

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kelapa Muda**

Tanaman kelapa merupakan tanaman yang banyak dijumpai di seluruh pelosok Nusantara, sehingga hasil alam berupa kelapa di Indonesia sangat melimpah. Sampai saat ini pemanfaatan limbah berupa sabut kelapa muda masih terbatas pada industri-industri mebel dan kerajinan rumah tangga dan belum diolah menjadi produk teknologi (Apriani, 2017). Berbeda dengan tempurung kelapa, sabut kelapa sebagian besar digunakan sebagai bahan bakar seperti bahan bakar boiler dan sumber serat untuk tali dengan jumlah yang relatif sedikit dan terbatas pada industri tradisional seperti industri pembuatan tikar, kuas, dan karung (Foo dan Hameed, 2012). Sekitar 35% dari total buah kelapa merupakan berat sabut kelapa dan dari 16.000 butir kelapa dapat menghasilkan sebanyak 2.800 kg serat sabut (Maulana dkk., 2019).

Sabut kelapa muda disusun atas jaringan yang kuat yang mengandung  $\alpha$  selulosa sebesar 78,48 % serta hemiselulosa sebesar 27,7% (Maulana dkk., 2019).  $\alpha$  selulosa (*alpha cellulose*) adalah selulosa berantai panjang dengan DP (derajat polimerisasi) berkisar 600-1500.  $\alpha$  selulosa dipakai sebagai penduga atau penentu tingkat kemurnian selulosa (Paskawati dkk., 2010). Hemiselulosa merupakan senyawa sejenis polisakarida yang terdapat pada semua jenis serat, mudah larut dalam alkali dan mudah terhidrolisis oleh asam mineral menjadi gula dan senyawa lain. Hemiselulosa lebih mudah larut daripada selulosa dan dapat diisolasi dari kayu dengan cara ekstraksi, dan mudah mengembang jika terkena air (Paskawati dkk., 2010).

Sabut kelapa muda juga memiliki beberapa keunggulan salah satunya memiliki kuat tarik sebesar 46,67 N/mm<sup>2</sup> sehingga tidak mudah lapuk, ringan, elastis, lebih nyaman dalam penggunaannya (Maulana dkk., 2019). Hasil dan kualitas sabut kelapa muda bergantung pada faktor-faktor seperti umur sekam, varietas sekam, kondisi musim, dan lokasi. Berat sekam sekitar 35% dari berat buah, mengandung 30% - 50% sabut, sehingga *yield* sabut adalah sekitar 10% - 17.5% dari berat buah (Mishra dan Basu, 2020). Panjang sabut kelapa muda berkisar antara 8- 337 mm. Kepadatan sabut kelapa mentah yang belum dibasahi dilaporkan sebesar 1,15 g/cm<sup>3</sup>. Sabut kelapa yang memiliki panjang sabut pendek

lebih kuat dari pada sabut panjang (Mishra dan Basu, 2020). Sabut kelapa muda juga mengandung tanin dalam komposisinya yang berfungsi sebagai fungisida alami sehingga lebih tahan terhadap serangan jamur dan serangga (Fiorelli dkk., 2019). Komposisi kimia sabut kelapa muda dijabarkan lebih lanjut pada Tabel 2.1. di bawah.

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Sabut dan Serat Sabut Kelapa Muda

No	Komponen	Sabut (%)	Serat Sabut (%)
1	Air	26,00	5,25
2	Pektin	14,25	3,00
3	Hemiselulosa	8,50	0,25
4	Lignin	29,23	45,84
5	Selulosa	21,07	43,44

(Harwanda, 2015)

Kandungan utama suatu adsorben yang berasal dari bahan alam yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa memiliki gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut adalah gugus karboksil dan hidroksil (Kardiman dkk., 2019).

Dalam sabut kelapa muda terdapat beberapa komponen dasar berupa :

a. Selulosa

Selulosa merupakan komponen utama serat tumbuhan dan merupakan senyawa organik yang tidak larut dalam air dengan rumus kimia  $(C_6H_{10}O_5)_n$  yang berfungsi sebagai komponen penyusun struktur tumbuhan. Selulosa terdiri atas molekul glukosa linier dan rantai panjang. Komponen ini terdapat pada dinding sel tanaman bersama dengan hemiselulosa dan lignin. Oleh karena itu, serat tumbuhan sering disebut sebagai lignoselulosa. Selulosa terdiri dari 7.000 hingga 15.000 molekul glukosa. Selulosa tidak larut dalam air, asam, dan basa pada suhu kamar. Struktur selulosa adalah kristal 60-70% dan amorf 30-40% serta tidak mudah terhidrolisis (Zuhroh, 2015).

b. Hemiselulosa

Hemiselulosa terdiri dari rantai pendek glukosa bercabang. Secara biokimia, hemiselulosa merupakan polisakarida yang dapat diekstraksi dari larutan alkali. Monomer yang membentuk hemiselulosa umumnya rantai D-glukosa yang mengikat berbagai monosakarida pada rantai. Hemiselulosa merupakan heteropolimer (matriks polisakarida) yang mengandung 200 monosakarida. Hemiselulosa dan selulosa hidup berdampingan di dinding sel

yang keduanya terikat oleh pektin. Struktur terbesarnya berupa amorf dan sebagian kecil berupa kristalin. Hemiselulosa mudah dihidrolisis oleh asam encer, alkali, atau enzim. Hemiselulosa mengandung monomer-monomer gula berupa xilosa, mannososa, galaktosa, rhamnosa, arabinosa, dan glukosa. Xilosa merupakan monomer gula paling melimpah pada hemiselulosa (Zuhroh, 2015).

### c. Lignin

Lignin merupakan jaringan polimer fenolik tiga dimensi yang secara fungsional melekat pada serat selulosa untuk membuatnya kaku. Komposisi bahan ini tergantung pada jenis tanaman. Tidak seperti selulosa yang kandungan utamanya kebanyakan terdiri dari gugus karbohidrat, lignin dibentuk dengan mengikat gugus aromatik satu sama lain oleh rantai lemak yang terdiri dari beberapa atom karbon. Lignin merupakan polimer kompleks fenilpropana yang mudah dipecah oleh asam, basa, atau enzim (Zuhroh, 2015). Lignin memiliki gugus fungsi seperti aldehida, keton, asam, fenol, dan eter sehingga dapat terjadi Adsorpsi kimia (Ifa dkk., 2020). Selain selulosa, kandungan lignin yang menyusun hampir 45% dari serat sabut kelapa muda memberi keuntungan dalam menjadikan sabut kelapa muda sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif dikarenakan hampir 60% penyusun lignin adalah karbon (Putri, 2021).

## 2.2. Adsorpsi

### 2.2.1 Definisi Adsorpsi

Menurut Pambudi (2013), adsorpsi adalah suatu peristiwa penyerapan pada lapisan permukaan atau antar fasa, dimana molekul dari suatu materi terkumpul pada bahan pengadsorpsi atau adsorben. Proses adsorpsi dapat terjadi pada seluruh permukaan benda, tetapi yang sering terjadi adalah bahan padat menyerap partikel yang berada pada limbah cair. Bahan yang diserap disebut adsorbat atau *solute*, sedangkan bahan penyerapnya disebut adsorben. Material-material yang dapat digunakan sebagai adsorben diantaranya adalah asam humat, tanah diatomae, bentonit, biomassa, mikroorganisme air, karbon aktif, alumina, silika gel, dan zeolit. Adsorpsi yang terjadi pada permukaan zat padat disebabkan oleh adanya gaya tarik atom atau molekul pada

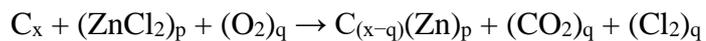
permukaan zat padat. Energi potensial permukaan molekul turun dengan mendekatnya molekul ke permukaan. Molekul teradsorpsi dapat dianggap membentuk fasa dua dimensi dan biasanya terkonsentrasi pada permukaan atau antar muka (Purwaningsih, 2009). Adsorpsi dibatasi terutama oleh proses *film diffusion* atau *pore diffusion*, tergantung besarnya pergolakan dalam sistem (Syauqiah dkk., 2011). Jika pergolakan yang terjadi relatif kecil maka lapisan *film* yang mengelilingi partikel akan menjadi tebal sehingga adsorpsi berlangsung lambat. Sebaliknya, jika dilakukan pengadukan yang menyebabkan pergolakan yang cukup, maka kecepatan difusi *film* akan meningkat (Syauqiah dkk., 2011). Metode adsorpsi memiliki beberapa kelebihan di antaranya adalah prosesnya relatif sederhana, efektivitas dan efisiensinya relatif tinggi serta tidak memberikan efek samping berupa zat beracun (Kardiman dkk., 2019).

### 2.2.2 Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu secara fisika (fisiosorpsi) dan secara kimia (kemisorpsi) (Syauqiah dkk., 2011). Pada proses fisiosorpsi, gaya van der Waals membuat adsorbat terikat dengan adsorben. Molekul yang terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol (Syauqiah dkk., 2011). Sedangkan kemisorpsi melibatkan interaksi antara adsorbat dan adsorben melalui pembentukan ikatan kimia yang diawali dengan adsorpsi fisik, dilanjutkan dengan melekatnya partikel pada permukaan dengan membentuk ikatan kovalen dan cenderung mencari tempat yang dapat memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat. Adsorpsi kimia menghasilkan pembentukan lapisan monomolekular adsorbat pada permukaan melalui gaya-gaya dari valensi sisa dari molekul-molekul pada permukaan. Mekanisme proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben secara kimia dan fisika (Syauqiah dkk., 2011).

Menurut (Namasivayam dan Sangeetha, 2004), proses adsorpsi oleh karbon aktif yang diaktivasi secara kimia dengan aktivator  $ZnCl_2$  berlangsung

dengan mekanisme reaksi sebagai berikut :



dimana x merupakan jumlah molekul karbon yang diperoleh dari bahan berkarbon yang dibutuhkan untuk langkah aktivasi, p mewakili jumlah molekul ZnCl<sub>2</sub> yang digunakan dalam proses aktivasi, dan q mewakili jumlah molekul oksigen terbatas yang ada dalam rongga bahan yang sedang diaktifkan.

Pada adsorpsi padat-cair, mekanisme adsorpsi bergantung pada faktor-faktor seperti gaya interaksi antara molekul adsorbat dengan permukaan, gaya interaksi antara molekul pelarut dengan permukaan adsorben, dan gaya interaksi antara molekul dari komponen larutan dengan lapisan permukaan adsorben dan pori-porinya. Kecepatan adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi, luas permukaan, suhu, ukuran partikel, pH dan waktu kontak. Konsentrasi kesetimbangan permukaan terbentuk dengan cepat dan perlahan berdifusi ke dalam partikel karbon. Laju adsorpsi keseluruhan dikendalikan oleh laju di mana molekul zat terlarut berdifusi ke dalam pori-pori kapiler partikel karbon. Laju adsorpsi bervariasi seiring dengan akar pangkat dua dari waktu kontak dengan adsorben (Weber, 1992).

### 2.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor terpenting dalam proses adsorpsi adalah luas permukaan. Suatu molekul pada antarmuka mengalami ketidakseimbangan gaya. Akibatnya, molekul molekul pada permukaan ini mudah sekali menarik molekul lain, sehingga keseimbangan gaya akan tercapai (Zuhroh, 2015).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain (Syauqiah dkk., 2011) :

#### a. Sifat Fisik dan Kimia Adsorben

Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan. Struktur pori-pori berhubungan dengan luas permukaan. Semakin besar luas permukaan maka akan semakin cepat laju adsorpsinya. Untuk mempercepat proses adsorpsi, disarankan untuk

menggunakan adsorben yang telah dihaluskan.

b. Sifat Fisik dan Kimia Adsorbat

Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh adsorben, namun kapasitas adsorpsi masing-masing senyawa berbeda. Ketika ukuran molekul meningkat, kapasitas adsorpsi akan bertambah secara linear.

c. Jenis Adsorbat

Peningkatan polaritas suatu adsorbat meningkatkan kapasitas adsorpsi molekul dengan polaritas lebih tinggi (polar) dan memiliki kemampuan untuk menarik molekul lain daripada yang tidak dapat membentuk dipol (non-polar). Dengan adanya peningkatan berat molekul adsorbat, kapasitas adsorpsi pun dapat ditingkatkan. Adsorbat dengan rantai bercabang relatif lebih mudah teradsorpsi daripada adsorbat dengan rantai lurus.

d. Luas permukaan

Semakin luas permukaan suatu adsorben, maka semakin banyak zat yang akan teradsorpsi. Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben yang digunakan.

e. Konsentrasi Adsorbat Dalam Larutan

Semakin tinggi konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak kuantitas adsorben yang digunakan.

f. Temperatur

Ketika adsorben dipanaskan atau diaktifkan, kapasitas adsorpsi adsorben terhadap adsorbat akan meningkat dan pori-pori adsorben lebih terbuka. Pemanasan dengan temperatur terlalu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben sehingga terjadi penurunan kemampuan penyerapan.

g. pH

pH larutan mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi pada adsorben, dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi.

h. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap rasio waktu kontak antara adsorben dan adsorbat. Pengadukan yang terlalu lambat akan membuat proses adsorpsi menjadi lambat, namun jika pengadukan yang terjadi terlalu cepat, struktur adsorben akan cepat rusak, sehingga proses adsorpsi tidak akan

mencapai efisiensi yang optimal.

i. Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu tinggal.

j. Waktu Tinggal

Ketika adsorben ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan (equilibrium). Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah adsorben yang digunakan. Untuk solusi dengan viskositas tinggi akan memerlukan waktu tinggal yang lebih lama. Waktu tinggal dipengaruhi oleh tipe biomassa (jumlah dan jenis ruang pengikatan), ukuran dan fisiologi biomassa (aktif atau tidak aktif), ion yang terlibat dalam proses adsorpsi, dan konsentrasi ion logam.

#### 2.2.4 Kesetimbangan Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi terjadi ketika molekul adsorben bergerak dari larutan ke padatan sampai larutan bersentuhan dengan adsorben padat dan konsentrasi adsorben terlarut dan padatan berada dalam kesetimbangan (Syauqiah dkk., 2011). Dalam mengukur kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan cara pengukuran konsentrasi adsorbat larutan awal dan pada saat terjadi kesetimbangan. Model kesetimbangan yang sering digunakan pada sistem adsorpsi adalah model isotherm Freundlich dan Langmuir.

1. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm Freundlich didasarkan pada pendapat bahwa permukaan adsorben adalah heterogen dan potensi penyerapan setiap molekul berbeda-beda, serta pendapat bahwa adsorpsi terjadi secara *multilayer* dengan distribusi panas dan afinitas adsorpsi yang tidak seragam pada permukaan adsorben sehingga persamaan isoterm Freundlich sering digunakan dalam penetapan praktis karena umumnya memberikan korelasi yang memuaskan (Arif, 2014).

Pendekatan isoterm adsorpsi yang umum digunakan dijelaskan oleh

Freundlich, dimana  $y$  merupakan massa zat terlarut per gram adsorben dan  $c$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan. Dari konsep tersebut dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{X_m}{m} = k \cdot C^{1/n}$$
$$\log\left(\frac{X_m}{m}\right) = \log k + \frac{1}{n} \cdot \log C$$

(Arif, 2014)

Dimana :

$X_m$  : Berat zat yang diadsorpsi

$m$  : Berat adsorben

$C$  : Konsentrasi zat

Nilai  $k$  dan  $n$  merupakan konstanta adsorpsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Bila dibuat kurva  $\log x/m$  terhadap  $\log C$  akan diperoleh persamaan linear dengan *intercept*  $\log k$  dan *slope*  $1/n$ , sehingga nilai  $k$  dan  $n$  dapat dihitung (Arif, 2014).

## 2. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Isoterm Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben (Arif, 2014). Isoterm Langmuir adalah proses adsorpsi yang berlangsung secara kimisorpsi satu lapisan. Kimisorpsi adalah adsorpsi yang terjadi melalui ikatan kimia yang sangat kuat antara tapak aktif permukaan dengan molekul adsorbat dan dipengaruhi oleh densitas elektron. Adsorpsi lapisan tunggal terjadi karena empat ikatan kimia biasanya bersifat spesifik, sehingga permukaan adsorben dapat mengikat adsorbat dengan ikatan kimia (Arif, 2014). Pada permukaan adsorben terdapat situs-situs aktif bersifat homogen yang proporsional dengan luas permukaan. Masing-masing situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat saja sehingga adsorpsi hanya akan terbatas pada pembentukan lapisan tunggal (monolayer) (Nurhasni dkk., 2010).

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara

teoritis dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi sebagai berikut :

$$W = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot c}{1 + \beta \cdot c}$$

Konstanta  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat ditemukan dari kurva hubungan  $\frac{c}{W}$  terhadap  $c$  dengan persamaan :

$$\frac{c}{W} = \frac{1}{\alpha\beta} + \frac{1}{\alpha} c$$

(Arif, 2014)

Dimana :

- W : Massa adsorbat yang teradsorpsi per-gram adsorben
- c : Konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (ppm)
- $\alpha$  dan  $\beta$  : Konstanta empiris

## 2.3. Karbon Aktif

### 2.3.1 Definisi Karbon Aktif

Karbon aktif adalah arang yang dapat digunakan sebagai adsorben dengan pengolahan lebih lanjut pada suhu tinggi menggunakan CO<sub>2</sub>, *steam*, atau bahan kimia yang bertujuan untuk membuka pori-porinya dan dapat digunakan sebagai adsorben (Zuhroh, 2015). Karbon aktif memiliki struktur *amorphous* atau mikrokristalin yang sebagian besar terdiri dari karbon dengan permukaan dalam (*internal surface*), biasanya diperoleh dengan perlakuan khusus dan memiliki luas permukaan berkisar antara 300-2000 m<sup>2</sup>/g (Zuhroh, 2015). Luas permukaan inilah yang merupakan sifat fisik terpenting dari karbon aktif yang memungkinkan adsorpsi fisik gas, uap, dan zat terlarut atau terdispersi dari cairan (Mohammad-Khah dan Ansari, 2009). Karbon aktif bermuatan (+) sehingga dapat mengikat polutan anion seperti NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup> pada permukaan matriks karbon melalui pembentukan ikatan ion dan mengikat kation seperti ion Pb<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, dan Mn<sup>2+</sup> melalui mekanisme pertukaran ion (Wang dkk., 2014).

Perbedaan antara karbon aktif dan karbon yang belum diaktivasi

terdapat pada sifat permukaannya. Permukaan pada karbon masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang dapat menghambat keaktifannya, sedangkan pada karbon aktif permukaannya relatif telah bebas dari deposit sehingga memiliki daya adsorpsi karena permukaannya yang luas dan pori-porinya telah terbuka (Maulinda dkk., 2017). Permintaan dunia akan karbon aktif berkisar sekitar 1,1 juta ton per tahun, dan diperkirakan akan terus meningkat lebih dari 10%/tahun selama 5 tahun ke depan (Özhan dkk., 2014).

Karbon aktif dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki pori. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Apriani dkk. (2013), karbon aktif dapat menyerap Fe (II) di air gambut. Hasil penelitian Apriani dkk. (2013) menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi Fe (II) pada air gambut menggunakan karbon aktif kulit durian yang telah diaktivasi dengan larutan KOH 25% (m/v) adalah sebanyak 85,38%, dari 2,6 mg/L menjadi 0,38 mg/L. Selain itu, penggunaan karbon aktif sebagai adsorben juga dapat digunakan untuk mengurangi kadar bahan organik pada air limbah industri dengan efisiensi 94,45% (Aluyor dan Badmus, 2008). Luas permukaan arang aktif berkisar antara 300-3500 m<sup>2</sup>/gram dan hal ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif bersifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu (adsorpsinya bersifat selektif), bergantung pada besar atau volume pori-pori, dan luas permukaan. Daya jerap arang aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat arang aktif. Arang aktif (karbon aktif) digunakan untuk berbagai tujuan. Sebagai penghilang warna, karbon aktif yang memiliki luas permukaan yang sangat besar, demikian pula volume porinya, jauh lebih efisien daripada arang tanpa aktivasi. Karbon aktif juga dapat terbuat dari biomaterial diantaranya kulit hazelnut (Cimono, dkk., 2000)

### 2.3.2 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif melibatkan dua tahap utama, karbonisasi material utama yang mengandung unsur karbon dan aktivasi arang yang dihasilkan. Karbonisasi terdiri dari dua tahap penting yang menentukan sifat-sifat produk akhir. Tahap pertama adalah tahap pelunakan dan tahap kedua

adalah tahap penyusutan. Pada tahap pertama karbonisasi, yaitu tahap pelunakan, laju pemanasan yang rendah mendukung pembentukan pori-pori, karena gas dapat dilepaskan secara perlahan tanpa hancur atau terdeformasi. Di sisi lain, laju pemanasan yang rendah mendorong karbonisasi tahap kedua, yaitu tahap penyusutan, menghasilkan arang yang lebih padat dan lebih keras, yang mengurangi volume pori (Tay dkk., 2001).

Karbonisasi melalui pemanasan pada suhu 300-800°C dengan oksigen terbatas pada waktu tertentu (Manurung dkk., 2019). Suhu pemanasan yang terlalu rendah tidak dapat menghasilkan karbon aktif dengan porositas yang baik. Suhu tinggi meningkatkan pengembangan porositas produk, namun suhu di atas 600°C mampu menyebabkan penurunan yang signifikan, yang mungkin disebabkan oleh efek *sintering* yang menghancurkan dinding pori antara pori-pori yang berdekatan dan melebarkan mikropori ke meso- atau makropori (Tay dkk., 2001). Berdasarkan penjelasan sebelumnya, penting untuk mencari suhu yang tepat pada proses karbonisasi dikarenakan proses karbonisasi merupakan salah satu proses krusial yang mampu mempengaruhi kemampuan karbon aktif dalam menyerap senyawa-senyawa. Arang yang dihasilkan dari proses karbonisasi memiliki sifat lentur (elastis), namun memiliki luas permukaan yang rendah dan daya adsorpsi yang sangat kecil, sehingga diperlukan tahapan selanjutnya berupa aktivasi kimia agar memperbesar luas permukaan dan porositasnya (Manurung dkk., 2019).

Aktivasi pada arang bertujuan untuk menghilangkan atau melarutkan senyawa sisa hasil pemanasan yang menyumbat pori-pori arang sehingga menyebabkan daya adsorpsi arang menjadi kecil (Manurung dkk., 2019). Aktivasi pada arang terdiri dari 2 jenis metode, yaitu aktivasi fisik dan kimia. Aktivasi secara fisik dilakukan dengan menggunakan temperatur tinggi dan dialiri gas inert seperti CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, atau uap air. Sedangkan aktivasi secara kimia dapat menggunakan bahan kimia bersifat asam, basa, atau garam seperti HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dan ZnCl<sub>2</sub>. Beberapa keunggulan yang terdapat pada aktivasi kimia dibandingkan dengan aktivasi fisik adalah rendemen yang lebih tinggi, proses karbonisasi dan aktivasi yang dilakukan hanya pada satu tahap, suhu aktivasi lebih rendah, struktur pori lebih baik, waktu lebih

singkat, dan lebih banyak variasi agen aktivator (Yuliusman dkk., 2020). Aktivasi secara fisik dan kimia dapat dikombinasikan dalam proses pembuatan karbon aktif daripada hanya menggunakan salah satu metode, baik aktivasi kimia atau fisik saja.

Karbon aktif memiliki banyak aplikasi untuk pemurnian produk industri kimia, makanan, dan farmasi. Kegunaannya antara lain untuk menghilangkan rasa, warna, bau, dan kotoran lain yang tidak diinginkan seperti kotoran yang dapat memperlambat kristalisasi gula, menghilangkan kotoran organik dalam bak elektroplating, dan untuk memulihkan zat yang berguna dari aliran gas dan cairan (Mohammad-Khah dan Ansari, 2009). Sayangnya, karbon aktif yang tersedia secara komersial masih cenderung mahal harganya karena penggunaan bahan awal yang tidak terbarukan seperti batu bara, yang tidak dapat dibenarkan dalam aplikasi pengendalian polusi sehingga perlu adanya suatu terobosan pembaharuan dalam hal bahan baku yang murah, mudah ditemukan, dapat diperbaharui, dan memiliki efektivitas penjerapan yang tinggi sehingga dapat diaplikasikan dalam pengolahan air, salah satunya yaitu sabut kelapa muda. Tabel 2.2. di bawah menunjukkan perbandingan karakteristik antara karbon aktif sabut kelapa muda dengan karbon aktif komersial ditinjau dari beberapa parameter fisika dan kimianya.

Tabel 2.2. Perbandingan Karakteristik Antara Karbon Aktif Sabut Kelapa Dengan Karbon Aktif Komersial

Parameter	Karbon Aktif Sabut Kelapa Muda	Karbon Aktif Komersial
Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)	826	626
Volume mikropori (mL/g)	0,25	0,23
Diameter pori rata-rata (Å)	24	15
Kandungan abu (%)	14	22
Kerapatan massa (g/mL)	0,31	0,52
pH	4,3	5,6

(Chaudhuri dan Saminal, 2011)

Pada Tabel 2.2 di atas, dapat dilihat bahwa karbon aktif berbahan dasar limbah sabut kelapa muda memiliki beberapa keunggulan seperti luas permukaan, volume mikropori, diameter pori rata-rata yang lebih besar, serta kandungan abu yang lebih kecil dari karbon aktif komersial.

#### 2.4. *Zinc Chloride (ZnCl<sub>2</sub>)*

ZnCl<sub>2</sub> atau seng klorida adalah padatan tidak berwarna, tidak berbau, dan bersifat korosif. ZnCl<sub>2</sub> pada industri banyak digunakan sebagai bahan kimia perekat dan *sealant*, bahan kimia pertanian (non-pestisida), inhibitor korosi dan agen anti-*scaling*, agen penukar ion, agen pelapisan dan agen perawatan permukaan, alat bantu pemrosesan, dan penstabil polimer. ZnCl<sub>2</sub> merupakan salah satu aktivator yang paling banyak digunakan untuk aktivasi kimia bahan karbon. ZnCl<sub>2</sub> bertindak sebagai agen dehidrasi yang mengakibatkan dekomposisi bahan karbon selama proses pirolisis, agen pelarut mineral organik yang membatasi pembentukan tar sisa pembakaran yang menutupi pori-pori arang sehingga dan meningkatkan hasil rendemen karbon (Özhan dkk., (2014)). ZnCl<sub>2</sub> dapat mendukung pembentukan mikroporositas, memberikan luas permukaan yang sangat tinggi sehingga terjadi peningkatan produktivitas karbon aktif (Thuan dkk., 2016). Semakin tinggi konsentrasi aktivator maka semakin banyak pula mineral organik dan tar yang melarut, hal ini menyebabkan terbukanya pori-pori arang (memperluas permukaan karbon aktif) (Pambayun dkk., 2013).

Impregnasi dengan ZnCl<sub>2</sub> pada pembuatan karbon aktif akan menghasilkan degradasi bahan selulosa dan pada saat proses karbonisasi akan menghasilkan dehidrasi yang membentuk arang dan aromatisasi kerangka karbon dan pembentukan struktur pori (Caturla dkk., 1991). Reaksi antara prekursor dan ZnCl<sub>2</sub> menyebabkan pemecahan bahan lignoselulosa. ZnCl<sub>2</sub> mengimpregnasi biopolimer selulosa dan lignin yang menyebabkan reaksi dehidrasi awal, ikatan silang, dan peningkatan aromatisasi, Ikatan silang awal menghambat penyusutan pada perlakuan panas ke suhu yang lebih tinggi, yang mengarah pada pengembangan porositas (Mcenaney, 2002).

Mekanisme aktivasi karbon aktif dengan ZnCl<sub>2</sub> berdasarkan (Li dkk., 2020) menyebutkan bahwa ZnCl<sub>2</sub> bereaksi dengan air untuk membentuk asam hidroksi diklorozincik ( $\text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}[\text{ZnCl}_2(\text{OH})]$ ) ketika konsentrasi ZnCl<sub>2</sub> tinggi. Asam bersifat korosif dan membersihkan pengotor untuk membentuk struktur rongga. ZnCl<sub>2</sub> yang dicampur dengan karbon aktif mungkin tidak menguap dengan meningkatnya suhu dan sebaliknya, akan menyebabkan beberapa ZnCl<sub>2</sub> atau ZnO ( $\text{ZnCl}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{ZnO} + \text{HCl}$ ) tetap berada dalam struktur pori, yang dapat mengubah

pirolisis perilaku karbon dan mendapatkan tar yang lebih rendah. Pada saat yang sama, hasil karbon jauh lebih tinggi sebagai konsekuensi dari  $ZnCl_2$  yang menginduksi banyak atom H dan O dalam prekursor karbon untuk dihilangkan sebagai  $H_2O$  daripada berkembang dalam hidrokarbon atau berkembang dalam bahan organik teroksigenasi. Sisa rongga akan memberikan porositas tambahan dalam struktur internal setelah  $ZnCl_2/ZnO$  dihilangkan dengan pencucian.

Berdasarkan penelitian oleh Subha dan Namasivayam (2010), aktivasi sabut kelapa muda dengan  $ZnCl_2$  menghasilkan lebih banyak rongga antara lapisan karbon, yang mengarah ke lebih banyak mikroporositas dan lebih banyak luas permukaan dibandingkan dengan karbon yang disiapkan tanpa  $ZnCl_2$ . Peningkatan porositas dengan aktivasi  $ZnCl_2$  menunjukkan bahwa porositas yang diciptakan oleh reaktan ini disebabkan oleh ruang yang ditinggalkan oleh  $ZnCl_2$  setelah pencucian yang sesuai. Aktivasi  $ZnCl_2$  menyebabkan aksi elektrolitik yang disebut sebagai *swelling* dalam struktur molekul selulosa, yang menyebabkan pemutusan ikatan lateral dalam selulosa molekul, menghasilkan peningkatan rongga antar dan intra ruang pori.

## **2.5. Air Gambut**

Tanah gambut terbentuk dari proses pengendapan bahan organik yang dihasilkan dari akumulasi sisa-sisa tanaman atau pembusukan vegetasi di suatu cekungan. Pada tanah gambut terkandung air permukaan yang biasa disebut dengan air gambut, karena kandungan air pada permukaan tanah ini telah terpapar oleh cemaran kondisi lahan gambut di sekitarnya (Anggriawan dkk., 2015). Air gambut mengandung kadar pH rendah (3-4) yang bersifat sangat asam, memiliki kandungan zat organik tinggi, berwarna kuning keruh hingga coklat tua (pekat), dan kandungan logam Fe dan Mn yang tinggi (Istighfarini dkk., 2017).

Air gambut di Negara Indonesia merupakan salah satu sumber daya air yang berlimpah dan potensial. Pusat Sumber Daya Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral melaporkan bahwa hingga tahun 2006 sumber daya lahan gambut di Indonesia mencakup luas 26 juta ha yang tersebar di Pulau Kalimantan (+ 50%), Sumatera (+ 40%) sedangkan sisanya tersebar di Papua dan pulau-pulau lainnya. Lahan gambut Indonesia ini menempati posisi ke-4 terluas di dunia setelah Canada, Rusia dan Amerika Serikat (Tjahjono, 2007). Hal ini menandakan bahwa

potensi air gambut untuk diproses menjadi air bersih menjadi sangat besar. Masyarakat yang bermukim di lahan gambut umumnya berisiko mengalami gangguan kesehatan karena mengonsumsi air yang bersifat asam yang bisa membuat gigi menjadi keropos. Pada daerah gambut, umumnya air permukaan yang tersedia sebagai sumber air baku masih sulit dimanfaatkan untuk kehidupan sehari-hari. Hal ini karena permukaan daerah tersebut berwarna kuning atau coklat dan mengandung zat organik yang tinggi serta bersifat asam sehingga perlu pengolahan khusus sebelum siap untuk digunakan (Darmayanto, 2009). Air gambut dapat diolah menjadi air bersih dengan melihat kadar maksimum parameter yang diperbolehkan yaitu pada PERMENKES No.492/Per/IV/2010. Beberapa metode tentang pengolahan air gambut ini telah banyak dilakukan, di antaranya dengan menggunakan protein biji kelor sebagai koagulan, membran ultrafiltrasi dengan sistem aliran *dead-end*, membran ultrafiltrasi dengan sistem aliran *cross flow*, dan melalui proses elektrokoagulasi (Rahmawati dkk., 2018). Namun penggunaan metode-metode tersebut masih memiliki kelemahan salah satunya adalah biaya operasi yang mahal salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengubah air gambut menjadi air bersih adalah dengan metode adsorpsi.

## **2.6. Logam Fe dan Mn**

Air gambut memiliki kandungan logam pencemar seperti Fe dan Mn yang merupakan unsur bebas yang melekat pada tanah dan batuan atau berasal dari limbah industri (Anggriawan dkk., 2015). Kandungan Fe dalam air gambut bila melewati baku mutu air bersih yang sesuai dengan PERMENKES No.492/Per/IV/2010 akan menyebabkan gangguan kesehatan seperti iritasi pada kulit, gangguan pencernaan, dan gangguan pernapasan (Istighfarini dkk., (2017). Penyisihan kandungan Fe dan Mn pada air gambut dapat menggunakan beberapa metode antara lain koagulasi-flokulasi, filtrasi dan membran, presipitasi kimia, ion *exchange*, pelarut ekstraksi, dan adsorpsi. Dari beberapa metode yang telah disebutkan, metode adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam menyerap ion logam dari larutan karena memiliki keunggulan berupa prosesnya yang sederhana, kemampuan penyerapan yang tinggi, ramah lingkungan, dan biaya yang lebih ekonomis. Mengacu pada PERMENKES No.492/Per/IV/2010, baku mutu logam Fe dalam air minum adalah sebesar 0,3

mg/L dan logam Mn sebesar 0,4 mg/L.