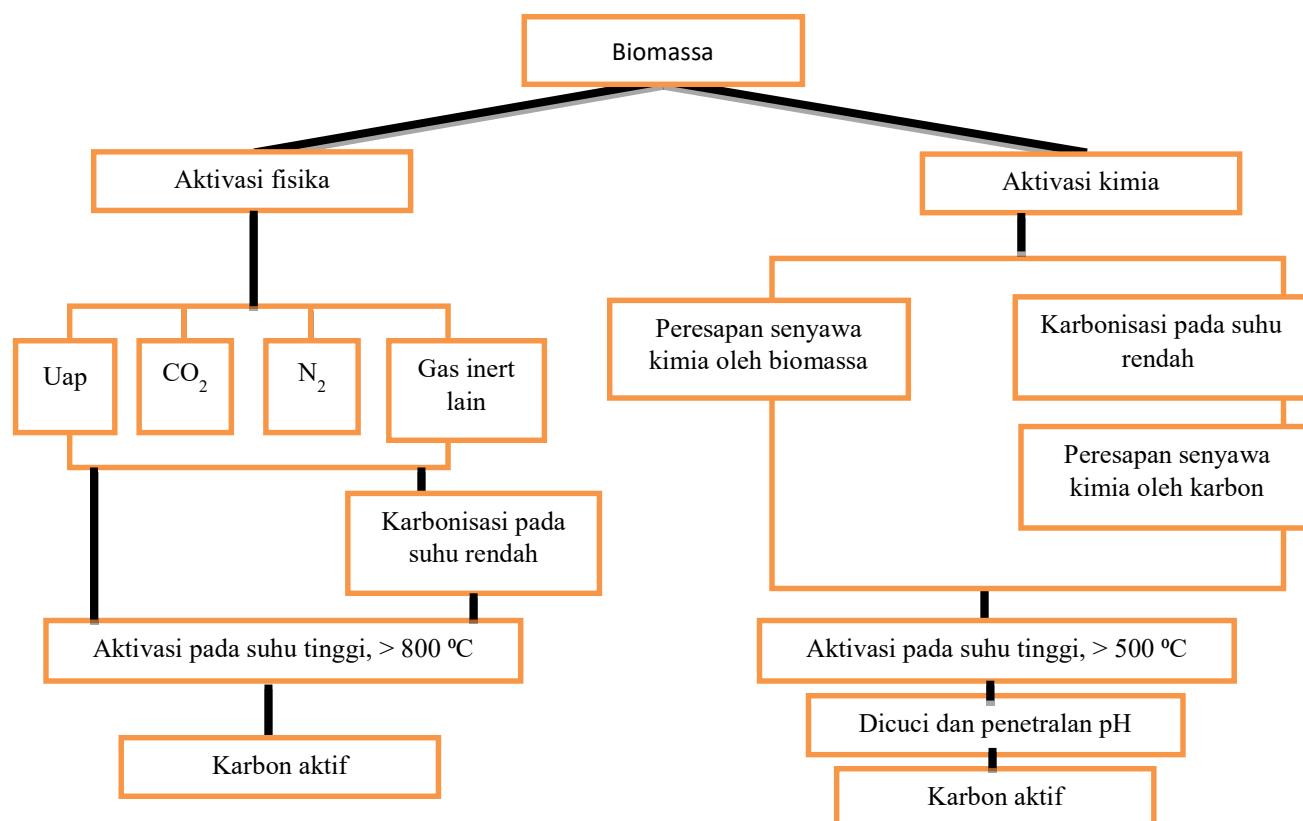
## II. METODE PENELITIAN

Kulit pisang memiliki kandungan karbohidrat tinggi sekitar 60 % dari bahan kering sehingga cocok digunakan sebagai bahan pembuatan karbon aktif [12].Karbon aktif dapat disintesis dari biomassa dengan beberapa tahap seperti: preparasi, karbonisasi, dan aktivasi. Tahap preprasi dimulai dari mencuci kulit pisang dengan air suling dengan tujuan untuk menghilangkan kotoran fisik pada permukaan kulit pisang [13]. Setelah itu dijemur dibawah sinar matahari atau disimpan dalam oven pada suhu 105 °C hal ini bertujuan untuk mengurangi kadar air pada kulit pisang [12]. Tahap karbonisasi akan menyebabkan penguraian senyawa organik yang terkandung dalam kulit pisang menjadi karbon, hal ini karena terjadinya reaksi pembakaran yang tidak sempurna selama proses karbonisasi.

Tahap aktivasi dilakukan untuk mensintesis karbon dengan kandungan karbon yang tinggi, area permukaan, dan volume pori yang besar. Metode aktivasi dibagi menjadi dua yaitu metode aktivasi fisika dan metode aktivasi kimia.

Aktivasi fisika adalah suatu perlakuan yang dapat memperluas permukaan dengan menggunakan uap, N<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub>. Aktivasi fisika berlangsung pada suhu berkisaran dari 700 °C sampai 1200 °C dengan adanya gas pendukung yang biasa dipakai N<sub>2</sub> untuk mencegah pembentukan CO<sub>2</sub> dan menghasil pori-pori dengan ukuran yang beragam dalam karbon aktif selama proses aktivasi. Waktu karbonisasi, suhu aktivasi dan gas uap merupakan parameter penting pada aktivasi fisika [6].

Aktivasi kimia adalah peresapan dari bahan awal dengan bahan dehidrasi sebelum atau setelah langkah karbonisasi. Berbagai bahan kimia digunakan dalam aktivasi kimia seperti asam fosfat, kalium hidroksida, kalsium karbonat, asam sulfat, asam nitrat, natrium hidroksida, seng klorida, dan natrium klorida [6]. Senyawa kimia dapat memfasilitasi untuk mengembangkan pori-pori pada karbon aktif dengan cara degradasi, dehidrasi dan kompleksasi [14]. Diagram alir proses aktivasi untuk sintesis karbon aktif dari biomassa dapat dilihat pada gambar 1.



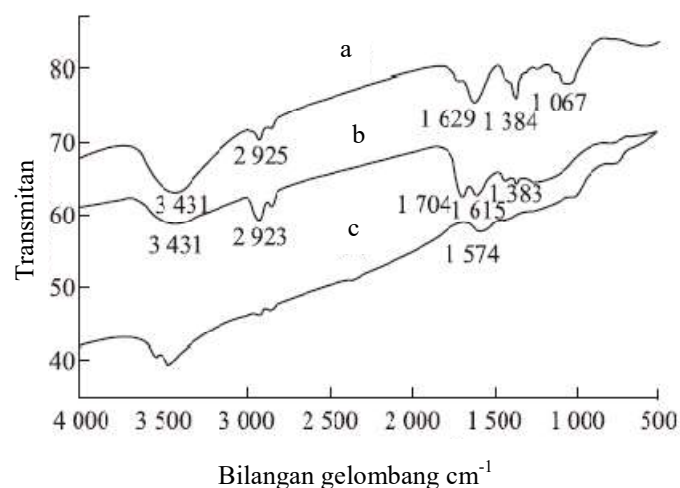
Gambar 1. Diagram alir proses aktivasi karbon dari biomassa

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi dari karbon aktif penting untuk dipelajari dalam proses adsorpsi karena dapat mempengaruhi Penyerapan polutan kimia berbahaya dalam perairan. Karakterisasi dari karbon aktif yang telah dilaporkan oleh beberapa peneliti sebagai berikut:

#### A. Gugus fungsi pada permukaan karbon aktif

Gugus fungsi pada karbon aktif dianalisa dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* ( FT-IR ). Gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif berasal dari bahan awal itu sendiri atau dimasukkan selama proses aktivasi. Lu, et.al. [15] melaporkan gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif dari kulit pisang dengan aktivator KOH, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Spektre FTIR (a) kulit pisang, (b) Karbon, dan (c) Karbon aktif [15]

Gambar 2 memberikan informasi bahwa Karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi pada suhu 200 °C masih mempertahankan fungsi permukaan yang tinggi dan gugus fungsi seperti -OH pada bilangan gelombang 3431 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi CH pada bilangan gelombang 2924 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi C=O dan C=C pada bilangan gelombang 1600-1730 cm<sup>-1</sup> serta gugus fungsi C-C pada bilangan gelombang 1383 cm<sup>-1</sup> yang akan membantu pembentukan mikropori dan mesopori tinggi. Pada karbon aktif hanya terdapat dua puncak serapan yaitu pada bilangan gelombang 3471 cm<sup>-1</sup> terdapat gugus fungsi -OH dan pada bilangan gelombang 1572 cm<sup>-1</sup> terdapat gugus fungsi C=C, hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar gugus fungsi polar seperti C=O terurai selama proses aktivasi pada 600°C.

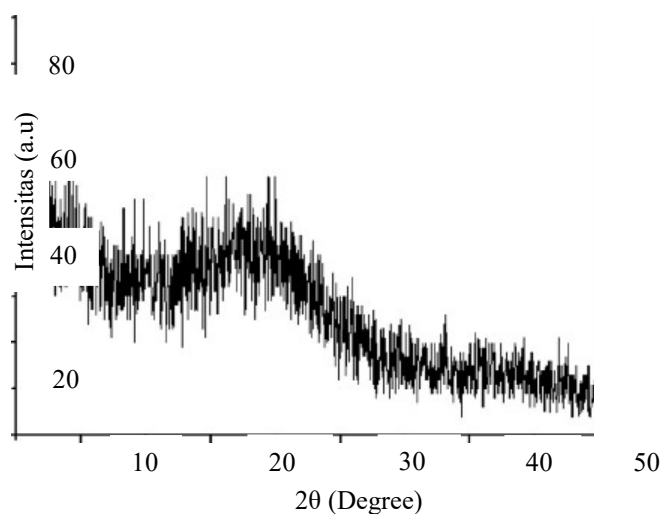
Pathak, et.al.[13] menganalisa gugus fungsi pada karbon dari kulit pisang dengan aktivasi microwave. Dilaporkan karbon aktif memiliki gugus fungsi hidroksil pada bilangan gelombang 3733 dan 3318 <sup>-1</sup>, gugus karboksil pada

bilangan gelombang 2493 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi karbonil pada bilangan gelombang 1717 cm<sup>-1</sup>, gugus fungsi nitro pada bilangan gelombang 1550 cm<sup>-1</sup>, dan gugus fungsi CH<sub>3</sub> pada bilangan gelombang 1264 cm<sup>-1</sup>.

#### B. Derajat kristalin

Tingkat keteraturan dari struktur suatu material disebut derajat kristalinitas. Materi berdasarkan strukturnya dibagi menjadi dua yaitu amorf dan Kristal. Amorf adalah suatu padatan yang susunan atom atau partikelnya tersusun secara tidak beraturan sedangkan Kristal adalah padatan yang susunan atom atau partikelnya tersusun secara berulang-ulang dan beraturan dalam ruang tiga dimensi. Apabila materi amorf terkena berkas sinar X maka akan menunjukkan sudut jangkauan yang lebar dan puncak yang landai sedangkan materi Kristal terkena berkas sinar X maka menunjukkan adanya puncak-puncak difraksi yang tajam [16]

Vanthuan, et.al. [4] melaporkan struktur Kristal karbon aktif dari kulit pisang dengan activator KOH untuk persiapan sebagai adsorbent dalam proses adsorpsi, Menunjukkan Kehadiran puncak melebar pada kisaran 20-30° menandakan struktur amorf dari karbon aktif, dapat dilihat pada gambar 3.



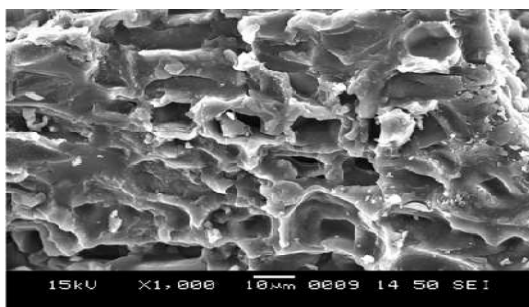
Gambar 3. Pola XRD dari karbon aktif[4]

#### C. Morfologi permukaan karbon aktif

Morfologi dari permukaan karbon aktif dapat dianalisa dengan menggunakan scanning electron microscopy (SEM). Ingole, et.al.[17] menganalisa struktur dari permukaan karbon aktif dari kulit pisang untuk penyerapan fenol dengan menggunakan JOEL 6308 *Scanning Electron microscopy*. Menunjukkan partikel awal yang tidak beraturan dan berpori dari karbon aktif.

Pathak,et.al.[13] melaporkan permukaan karbon aktif yang berpori disebabkan oleh dekomposisi termal dari bahan

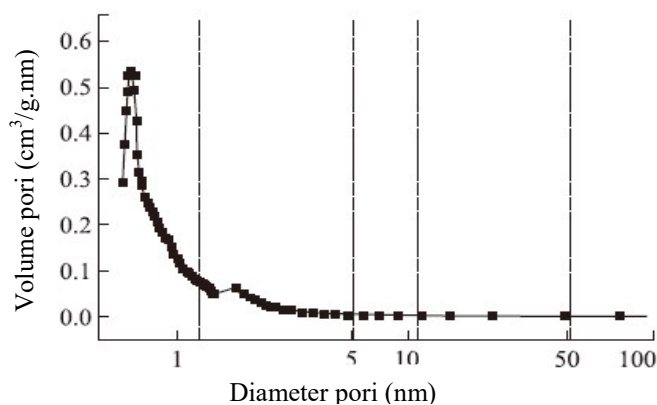
organik atau pelepasan gas yang mudah menguap dari kulit pisang selama proses karbonisasi. Morfologi dari permukaan karbon aktif dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Struktur dari permukaan karbon aktif[17]

D. Luas permukaan dan volume pori dari karbon aktif

Ukuran pori dan volume pori dari karbon aktif dapat dianalisa dengan menggunakan Brunauer Emmet Teller (BET). Distribusi ukuran pori merupakan faktor penting dalam karbon aktif, karena dapat mempengaruhi proses adsorpsi. International Union Pure and Applied Chemistry (IUPAC) mengelompokkan ukuran pori dari karbon aktif sebagai satuan sifat menjadi tiga: makropori memiliki diameter > 50 nm, mesopori memiliki diameter 2-50 nm, dan mikro pori memiliki diameter < 2nm. Lu, et.al.[15] menganalisa ukuran pori dan volume pori karbon aktif dari kulit pisang dengan Brunauer Emmett-teller (ASAP 2020 HD88, micromeritics instrument corp, USA). Melaporkan bahwa karbon aktif dari kulit pisang menghasilkan mikropori yang lebih besar dari pada mesopori dan makropori yang dihasilkan, dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Analisis BET karbon aktif [15]

Persiapan karbon aktif sebagai material penyerap polutan kimia berbahaya yang hadir pada perairan dilaporkan pada berbagai variasi parameter sebagai berikut :

1. pH larutan

Variasi pH larutan dipelajari untuk mengetahui pH optimum untuk penyerapan polutan kimia, pH larutan dapat mempengaruhi muatan dari permukaan adsorbent, spesiasi dan derajat ionisasi [17].

2. Konsentrasi awal larutan

Variasi konsentrasi awal larutan dipelajari untuk mengetahui konsentrasi optimum polutan kimia yang dapat diadsorpsi oleh karbon aktif. Konsentrasi awal larutan dapat memberikan kekuatan pendorong untuk mengatasi perlawanan perpindahan massa fasa cair dan padat pada permukaan adsorbent dan memperbesar interaksi karbon aktif dengan polutan kimia [13]. konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kejenuhan dari adsorbent [17].

3. Waktu kontak

Variasi waktu kontak dipelajari untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk penyerapan polutan kimia secara optimum sehingga tercapai keadaan setimbang [18].

4. Dosis adsorbent

Variasi dosis adsorbent dipelajari untuk mengetahui dosis adsorbent optimum yang dapat menyerap polutan kimia. Pada dosis adsorbent yang terlalu tinggi dapat menyebabkan luas permukaan efektif dari adsorbent berkurang dan meningkatkan ketegangan antar muka pada fasa padat dan cair serta perpindahan massa menurun [17].

5. Kecepatan pengadukan

Variasi kecepatan pengadukan dipelajari untuk mengetahui kecepatan pergerakan yang efektif dari adsorbent sehingga dapat menyerap polutan kimia lebih banyak. Kecepatan pengadukan yang terlalu cepat dapat menyebabkan lepasnya polutan kimia yang telah melekat pada permukaan adsorbent dan kemungkinan rusak struktur karbon aktif lebih cepat [19].

Persentase penghapusan dan kapasitas penyerapan karbon aktif terhadap polutan berbahaya dapat diketahui dengan memeriksa konsentrasi polutan sebelum dan sesudah dikontakan karbon aktif dengan spektrometer UV-VIS.

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

Dengan: C<sub>0</sub> = konsentrasi awal

C<sub>e</sub> = Konsentrasi akhir

$$q_x = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

Dengan: q<sub>x</sub> =kapasitas adsorpsi

V = Volume larutan(L)

IV. APLIKASI KARBON AKTIF DALAM ADSORPSI POLUTAN KIMIA

$m$  = massa karbon aktif (g) [13].

#### A. Adsorpsi logam berat

Mery, et.al.[20] melaporkan persentase penyerapan ion kadmium (II) oleh karbon aktif, pada pH maksimum kelarutan logam kadmium menjadi ion kadmium (II) yaitu pada pH 5, konsentrasi awal larutan 100 ppm dan waktu kontak 60 menit. Dosis adsorbent divariasikan 10-90 mg. Variasi dari dosis adsorbent dapat mengetahui dosis adsorbent optimum untuk penyerapan ion logam Cd (II). Maka didapatkan persentase penyerapan sebesar 80.1 % pada dosis adsorbent 90 mg hal ini karena peningkatan dosis adsorbent meningkatkan interaksi permukaan adsorbent bermuatan negatif dan ion kadmium (II) bermuatan positif.

Musafira, et.al. [18] melaporkan persentase penyerapan ion logam merkuri oleh karbon aktif dari kulit pisang dengan beberapa variasi untuk mendapatkan persentase penyerapan maksimum seperti waktu kontak 10-60 menit, pH 1-6 dan konsentrasi 10-60 ppm. Persentase penyerapan didapatkan 99 % pada waktu kontak 30 menit, pH 5 dan konsentrasi 40 ppm.

#### B. Adsorpsi zat warna

Arita, et.al. [21] melaporkan penyerapan methylene blue oleh karbon aktif dari kulit pisang dengan menggunakan aktivator asam ( $H_2SO_4$ ) dan basa (NaOH). Didapatkan persentase penyerapan methylene blue sebesar 92.63 % dan 85.54 % dari aktivator  $H_2SO_4$  dan NaOH. Karbon aktif dengan aktivator  $H_2SO_4$  memiliki persentase penyerapan yang lebih besar, hal ini karena karbon aktif dengan aktivator  $H_2SO_4$  menghasilkan mikropori yang lebih besar pada permukaan, sehingga karbon aktif memiliki permukaan yang lebih besar.

#### C. Adsorpsi senyawa organik

Ingole, et.al. [17] melaporkan persentase penyerapan fenol, pada konsentrasi awal larutan 50 ppm dan kecepatan pengadukan 150 rpm. Penyerapan dilakukan dengan melakukan beberapa variasi seperti pH awal 2-10, dosis adsorbent 0.1-1.5 g dan waktu kontak 5- 120 menit untuk mendapatkan persentase yang maksimum. Didapatkan persentase penyerapan 84 % pada pH 6, dosis adsorbent 1.5 g, waktu kontak 60 menit. Pada pH 6 terjadi penyerapan optimum dibandingkan dengan pH yang lain. Hal ini disebabkan pada pH 6 permukaan karbon aktif netral dan fenol kebanyakan dalam bentuk molekul. Pada pH diatas 6 permukaan karbon aktif bermuatan negatif dan fenol kebanyakan dalam bentuk ion fenolat (anion). Pada pH dibawah 6 permukaan karbon aktif akan bermuatan positif dan fenol kebanyakan dalam bentuk molekul.

#### D. Adsorpsi anion

Getachew, et.al. [22] melaporkan persentase penyerapan fluorida oleh karbon aktif pada volume larutan 250 mL dan kecepatan pengadukan 200 rpm serta beberapa variasi seperti dosis adsorbent, waktu kontak, pH dan konsentrasi larutan untuk mengoptimalkan penyerapan fluorida oleh karbon aktif. Didapatkan persentase penyerapan fluorida 89 % pada dosis adsorbent 24 g, waktu kontak 13 jam, pH 2 dan konsentrasi awal 5 ppm. Dalam suasana asam permukaan karbon aktif terprotonasi menyebabkan adanya kekuatan Tarik menarik antara permukaan karbon aktif dengan fluorida yang bermuatan negative.

#### ISOTHERM ADSORPSI

Isoterm adsorpsi menjelaskan hubungan kesetimbangan antara adsorbent dan adsorbat, biasanya antara yang diserap dan tersisa dalam larutan pada suhu yang tetap dalam kesetimbangan. ada beberapa model isoterm adsorpsi antara lain model isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich, Temkin, Redlich Peterson dan Toth. Pemilihan model isoterm adsorpsi yang paling cocok dilakukan dengan membandingkan nilai  $R_2$  atau koefisien determinasi dari setiap model isotherm. Lu, et.al. [15] mempelajari isoterm adsorpsi dari 20 mL metylen blue dengan variasi konsentrasi 10-300 mg/L oleh 20 mg karbon aktif dari kulit pisang pada suhu 25 °C, waktu 420 menit dan kecepatan pengadukan 150 rpm, dengan menggunakan dua model isoterm adsorpsi yaitu model Freundlich dan model Langmuir. Menunjukkan bahwa  $R_2$  untuk model isoterm Langmuir (0.9986) jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan model isoterm Freundlich. Ingole, et.al.[17] juga mempelajari isoterm adsorpsi dari 50 mL fenol dengan konsentrasi Co 50-500 mg/L oleh 0.3 g karbon aktif pada waktu kontak 60 menit, suhu 25 °C, pH 6 dan kecepatan pengadukan 150 rpm. Isoterm adsorpsi menggunakan model isoterm Langmuir, Freundlich, Temkin, Redlich Peterson dan Toth. Menunjukkan  $R_2$  dari masing-masing model isoterm adsorpsi sebagai berikut: Langmuir 0.938, Freundlich 0.999, Temkin 0.930, Redlich Peterson 0.9979 dan Toth 0.9993. Diketahui bahwa isoterm adsorpsi yang cocok pada percobaan ini adalah isoterm adsorpsi model Freundlich dan Toth. Freundlich menggambarkan adsorpsi terjadi pada permukaan yang heterogen dengan distribusi tingkat energi yang tidak seragam dan adsorpsi reversible serta ikatannya tidak kuat. Toth mengasumsikan bahwa permukaan adsorbent heterogen dan dari persamaan Toth dapat diperkirakan lebih baik pada tekanan rendah atau tinggi.



## V. KESIMPULAN

Kulit pisang sebagai bahan untuk pembuatan karbon aktif telah ditinjau berdasarkan sejumlah artikel yang telah dipublikasi. Karbon aktif memiliki beberapa gugus fungsi, memiliki struktur amorf, partikel awal yang tidak beraturan dan berpori sedangkan karbon aktif serta karbon aktif dari kulit pisang menghasilkan mikropori dan mesopori yang besar. Dengan karakterisasi karbon aktif ini menjadikan karbon aktif dari kulit pisang menjadi adsorbent yang menjanjikan untuk penyerapan berbagai polutan kimia seperti logam berat, zat warna, anion dan senyawa organik. Penyerapan polutan kimia dapat dioptimalkan dengan mempelajari kondisi optimum dari pH awal larutan, dosis adsorbent, waktu kontak, konsentrasi awal dan isoterm adsorpsi.

## REFERENSI

- [1] S. Singh, N. Parveen, and H. Gupta, "Adsorptive decontamination of rhodamine-B from water using banana peel powder: A biosorbent," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 12, pp. 189–195, 2018.
- [2] S. F. Lütke, A. V. Igansi, L. Pegoraro, G. L. Dotto, L. A. A. Pinto, and T. R. S. Cadaval, "Preparation of activated carbon from black wattle bark waste and its application for phenol adsorption," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 5, p. 103396, 2019.
- [3] R. Idrus, B. P. Lapanporo, and Y. S. Putra, "Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa," *Prism. Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 50–55, 2013.
- [4] T. Van Thuan, B. T. P. Quynh, T. D. Nguyen, V. T. T. Ho, and L. G. Bach, "Response surface methodology approach for optimization of Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> adsorption using KOH-activated carbon from banana peel," *Surfaces and Interfaces*, vol. 6, pp. 209–217, 2017.
- [5] 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, pp. 70–75, 2014.
- [6] Muhammad Turmuzi and Arion Syaputra, "PENGARUH SUHU DALAM PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI KULIT SALAK (Salacca edulis) DENGAN IMPREGNASI ASAM FOSFAT (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 1, pp. 42–46, 2015.
- [7] F. S. Al Amri and M. A. Hossain, "Comparison of total phenols, flavonoids and antioxidant potential of local and imported ripe bananas," *Egypt. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 5, no. 4, pp. 245–251, 2018.
- [8] C. Palma, E. Contreras, J. Urrea, and M. J. Martínez, "Eco-friendly technologies based on banana peel use for the decolorization of the dyeing process wastewater," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 2, no. 1, pp. 77–86, 2011.
- [9] E. Nasra, D. Kurniawati, and Bahrizal, "Biosorption of Cadmium and Copper Ions from Aqueous Solution using Banana (Musa paradisiaca) Shell as Low-Cost Biosorbent," *Int. Conf. Chem. Eng. Agroindustry*, pp. 33–36, 2017.
- [10] J. Q. Albarelli, R. B. Rabelo, D. T. Santos, M. M. Beppu, and M. A. A. Meireles, "Effects of supercritical carbon dioxide on waste banana peels for heavy metal removal," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 58, no. 3, pp. 343–351, 2011.
- [11] D. Yu, L. Wang, and M. Wu, "Simultaneous removal of dye and heavy metal by banana peels derived hierarchically porous carbons," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 93, pp. 543–553, 2018.
- [12] E. Bibaj *et al.*, "Activated carbons from banana peels for the removal of nickel ions," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 2, pp. 667–680, 2019.
- [13] P. D. Pathak and S. A. Mandavgane, "Preparation and characterization of raw and carbon from banana peel by microwave activation: Application in citric acid adsorption," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 3, no. 4, pp. 2435–2447, 2015.
- [14] M. Danish and T. Ahmad, "A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 87, no. February, pp. 1–21, 2018.
- [15] Y. Lu and S. Li, "Preparation of Hierarchically Interconnected Porous Banana Peel Activated Carbon for Methylene Blue Adsorption," *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.*, vol. 34, no. 2, pp. 472–480, 2019.
- [16] L. S. R. M and T. Sujitno, "Lely Susita R.M., Tjipto Sujitno," vol. 10, pp. 133–138, 2008.
- [17] R. S. Ingole, D. H. Lataye, and P. T. Dhorabe, "Adsorption of phenol onto Banana Peels Activated Carbon," *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 100–110, 2017.
- [18] Musafira, Dzulkifli, Fadriah, and L. Qadrini, "Penyerapan Ion Logam Merkuri Menggunakan Arang Aktif Limbah Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca Formatypica)," *KOVALEN J. Ris. Kim.*, vol. 6, no. 1, pp. 39–44, 2020.
- [19] P. T. Lingkungan and F. Teknik, "UNTUK MENYISIHKAN LOGAM Cu," vol. 8, no. 2, pp. 105–111.
- [20] M. Napitupulu, M. Al-Gifary, and D. K. Walanda, "Adsorption of Cd(II) by carbon prepared from peels and stems of kepok banana (Musa paradisiaca formatypica)," *Cellul. Chem. Technol.*, vol. 53, no. 3–4, pp. 387–394, 2019.
- [21] A. C. Lantang, J. Abidjulu, and H. F. Aritonang, "Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Gorocho (Musa acuminata) Sebagai Adsorben Zat Pewarna Tekstil Methylene Blue," *J. MIPA*, vol. 6, no. 2, p. 55, 2017.
- [22] T. Getachew, A. Hussen, and V. M. Rao, "Defluoridation of water by activated carbon prepared from banana (Musa paradisiaca) peel and coffee (Coffea arabica) husk," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 6, pp. 1857–1866, 2015.