

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah material berpori dengan kandungan karbon 87%-97% dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur, dan material lain. Karbon aktif memiliki porositas yang dapat berkembang dan luas permukaan antarpartikel yang besar. Karbon aktif memerlukan dua langkah, yaitu proses karbonisasi bahan baku dan proses aktivasi hasil karbonisasi. Dengan demikian semua bahan bisa dikonversi menjadi karbon, meskipun sifat karbon aktif yang dihasilkan akan berbeda bergantung dengan sifat bahan baku yang digunakan, sifat agen pengaktif, dan kondisi karbonisasi serta proses aktivasi (Bansal and Goyal, 2005).

Sifat karbon aktif yang paling penting ialah ukuran partikel karbon aktif. Ukuran partikel pada karbon aktif dibagi menjadi *powdered activated carbon* (PAC) dan *granular activated carbon* (GAC).

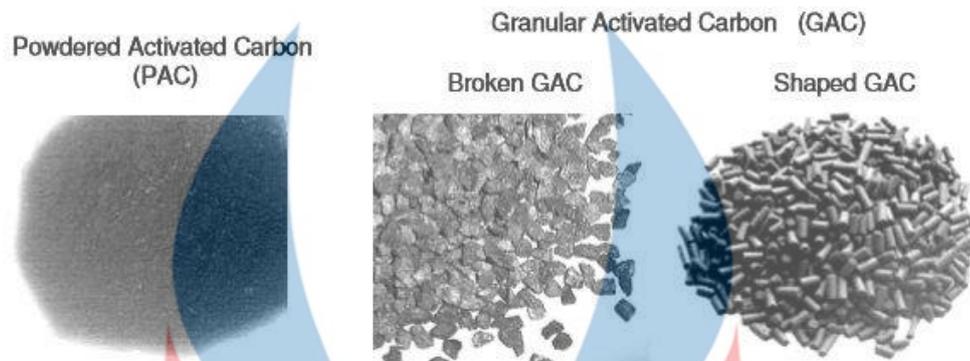
##### 2.1.1 *Powdered Activated Carbon* (PAC)

Ukuran umum partikel PAC sebesar 15-25  $\mu\text{m}$ . Karbon aktif berbentuk serbuk biasanya diaplikasikan dalam pengolahan air limbah industri dan kota, dekolorisasi pada pabrik gula, serta mengurangi kandungan merkuri dan dioksin pada aliran gas buang limbah industri (Menendez-Diaz and Martin-Gullon, 2006).

##### 2.1.2 *Granular Activated Carbon*

GAC memiliki ukuran partikel antara 1-5 mm. Karbon aktif tipe GAC biasanya digunakan dalam adsorber unggun tetap dalam proses kontinyu dengan tekanan rendah dalam aplikasi cair dan gas. Pada aplikasi fase gas, PAC digunakan sebagai adsorben penyaring udara dan pemisahan gas. Sedangkan pada aplikasi fase cair digunakan sebagai adsorben pengolahan air minum dan ekstraksi emas. Terdapat beberapa kelebihan dari *granular activated carbon* diantaranya penurunan tekanan lebih rendah serta dapat diregenerasi. *Granular activated carbon* dibagi dalam dua kelompok, yaitu *broken granular activated carbon* dan *shaped granular activated carbon* (Menendez-Diaz and Martin-Gullon, 2006). Gambar 2.1 menunjukkan berbagai bentuk karbon aktif yang

digunakan untuk adsorpsi. *PAC* merupakan karbon aktif yang berbentuk bubuk atau serbuk. Sedangkan *GAC* merupakan karbon aktif yang berbentuk butiran seperti pelet.



Gambar 2.1 Berbagai Bentuk Karbon Aktif

## 2.2 Sumber Karbon Aktif

Bahan karbon paling umum yang saat ini digunakan untuk menghasilkan karbon aktif komersial adalah batu bara, kayu, serbuk gergaji, lignit, gambut, dan tempurung kelapa (Rodríguez-Reinoso *et al.*, 2000). Karbon aktif berbasis batu bara memiliki kandungan abu yang lebih tinggi dibandingkan dengan karbon yang dihasilkan dari bahan lignoselulosa. Karbon aktif berbasis batu bara memiliki beberapa kelemahan, seperti karbon tidak selektif terhadap penjerapan adsorbat, yang merupakan kasus umum untuk karbon aktif komersial, ketidakefisienan untuk penjerapan beberapa jenis adsorbat tertentu dan kebutuhan untuk regenerasi karbon jenuh yang tidak langsung yang menyebabkan hilangnya kapasitas adsorpsi serta biaya regenerasi yang mahal (Crini, 2006). Kelemahan tersebut mendorong minat yang semakin besar akan bahan dan proses yang lebih murah yang mengarah pada penelitian dalam penggunaan residu pertanian dan pangan serta limbah lainnya (Kwiatkowski, 2012).

Residu pertanian, yang sebagian besar merupakan bahan lignoselulosa, memberikan keuntungan dengan memiliki komposisi kimia yang unik, seperti rendahnya kandungan bahan anorganik dan kandungan zat volatil yang relatif tinggi. Hal tersebut memungkinkan untuk pembuatan karbon aktif dengan jaringan pori yang terstruktur dengan baik dan kekuatan struktural yang memenuhi syarat. Selain itu, residu pertanian memberikan keuntungan karena

sebagian besar tersedia dari sumber yang terbarukan dan biaya rendah atau tanpa biaya sama sekali. Bahan lignoselulosa, seperti serbuk gergaji dan tempurung kelapa, merupakan bahan yang paling umum digunakan dalam pembuatan karbon aktif komersial, terhitung hampir 50% dari total bahan baku yang telah digunakan (Kwiatkowski, 2012). Tabel 2.1 menunjukkan data karakteristik dari sumber karbon aktif pada penelitian terdahulu.

Tabel 2.1 Karakteristik dari Sumber Karbon Aktif pada Penelitian Terdahulu

No.	Bahan Baku	Karakteristik	Referensi
1.	Biji Pepaya	- Mengandung senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, glikosida dll. - Memiliki kandungan karbon yang tinggi.	(Zustriani, 2019)
2.	Kulit Kacang Tanah	- Kandungan selulosa yang cukup tinggi	(Nurhasni, M.Si, Mar'af and Hendrawati, 2018)
3.	Batang Pisang	- Kandungan karbon yang tinggi - Struktur yang berongga	(Hidayah, Deviyani and Wicakso, 2012a)
4.	Tempurung Kelapa	- Kandungan karbon yang tinggi	(Budi <i>et al.</i> , 2012)

### 2.3 Pemilihan Batang Pisang sebagai Bahan Baku Karbon Aktif

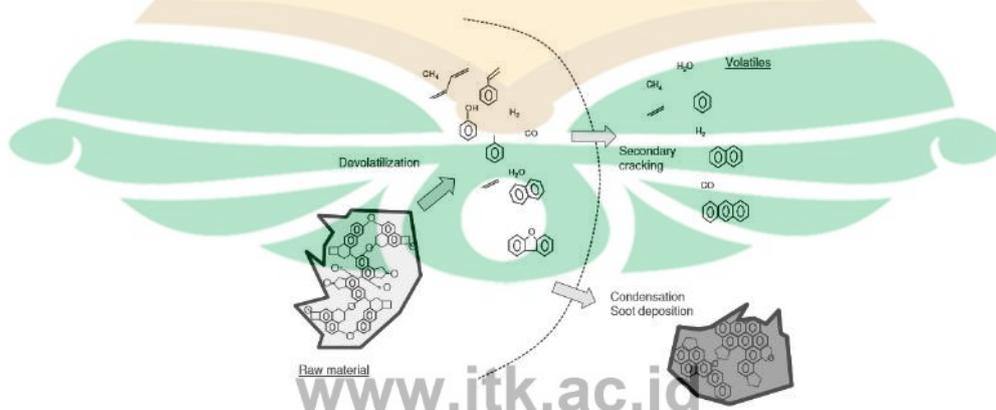
Bahan baku yang baik dalam pembuatan karbon aktif sebagai adsorben dapat berasal dari bahan organik yang memiliki kandungan selulosa tinggi, seperti tempurung kelapa, kayu, dan residu pertanian yang memiliki kandungan karbohidrat tinggi. Salah satu hasil residu pertanian adalah batang pisang. Batang pisang memiliki kandungan selulosa yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan kandungan logam berat pada air maupun limbah cair (Walanda, 2018). Kadar selulosa pada batang pisang kering sekitar 40% dan kadar lignin sekitar 12% (Mohapatra, Mishra and Sutar, 2010).

Selulosa merupakan senyawa organik yang memiliki potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai penjerap karena gugus OH yang terikat pada selulosa, apabila dipanaskan menggunakan suhu tinggi akan melepaskan atom hidrogen dan oksigen sehingga hanya terdapat atom karbon (Muna, 2011). Kadar

karbon yang terikat pada karbon aktif yang diizinkan berdasarkan SII No.0258-88 minimum sebesar 65%, dan setelah dilakukan penelitian kadar karbon pada batang pisang adalah sebesar 94,323% (Suziyana; Syarfi Daud; Edward HS, 2017). Faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya kadar karbon yang terikat pada karbon aktif ialah kadar abu serta zat terbang yang dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan lignin yang dikonversi menjadi atom karbon, semakin tinggi kandungan selulosanya maka semakin besar pembentukan atom karbonnya (Adinata, 2013). Penggunaan batang pisang sebagai adsorben karbon aktif dapat menurunkan kadar logam Fe dalam air sebesar 80,31% (Suziyana; Syarfi Daud; Edward HS, 2017).

#### 2.4 Metode Aktivasi Karbon Aktif

Pada pembuatan karbon aktif terdapat dua metode aktivasi yaitu fisika dan kimia. Dalam aktivasi fisika umumnya terdapat dua tahap, tahap pertama merupakan karbonisasi dimana bahan baku mengalami devolatilisasi untuk menghasilkan arang karbon. Tahap kedua adalah aktivasi, dimana arang karbon dipanaskan pada suhu sekitar 800-1000°C dan dialirkan gas pengoksidasi seperti uap, oksigen atau CO<sub>2</sub> (Menendez-Diaz and Martin-Gullon, 2006). Karbonisasi dilakukan pada atmosfer inert dan bertujuan untuk menghasilkan struktur pori pada arang karbon. Pada gambar 2.2 dapat dilihat bahwa bahan baku karbon dipanaskan sehingga terdekomposisi menjadi arang, tar dan gas. Selanjutnya senyawa volatil seperti CO, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub> mengalami pemecahan dan terurai sehingga menyebabkan pembentukan pori pada karbon aktif (Menéndez-Díaz and Martín-Gullón, 2006).



Gambar 2.2 Skema Reaksi Karbonisasi

Aktivasi kimia pada umumnya digunakan untuk bahan baku yang mengandung selulosa. Pada aktivasi kimia, karbon aktif diaktifkan dengan penambahan bahan kimia. Bahan pengaktif berfungsi sebagai *dehydrating agent* dapat menghambat pembentukan tar, dan meningkatkan kandungan karbon pada karbon aktif. Zat pengaktif dapat menjerap hingga ke bagian dalam karbon dan menghilangkan zat pengotor pada karbon sehingga dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif. Dalam proses aktivasi kimia, variabel yang mempengaruhi ialah waktu perendaman, perbandingan antara karbon dengan bahan kimia yang digunakan. Dibandingkan dengan aktivasi fisika, aktivasi kimia lebih ekonomis karena menggunakan suhu yang lebih rendah, waktu yang lebih singkat dan efisiensi karbon yang dihasilkan lebih tinggi. Selain itu karbon aktif yang mengalami aktivasi kimia memiliki struktur berpori yang lebih baik dibandingkan dengan aktivasi fisika (Heidarinejad *et al.*, 2020). Bahan kimia bereaksi dengan matriks karbon dan melepaskan produk gas untuk membentuk struktur berpori pada karbon aktif (Rodr, 2004).

## **2.5 Permukaan Kimia Karbon Aktif**

Karakteristik kimia dari karbon aktif sebagian besar ditentukan oleh heterogenitas permukaan kimia karbon aktif yang berhubungan dengan keberadaan heteroatom dalam struktur karbon aktif seperti oksigen, nitrogen, hidrogen, belerang dan fosfor. Jenis dan jumlah heteroatom pada karbon aktif tergantung dengan sifat awal dari bahan baku karbon aktif. Gugus fungsional dari permukaan karbon aktif menentukan karakter asam atau basa dari permukaan karbon aktif (Shafeeyan *et al.*, 2010)

### **2.5.1 Permukaan Asam**

Karakter permukaan asam karbon aktif terbentuk dengan banyaknya permukaan yang mengandung oksigen. Permukaan oksigen pada permukaan karbon sangat mempengaruhi kemampuan adsorpsi dari karbon aktif. Beberapa contoh gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan karbon antara lain gugus karboksilat, fenol, karbonil, piron, gugus ester. Kelompok fungsional oksigen dikelompokkan menjadi tiga kelas menurut sifat kimianya yaitu asam, basa dan netral. Gugus fungsi seperti asam karboksilat atau anhidrida karboksilat,

laktone dan hidroksil fenolik adalah sumber keasaman pada permukaan karbon. Gugus fungsi oksigen terbentuk ketika permukaan karbon aktif teroksidasi. Aktivasi fase gas biasanya menggunakan oksigen, karbon dioksida dan uap. Pada fase gas, oksidasi pada suhu rendah menyebabkan pembentukan gugus asam kuat seperti karboksilat sementara oksidasi suhu tinggi dapat membentuk gugus asam lemah seperti fenolik. Oksidasi fase cair menghasilkan gugus oksigen yang terbentuk lebih banyak dan suhu yang digunakan lebih rendah dibandingkan dengan fase gas. Pada fase cair zat pengoksidasi yang digunakan salah satunya adalah asam nitrat. Asam nitrat merupakan zat pengoksidasi yang sangat efektif karena dapat membentuk sejumlah gugus asam pada permukaan karbon seperti karboksilat, laktone, dan hidroksil fenolik (Shafeeyan *et al.*, 2010).

#### 2.5.2 Permukaan Basa

Kebasaan karbon aktif diakibatkan elektron pada cincin aromatik yang menarik proton dan gugus permukaan basa seperti gugus yang mengandung nitrogen yang mampu mengikat proton. Gugus fungsi oksigen tertentu seperti *chromene*, *ketone*, *pyrone* dapat berkontribusi pada keasaman karbon. Sifat basa pada karbon aktif diakibatkan dari delokalisasi elektron pada pori karbon aktif (Shafeeyan *et al.*, 2010)

### 2.6 Pemilihan Aktivator

Aktivator adalah senyawa kimia yang berfungsi sebagai zat pengaktif yang dapat mengaktifkan atom-atom karbon sehingga daya jerapnya menjadi lebih baik. Zat aktivator bersifat mengikat air, sehingga menyebabkan air yang tidak menguap pada proses karbonisasi dapat terikat pada aktivator. Selanjutnya zat aktivator tersebut akan memasuki pori dan membuka permukaan arang yang tertutup. Sehingga pada saat dilakukan pemanasan, senyawa pengotor yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terserap oleh zat aktivator dan memperbesar luas permukaan karbon aktif serta meningkatkan daya jerapnya (Kwiatkowski, 2012).

Aktivator membantu dalam pembentukan dan pembesaran pori-pori pada karbon aktif, sehingga meningkatkan luas permukaan dan volume pori karbon aktif. Dalam mengubah susunan kimia permukaan karbon, zat aktivator mengubah fungsi kimia dari permukaan karbon aktif, contohnya kemampuan afinitasnya

terhadap adsorbat tertentu. Struktur pori yang dihasilkan dari karbon aktif tidak hanya dipengaruhi oleh sifat zat pengaktif yang digunakan, tetapi juga laju aliran gas (suhu dan tekanan karbonisasi) yang digunakan serta tingkat impregnasi, biasanya didefinisikan sebagai rasio antara massa dari massa bahan aktivator dan bahan kimia (Kwiatkowski, 2012).

Bahan kimia yang dapat digunakan sebagai pengaktif diantaranya adalah  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ , dan sebagainya. Semua bahan aktif ini umumnya bersifat sebagai pengikat air (Dąbrowski *et al.*, 2005). Penggunaan aktivator dapat menghasilkan struktur yang berbeda-beda seperti,  $\text{KOH}$  menghasilkan pembentukan mikropori setelah dikarbonisasi,  $\text{ZnCl}_2$  menghasilkan mesopori, dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menghasilkan distribusi ukuran pori yang tidak sejenis (Molina-Sabio and Rodríguez-Reinoso, 2004). Penggunaan aktivator lain, seperti  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NaCl}$  dikarenakan memiliki sifat *dehydrating agent*, dapat mencegah pembentukan tar, meningkatkan pelepasan zat volatile pada karbon dan dapat membentuk struktur pori pada karbon dengan baik (Dzigbor, 2019) (St, Chadijah and Aisyah, 2008) Tabel 2.2 menyajikan data penelitian terdahulu mengenai pemilihan metode aktivasi dan aktivator serta kondisi operasi dalam pembuatan karbon aktif dari batang pisang. Tabel 2.3 menyajikan data penelitian terdahulu mengenai penggunaan aktivator  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NaCl}$  terhadap penurunan kadar Fe dalam air.

Molekul  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ini bersifat *hetero-withdrawing* atom sehingga penambahan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ini akan menyebabkan sebagian molekul karbon yang terdapat pada karbon aktif kehilangan elektron. Kehilangan elektron pada karbon ini akan menyebabkan karbon lebih bermuatan positif (*-I effect* meningkat). Akibatnya akan terbentuk suatu karbon yang bersifat elektrofilik. Adanya molekul oksigen dan hidrogen dalam air yang merupakan atom nukleofilik menyebabkan terbentuknya gugus karboksil dan lakton baru dalam karbon sehingga jumlah gugus karboksil dan lakton dalam karbon aktif akan meningkat (Wibowo, Setiawan and Ismadji, 2004).

Aktivator  $\text{NaCl}$  memiliki sifat *dehydrating agent* yang dapat membatasi pembentukan tar. Tar merupakan senyawa hidrokarbon pengotor hasil sisa pembakaran dari proses karbonisasi yang menutupi pori-pori karbon aktif.

Semakin banyak aktivator NaCl yang ditambahkan, maka pori-pori karbon akan semakin banyak yang terbuka. Pori-pori ini dapat memperluas bidang permukaan adsorpsi terhadap ion-ion logam (Radika, 2020). Selain itu, dengan meningkatnya konsentrasi impregnasi NaCl, menunjukkan bahwa jumlah C = O dan -OH pada permukaan karbon aktif meningkat (Fan *et al.*, 2019).

## 2.7 Adsorpsi secara *Batch*

Proses adsorpsi *batch* dilakukan untuk skala kecil seperti laboratorium, dengan cara mencampurkan media dan *solute*, juga dilakukan pengadukan agar terjadi kontak secara merata. Proses *batch* ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik adsorban yang digunakan dan dinyatakan dengan hubungan antara penurunan zat yang diserap dan berat adsorben yang digunakan pada koefisien dari persamaan yang ada. Selain itu, adsorpsi *batch* juga dapat digunakan untuk mengukur efisiensi *removal* dengan cara membandingkan konsentrasi limbah sebelum proses adsorpsi dan setelah proses adsorpsi (Selpia, 2018). Salah satu cara untuk mengetahui limbah yang tercemar adalah dengan menggunakan metode *batch*. Metode tersebut cukup baik karena bahan yang digunakan mempunyai tingkat keefektifan tinggi untuk menurunkan konsentrasi bahan pencemar yang terkandung dalam limbah cair. (Subarman, Saleh and Aisyah, 2013).

## 2.8 Metode Uji Standar Penentuan Bilangan Iodin

Metode uji standar penentuan bilangan iodin karbon aktif bertujuan untuk mengkarakterisasi secara kuantitatif kapasitas adsorpsi karbon aktif yang memiliki kapasitas adsorpsi tinggi. Uji ini merupakan salah satu indikasi yang tepat untuk mikroporositas karbon, karena molekul yodium sangat kecil. Bilangan yodium dapat digunakan sebagai perkiraan luas permukaan untuk beberapa jenis karbon aktif. Namun, harus diketahui bahwa hubungan antara luas permukaan dan bilangan iodium tidak dapat disamaratakan. Hal ini karena adsorpsi yodium pada karbon aktif bervariasi berdasarkan perubahan bahan baku karbon, kondisi pemrosesan, dan distribusi volume pori (ASTM, 2006; Sutter and Bentz, 2017).

Adanya zat volatil yang teradsorpsi, sulfur; dan air yang terdapat di permukaan karbon dapat memengaruhi penyerapan yodium dari karbon aktif. Perlakuan terhadap karbon diperlukan sebelum melakukan uji bilangan iodine. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk mengasamkan permukaan karbon dan menghilangkan belerang dari bahan tersebut. Yodium diubah menjadi iodida secara alami di lingkungan. Oleh karena itu pengasaman diperlukan untuk memastikan bahwa semua penurunan konsentrasi yodium yang diamati dihasilkan dari adsorpsi yodium daripada konversi menjadi iodida. Untuk metode yang dikembangkan, karbon diberi perlakuan dengan satu siklus perebusan dalam 5 wt.% HCl (ASTM, 2006).



[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

Tabel 2.2 Pemilihan Metode Aktivasi dan Aktivator serta Kondisi Operasi dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Batang Pisang

No.	Metode Aktivasi	Aktivator	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
1.	Kimia	KMnO <sub>4</sub> 0,1 M	500°C selama 30 menit	Penurunan kadar Fe dari 2,40 mg/L menjadi 0,01 mg/L atau sebesar 99,58%	(Hidayah, Deviyani and Wicakso, 2012a)
2.	Kimia	ZnCl <sub>2</sub> 0,1 M	500°C selama 30 menit	Penurunan kadar Fe dari 2,40 mg/L menjadi 0,35 mg/L atau sebesar 85,41%	(Hidayah, Deviyani and Wicakso, 2012a)
3.	Kimia	KMnO <sub>4</sub> 0,1 M	500°C selama 30 menit	Penurunan kadar Fe dari 0,3672 mg/L menjadi 0,027 mg/L atau sebesar 92,65%	(Suziyana; Syarfi Daud; Edward HS, 2017)

Tabel 2.3 Penggunaan aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaCl terhadap penurunan kadar Fe dalam air

No.	Bahan Baku	Aktivator	Hasil	Referensi
1.	Kulit Singkong	NaCl	Penurunan kadar Fe dari 1,19 mg/L menjadi 0,089 mg/L sebesar 92,52%	(Radika, 2020)
2.	Tempurung Kelapa	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Penurunan kadar Fe dari 6,71 mg/L menjadi 0,4226 mg/L atau sebesar 93,71%	(Nunik and DG Okayadnya, 2013)
3.	Tempurung Kemiri		Penurunan kadar Fe 0,579171 mg/L menjadi 0,4226 mg/L sebesar 91,38%	(Nunik and DG Okayadnya, 2013)