

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Tempurung dan Arang Tempurung Kelapa

Pandolfo dkk (1994) telah menyelidiki hubungan yang terdapat antara berbagai varietas tumbuhan kelapa (*Cocos nucifera L*) dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif yang dipreparasi dari berbagai varietas tumbuhan kelapa.⁽⁹⁾

Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras, terutama terdiri dari lignin dan selulosa. Apabila tempurung kelapa dibakar dalam ruangan yang tidak berhubungan dengan udara pada temperatur tinggi, maka akan terjadi rangkaian proses penguraian penyusun tempurung tersebut menghasilkan arang di samping asap, tar dan gas yang berasal dari dekomposisi termal lignin dan selulosa.

2. 2. Karbon Aktif

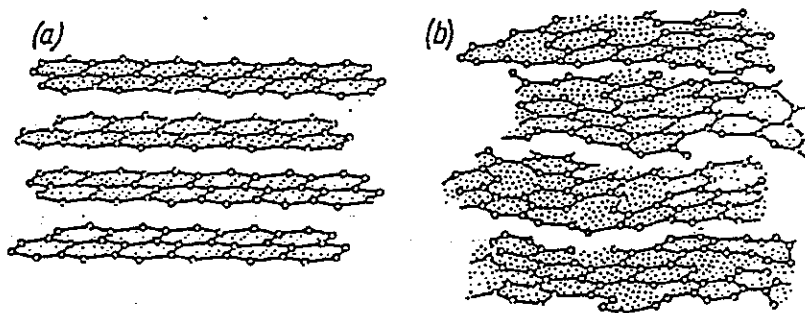
Karbon aktif diproses dari material yang mengandung karbon dan memiliki struktur pori yang berkembang dan terbuka sehingga luas permukaan spesifiknya besar. Kandungan karbon aktif terutama terdiri dari karbon (87-97%) tetapi juga mengandung unsur-unsur nonkarbon seperti hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang berasal dari bahan bakunya atau dihasilkan selama proses pembuatannya. Karbon aktif juga mengandung berbagai substansi mineral. Karbon aktif memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi berbagai substansi baik dari fasa gas maupun fasa cair. Volume pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm³/g dan luas

permukaan internal spesifiknya pada umumnya lebih dari $300 \text{ m}^2/\text{g}$ sementara dimensi linear atau jari-jari porinya berada dalam range 3 sampai beberapa ribu angstrom.⁽⁷⁾

Karbon aktif untuk semua tujuan dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bentuk bubuk dan granular. Karbon bentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan, misalnya untuk menghilangkan warna (*decolorisasi*) sedangkan karbon bentuk granular digunakan untuk adsorpsi gas dan uap. Namun dikenal pula karbon aktif granular yang digunakan dalam media larutan, khususnya untuk deklorinasi air minum, penghilangan warna larutan dan pemisahan komponen-komponen dalam sistem yang mengalir.

2. 2. 1. Struktur karbon aktif

Struktur pori (tekstur) maupun sifat kimia permukaan karbon aktif memiliki hubungan yang nyata dengan struktur kristalnya. Struktur mikrokristal yang menyerupai struktur grafit, gambar 2.1(a) merupakan unit dasar struktur karbon aktif, gambar 2.1(b). Susunan atom-atom karbon di dalam suatu mikrokristal elementer mengindikasikan keserupaannya dengan struktur grafit murni. Kristal grafit terdiri dari tumpukan pelat-pelat datar yang merupakan kondensasi dari cincin-cincin heksagonal beraturan dengan jarak antar pelat $3,35 \text{ \AA}$. Interaksi antar pelat didiagnosa sebagai gaya van der Waals. Panjang ikatan antara atom-atom karbon dalam masing-masing pelat adalah $1,415 \text{ \AA}$. Tiga dari keempat elektron atom karbon membentuk ikatan kovalen dengan tiga atom karbon yang berdekatan, sedangkan elektron keempat merupakan elektron- π yang terdelokalisasi dan dapat bergerak



Gambar 2.1.⁽⁷⁾ (a). Struktur grafit

(b). Struktur karbon aktif

bebas di dalam sistem ikatan rangkap terkonjugasi dari kondensasi cincin-cincin aromatik.⁽⁷⁾

2. 2. 2. Luas permukaan karbon aktif

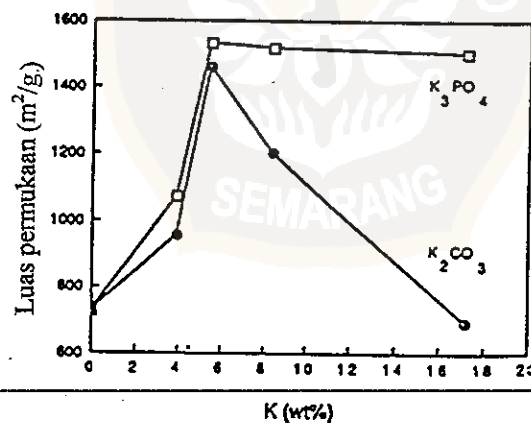
Faktor luas permukaan sangat berpengaruh dalam sistem katalis heterogen dan proses adsorpsi. Karena baik pada katalis maupun adsorben proses-proses kimia terjadi pada permukaannya, sehingga luas yang tersedia untuk proses-proses ini merupakan hal yang sangat penting.⁽¹⁰⁾

Permukaan nyata zat padat tidak pernah memiliki bentuk yang sempurna dan teratur, hampir selalu ada celah dan retakan, rongga atau saluran yang menembus jauh ke dalam, dan ini memberi sumbangan pada luas permukaan dalam (*internal surface*). Retakan yang dangkal dan lekukan dilain pihak memberi sumbangan pada luas permukaan luar (*eksternal surface*). Perbedaan kedua permukaan ini digambarkan dalam pernyataan, bahwa permukaan luar dapat meliputi semua bagian luar dan semua retakan atau celah yang mempunyai lebar lebih besar dibandingkan dengan kedalamannya. Sementara permukaan dalam terdiri dari luas dinding semua pori-pori

dan rongga yang mempunyai lebar lebih kecil jika dibanding dengan kedalamannya.⁽¹⁰⁾

Kebanyakan zat padat berpori memiliki luas permukaan dalam yang lebih besar dibanding luas permukaan luarnya, umumnya luas permukaan total zat padat berpori didominasi oleh permukaan dalamnya. Pada serbuk yang sangat lembut ditemui luas permukaan luar yang besar dan luas permukaan dalamnya dapat diabaikan. Dapat ditambahkan bahwa istilah permukaan dalam biasanya digunakan secara terbatas pada rongga-rongga atau pori-pori yang saling berhubungan atau terbuka terhadap bagian luar dari butiran dan tidak termasuk dinding dari pori-pori yang tertutup atau tidak mempunyai hubungan dengan bagian luar zat padat.⁽¹⁰⁾

Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang besar, berkisar antara 300-2000 m²/g. Luas permukaan karbon aktif yang besar ini dikarenakan karbon aktif



Gambar 2. 2.⁽³⁾ Pengaruh konsentrasi K₂CO₃ dan K₃PO₄ terhadap luas permukaan karbon aktif.

mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) karena struktur pori yang dimilikinya.⁽⁷⁾ Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Calafat dkk⁽³⁾ (1991),

pengaruh konsentrasi K_2CO_3 dan K_3PO_4 ditunjukkan dalam gambar 2.2. Pada konsentrasi yang lebih besar dari 6% K (b/v) K_2CO_3 menyebabkan menurunnya luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan dari bahan dasar tempurung kelapa, sedangkan pada K_3PO_4 tidak terjadi penurunan luas permukaan yang berarti.

2. 2. 3. Struktur pori karbon aktif

Walaupun pentingnya peranan permukaan dalam adsorpsi dan katalisis telah diketahui, namun lokasi permukaan tersebut juga sangat berpengaruh dalam proses-proses permukaan. Apakah suatu permukaan yang terletak dalam pori-pori yang sempit atau pori-pori yang lebar akan mempengaruhi jalannya proses-proses permukaan yang terjadi di dalamnya.⁽¹⁰⁾ Dengan adanya struktur pori juga akan memberikan luas permukaan yang lebih besar dan selektifitas adsorpsi dan desorpsi yang tinggi.⁽¹¹⁾

Secara morfologi Karnaukhov⁽¹¹⁾ mengusulkan konsep spon (*sponge concept*) yang didasarkan pada model struktur pori dalam hubungannya dengan aliran fluida, penetrasi zat cair dan adsorpsi gas di dalam pori-pori tersebut dan konsep korpuskular (*corpuscular concept*) yang merupakan tinjauan terhadap ruang antar partikel berdasarkan luas bidang kontak dan kesesakan pertikelnya untuk mengklasifikasi zat

padat berpori. Zat padat juga memiliki struktur kohesif yang bergantung pada interaksi antar partikel-partikel primernya. Struktur kohesif ini menyebabkan terjadinya suatu rongga atau ruang yang tidak ditempati oleh partikel-partikel komposit seperti atom-atom, ion-ion dan partikel-partikel yang sangat halus. Konsekuensinya keadaan dan populasi rongga-rongga tersebut sangat bergantung

pada gaya-gaya antar partikel yang berbeda untuk setiap sistem, yakni dapat berupa ikatan kimia, gaya van der Waals, gaya elektrostatis, gaya elektromagnetik dan lain-lain. Bahkan di dalam zat padat kristal tunggal yang tersusun dari atom-atom atau ion-ion memiliki rongga-rongga dan defek intrinsik. Pori-pori dalam zat padat diklasifikasikan ke dalam pori-pori intrapartikel dan pori-pori interpartikel.

Pori-pori intrapartikel meliputi pori-pori intrapartikel intrinsik dan pori-pori intrapartikel ekstrinsik. Pori-pori intrapartikel intrinsik terdiri dari jenis intrinsik struktural, contohnya zeolit dan intrinsik injeksi, contohnya karbon aktif, sementara pori-pori intrapartikel ekstrinsik terdiri dari jenis murni, contohnya alumina dan jenis *pillared*, contohnya grafit yang diinterkalasi. Sedangkan pori-pori interpartikel meliputi pori-pori interpartikel kaku (*rigid*) atau agglomerasi, contohnya silika gel dan pori-pori interpartikel fleksibel atau agregasi, contohnya gel karbon.⁽¹¹⁾

Keadaan dan struktur pori karbon aktif terutama bergantung pada sifat-sifat bahan bakunya. Pori-pori yang berhubungan dengan permukaan luar disebut pori-pori terbuka, sehingga dapat didatangi molekul-molekul atau ion-ion dari sekitarnya. Apabila saat kalsinasi karbon tidak mendapatkan panas yang cukup maka bagian pori-pori yang dekat dengan permukaan butiran akan rusak sehingga pori-pori menjadi tertutup dan tidak memiliki hubungan dengan bagian luar butiran. Adanya pori-pori tertutup juga dapat disebabkan tidak sempurnanya evolusi substansi gas dari dalam butiran.⁽¹¹⁾

Pada dasarnya asal mula dan mekanisme pembentukan pori-pori di dalam karbon aktif adalah melalui reaksi-reaksi spesifik yang berhubungan dengan proses aktivasinya. Dimana atom-atom karbon yang terdapat pada sisi-sisi lembaran

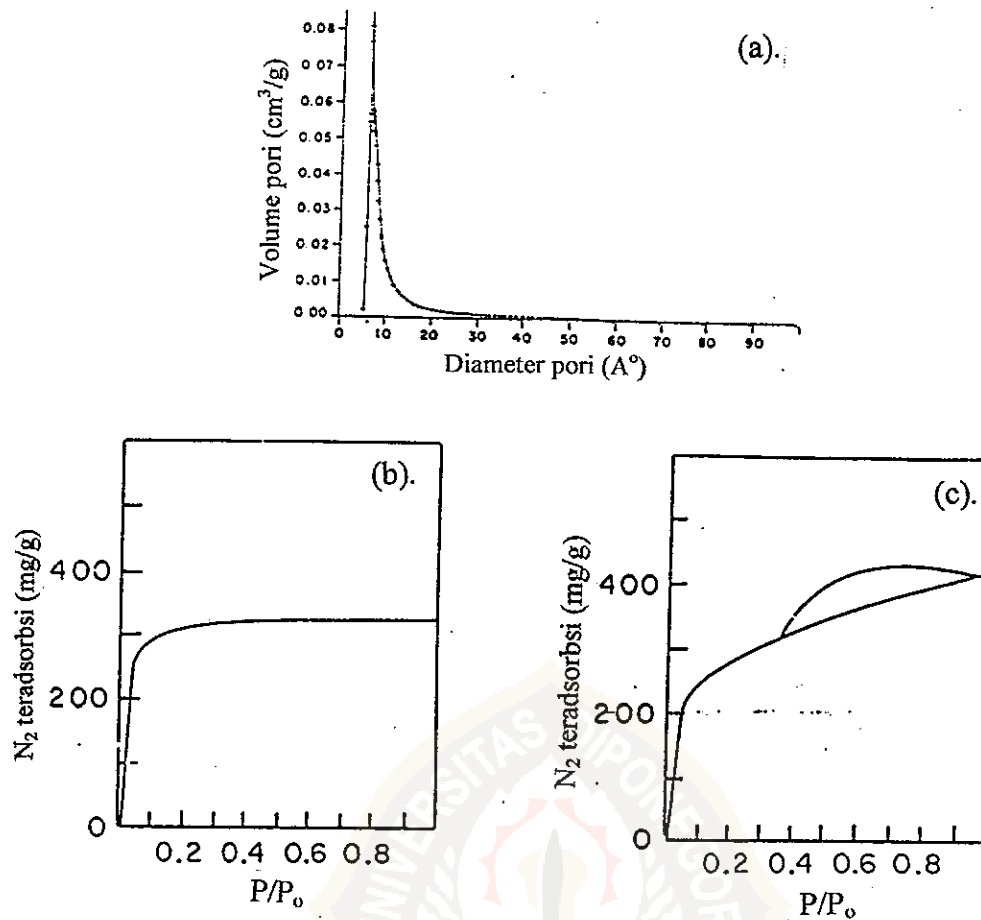
graphene lebih reaktif dari pada atom-atom karbon pada bidang *graphene* tersebut⁽¹¹⁾, dan melalui reaksi gasifikasi parsial maka terbentuk pori-pori di dalam butiran karbon⁽⁷⁾. Sedangkan untuk keperluan estimasi geometri pori apakah pori-pori tersebut berbentuk silinder, kerucut, celah sejajar atau botol tinta dapat diperoleh dari analisis bentuk histerisis adsorpsi isotermnya.⁽¹¹⁾

Ditinjau dari distribusinya, struktur pori karbon aktif dapat dibagi menjadi tiga kelas utama,⁽¹¹⁾ yaitu makropori ($2r < 20A$), mesopori ($20 < 2r < 500A$) dan mikropori ($2r > 500A$), di mana r adalah jari-jari pori. Mikropori terdiri dari dua sub grup, yaitu ultramikropori ($2r < 7A$) dan supermikropori ($7 < 2r < 20A$). Jaringan ruangan pori karbon aktif ditunjukkan dalam gambar 2. 3.



Gambar 2. 3.⁽¹²⁾ Jaringan ruangan pori karbon aktif.

Distribusi ukuran pori merupakan dasar yang menentukan mekanisme adsorpsi dan fenomena kapiler yang terjadi di dalamnya. Luas permukaan dalam karbon aktif ditentukan oleh mikropori dan mesoporinya, namun dalam penggunaan operasional, kinetika proses-proses permukaan bergantung pada kecepatan difusi ke



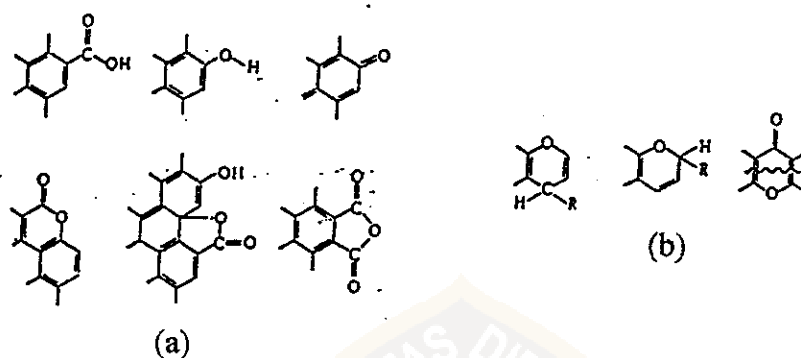
Gambar 2. 4.⁽³⁾ (a). Distribusi ukuran pori karbon aktif dengan katalis K_2CO_3 ,
 (b). Adsorpsi-desorpsi karbon aktif dengan katalis K_2CO_3 ,
 (c). Adsorpsi-desorpsi karbon aktif dengan katalis K_3PO_4 .

dalam makroporinya. Sedangkan dalam reaksi-reaksi permukaan, mesoporilah yang paling banyak berperan karena sukarnya difusi di dalam mikropori.⁽¹⁰⁾

Penelitian yang dilakukan oleh Calafat dkk (1991),⁽³⁾ K_2CO_3 menghasilkan karbon aktif dengan struktur mikropori (gambar 2.4(a) dan 4(b)), sedangkan K_3PO_4 memberikan struktur mesopori (gambar 2.4(c)), dimana jumlah mesopori meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi K_3PO_4 .

2. 2. 4. Struktur kimia permukaan karbon aktif

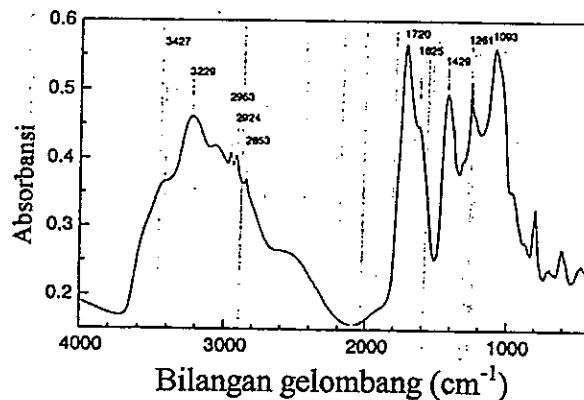
Sifat adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur porinya, tetapi juga oleh komposisi kimianya. Sifat kimia permukaan karbon aktif sepenuhnya ditentukan oleh jenis dan jumlah ikatan heteroatom pada permukaannya. Unsur-unsur heteroatom tersebut adalah hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur.⁽⁷⁾



Gambar 2. 5.⁽⁷⁾ Jenis gugus fungsi dengan heteroatom oksigen pada permukaan karbon aktif.

- (a). Gugus fungsi bersifat asam,
(b). Gugus fungsi bersifat basa.

Unsur-unsur heteroatom tersebut, terutama oksigen berikatan dengan atom-atom karbon membentuk gugus fungsi tertentu. Gugus fungsi oksigen terdiri atas dua jenis, yaitu gugus fungsi bersifat asam, meliputi gugus karboksilat, hidroksi fenol, quinon tipe karbonil, normal lakton, lakton tipe fluoresin, asam karboksilat anhidrid dan peroksida siklis seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5(a), gugus fungsi bersifat basa, meliputi golongan chromene atau struktur seperti pyrone, gambar 2.5(b).⁽⁷⁾ Spektrum infra merah yang menunjukkan keberadaan beberapa gugus fungsi yang terdapat pada permukaan karbon aktif diperlihatkan pada gambar 2. 6.



Gambar 2. 6.⁽¹⁾ Spektrum infra merah karbon aktif.

2. 3. 3. Sifat adsorpsi karbon aktif

Gaya-gaya molekul pada permukaan cairan atau padatan berada dalam keadaan tidak seimbang atau tidak jenuh. Sebagai hasil ketidakjenuhan ini, permukaan padatan atau cairan cenderung untuk menarik dan menahan gas-gas atau substansi-substansi yang terlarut pada saat mengalami kontak.⁽⁷⁾

Pada kesetimbangan yang terjadi antara gas atau larutan dengan permukaan padatan, konsentrasi gas atau zat terlarut pada permukaan biasanya lebih besar dari pada konsentrasinya dalam fasa gas atau larutannya. Proses yang terjadi di mana terjadi kelebihan substansi yang terakumulasi pada permukaan padatan dikenal sebagai adsorpsi.⁽⁷⁾

Ditinjau dari kekuatan interaksinya, semua proses adsorpsi dapat dibagi ke dalam dua kategori, yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika. Adsorpsi kimia atau disebut juga adsorpsi irreversibel dikarakteristik oleh potensial interaksi yang besar sehingga memiliki panas adsorpsi yang tinggi dan sering mendekati harga energi

ikatan-ikatan kimia, yaitu berkisar antara 15-20 kkal/mol. Sama seperti reaksi kimia, adsorpsi kimia juga biasanya memiliki energi aktivasi. Adsorpsi kimia dibatasi pada lapisan molekul tunggal yang terikat secara kimia pada permukaan dan molekul-molekul yang teradsorpsi terlokalisasi pada permukaan.⁽¹³⁾

Sedangkan adsorpsi fisika memiliki karakteristik-karakteristik sebagai berikut: harga panas adsorpsinya rendah, berkisar antara 2-6 kkal/mol, adsorpsi fisika dapat terdiri lebih dari satu lapisan molekul adsorbat, adsorpsi fisika tidak memerlukan energi aktivasi dan merupakan proses yang reversibel serta molekul-molekul yang teradsorpsi terdelokalisasi dan bebas untuk menutupi seluruh permukaan.⁽¹³⁾

Beberapa faktor yang menyebabkan adsorbat bermigrasi ke permukaan adsorben adalah:

- a. Sifat hidrofobik dari zat terlarut,
- b. Adanya gaya van der Waals,
- c. Gaya tarik Coulomb antara permukaan adsorben dengan adsorbat,
- d. Terjadi ikatan kimia.

Dari keempat hal di atas yang paling mungkin adalah gaya van der Waals, karena adsorpsi dan desorpsi terjadi secara kontinyu dan molekul yang terserap bebas bergerak pada bidang antar muka.

Selain faktor di atas, daya serap karbon aktif dapat juga disebabkan oleh:

- a. Adanya pori-pori mikro yang sangat banyak jumlahnya sehingga menimbulkan gejala kapiler,
- b. Luas permukaan karbon aktif yang besar,

- c. Karakteristik kimia permukaan karbon yang heterogen, sehingga pada kondisi yang bervariasi ternyata hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap dengan demikian adsorbat hanya diserap oleh bagian permukaan yang aktif.

2. 3. Pembuatan Karbon Aktif

Secara umum dalam pembuatan karbon aktif terdiri atas dua tahap, yaitu tahap karbonisasi dan tahap aktivasi.

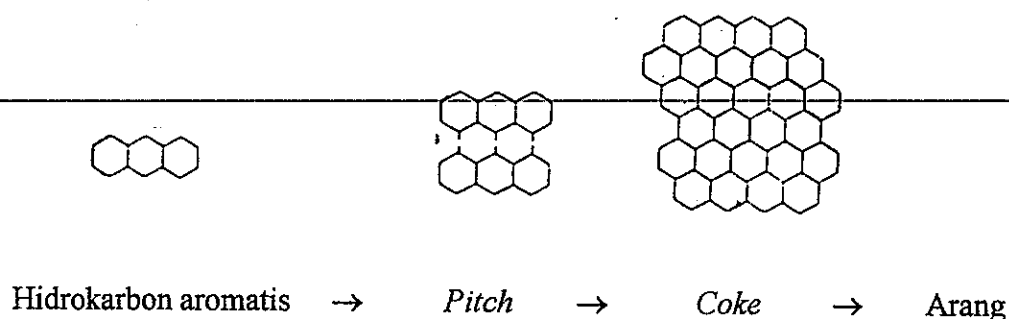
2. 3. 1. Proses karbonisasi

Karbonisasi dapat didefinisikan sebagai konversi termal material-material organik menjadi karbon. Selama proses karbonisasi terjadi pertumbuhan aromatis melalui reaksi polimerisasi.⁽¹⁴⁾ Proses karbonisasi melibatkan dekomposisi termal bahan dasar dan terjadi eliminasi spesi-spesi nonkarbon menghasilkan arang yang di dalamnya telah terbentuk struktur dasar dari pori-pori karbon aktif. Pada tahap awal karbonisasi merupakan proses pelunakan bahan dasar, kemudian diikuti penyusutan dan pengerasan hasil dekomposisi bahan dasar tersebut.⁽¹⁵⁾ Kualitas akhir arang sangat dipengaruhi oleh kecepatan kenaikan temperatur dan temperatur akhir karbonisasi. Kecepatan kenaikan temperatur yang rendah menghasilkan arang yang lebih keras dan lebih kompak namun volumenya tereduksi.⁽¹⁵⁾ Karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara, sampai mencapai temperatur yang cukup tinggi (500-800°C) untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon⁽¹⁶⁾.

Selama proses karbonisasi dengan adanya dekomposisi pirolitik bahan baku, sebagian unsur-unsur bukan karbon, yaitu hidrogen dan oksigen dibebaskan dalam bentuk gas, dan atom-atom yang terbebaskan dari karbon elementer membentuk kristal yang tidak teratur, yang disebut kristal grafit elementer. Struktur produk karbonisasi yang terdiri dari sistem kristal yang menyerupai grafit ini terikat dengan ikatan-ikatan tipe alifatik menghasilkan kerangka polimer. Ruang antara kristal-kristal yang berdekatan merupakan penyusun utama struktur pori karbon.⁽⁷⁾ Namun pori-pori ini masih tertutup oleh hasil dekomposisi karbon tersebut, yakni tar, hidrokarbon dan zat organik lainnya.⁽¹⁴⁾

Lewis mengusulkan bahwa mekanisme karbonisasi terdiri atas lima tahap, yaitu:⁽¹⁴⁾

1. Pemecahan ikatan C-H, C-C untuk membentuk radikal-radikal bebas yang reaktif,
2. Penataan ulang molekul,
3. Polimerisasi termal,
4. Kondensasi aromatis,
5. Eliminasi rantai samping, H₂.



Gambar 2. 7.⁽¹⁴⁾ Skema umum reaksi karbonisasi.

Karbonisasi selain dengan cara termal, dapat juga dengan menambahkan garam dehidrasi, seperti $ZnCl_2$, $MgCl_2$ atau H_3PO_4 .⁽¹⁶⁾

2. 3. 3. Proses aktivasi.

Aktivasi adalah mengubah karbon dengan daya serap rendah menjadi karbon dengan daya serap tinggi. Produk karbonisasi memiliki struktur yang kurang berkembang, sehingga tanpa aktivasi tidak dapat digunakan sebagai adsorben. Aktivasi bertujuan untuk mengubah produk karbonisasi tersebut agar memiliki struktur pori yang berkembang, yang merupakan sifat terpenting karbon aktif. Aktivasi dapat dilakukan dengan menggunakan uap panas atau gas CO_2 pada temperatur tinggi, atau dengan penambahan bahan-bahan mineral.⁽³⁾ Perkembangan struktur pori selama aktivasi bergantung pada sifat bahan baku dan kondisi aktivasinya. Aktivasi menaikkan luas permukaan-dalam, menghasilkan volume yang besar dan mengubah permukaan-dalam pori-pori karbon aktif.

Terdapat dua tahapan proses perkembangan struktur pori karbon aktif selama aktivasi. Tahap pertama merupakan tahap pembentukan (*inisiasi*) pori-pori baru maupun pembukaan pori-pori tertutup yang telah ada di dalam butiran arang. Tahap kedua merupakan proses pelebaran pori-pori yang telah terbuka maupun pori-pori yang baru terbentuk pada tahap pertama. Pada tahap ini dapat terjadi penggabungan pori-pori karena dinding antara pori-pori yang berdampingan habis dikonsumsi oleh reaksi gasifikasi yang ekstensif. Dengan demikian ada tiga proses yang berkompetisi selama gasifikasi arang, yakni proses inisiasi, pertumbuhan dan kombinasi pori.⁽¹⁷⁾

Selama proses aktivasi, karbon padat bereaksi dengan gas pengoksidasi menghasilkan oksida-oksida yang berdifusi dari permukaan karbon. Dengan adanya oksidasi parsial menyebabkan dibangunnya struktur pori di dalam granular.⁽⁷⁾ Pengaruh temperatur aktivasi terhadap terhadap kecepatan reaksi gasifikasi digambarkan dalam persamaan Arrhenius:⁽¹⁹⁾

$$k = Ae^{-E_a/RT} \dots\dots\dots(1)$$

terlihat dengan meningkatnya temperatur maka harga k (konstanta kecepatan reaksi) pun akan bertambah besar. Reaksi gasifikasi antara gas pengoksidasi dan karbon padat digambarkan menurut persamaan reaksi berikut.⁽¹⁸⁾



dimana: $A_{(s)}$ adalah karbon,

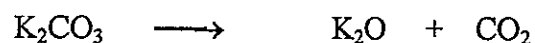
$bB_{(g)}$ adalah gas pengoksidasi

Penggunaan katalis logam dalam proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan kecepatan reaksi gasifikasi dan untuk merubah distribusi pori.⁽⁶⁾

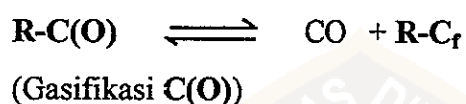
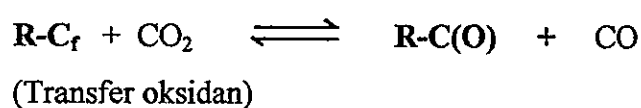
Dalam mekanisme gasifikasi, kontak antara logam-karbon merupakan faktor kunci

yang menentukan kecepatan reaksi, sedangkan yang menentukan aktivitas logamnya adalah jumlah pusat katalitik aktif pada antar muka logam-karbon. Logam mengkatalisis reaksi gasifikasi melalui mekanisme pola saluran (*Channeling mode*).⁽⁶⁾ Mekanisme reaksi yang diusulkan meliputi difusi, sorpsi kimia, katalisis, reaksi oksidasi fasa permukaan dan reaksi fasa gas.⁽¹⁹⁾

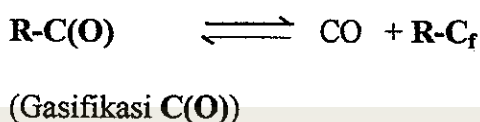
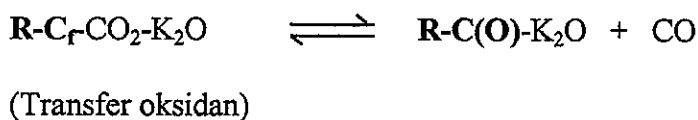
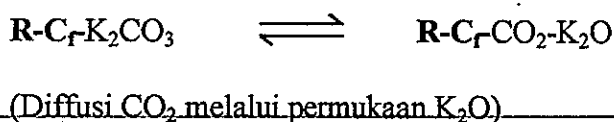
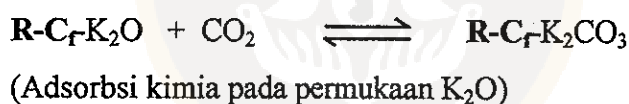
Selama proses aktivasi berlangsung, terjadi dekomposisi K_2CO_3 menurut reaksi:⁽³⁾



Reaksi antara arang dan CO_2 tanpa katalis digambarkan dengan model pertukaran oksigen menurut mekanisme reaksi:⁽²⁰⁾



Reaksi gasifikasi arang yang dikatalisis oleh kalium berlangsung menurut mekanisme sebagai berikut:⁽¹⁹⁾



semua gugus-gugus fungsi arang ditunjukkan dalam bentuk tebal. $R-C_f$ mewakili situs aktif arang yang bebas oksigen, dan $R-C(O)$ mewakili gugus fungsi oksigen arang. $R-C_f-K_2(O)$ mewakili antar muka arang dan oksida kalium, sementara $R-C_f$ mewakili sebuah pusat aktif yang menjadi terbuka setelah gasifikasi gugus $C(O)$ yang mula-mula menutupinya.

2. 4. Penggunaan Karbon Aktif

2. 4. 1. Pada adsorpsi fasa gas dan fasa cair

Karbon aktif digunakan dalam berbagai cabang industri sebagai adsorben pada adsorpsi fasa gas. Penggunaan karbon aktif untuk adsorpsi gas meliputi penghilangan substansi-substansi yang berbahaya terhadap manusia dan lingkungan dari gas-gas buangan industri atau untuk mengendalikan polusi atmosfer, untuk mengambil kembali komponen-komponen yang berguna dari gas-gas industri, misalnya daur ulang bahan organik; untuk pemisahan gas meliputi pemisahan nitrogen, oksigen, hidrokarbon dan campuran gas; untuk pemurnian gas, meliputi desulfurisasi, penyerapan gas beracun, menghilangkan bau, pemurnian udara dalam mobil, kapal selam, lemari pendingin dan penyaring pada masker gas serta digunakan pada pengolahan gas alam cair (LNG).

Proses adsorpsi fasa cair dengan karbon aktif digunakan dalam berbagai proses dan produksi makanan. Penggunaan karbon aktif dalam hal ini bertujuan untuk menghilangkan komponen-komponen yang tidak diinginkan dari produk-produk makanan. Beberapa penggunaan karbon aktif dalam industri makanan meliputi industri gula, industri minyak dan lemak serta industri minuman.⁽⁷⁾

Penggunaan lain karbon aktif pada adsorpsi fasa cair meliputi industri farmasi, bertujuan untuk menyaring dan menghilangkan warna, bau, rasa yang tidak disukai dalam obat-obatan; dunia kesehatan, misalnya untuk mencuci darah dalam mesin 'gijal karbon'; dalam kimia perminyakan, digunakan pada penyulingan bahan mentah zat perantara dan pembersihan air; dalam pengolahan limbah industri, untuk menghilangkan/menyerap bau, warna dan zat pencemar dalam air; dalam budi daya udang dan benur, digunakan pada pemurnian air, untuk menghilangkan amonia, zat pencemar, bau, warna dan logam berat; proses daur ulang pelarut organik, digunakan pada penarikan kembali berbagai pelarut seperti aseton, metanol, etilasetat dan lain-lain; dan dalam produksi air bebas ion dalam industri elektronik, analisis kimia, pencegahan flotasi biji dan penggumpalan emas.

2. 4. 2. Sebagai padatan pendukung dan katalis

Karena sifat-sifat yang dimiliki karbon aktif seperti hantaran listrik yang relatif tinggi, luas permukaan yang besar, sifat katalitik yang baik, stabilitas yang tinggi terhadap asam dan basa serta mudah diperoleh dengan harga yang relatif murah menyebabkan karbon aktif digunakan secara luas sebagai material elektroda, sel bahan bakar dan kapasitor; sebagai katalis dan pendukung katalis terutama dalam industri kimia, misalnya pada reaksi halogenasi, reduksi, oksidasi, polimerisasi dan sebagai resin penukar ion, misalnya pada penghilangan logam-logam berat dari air limbah dan pengolahan air minum, purifikasi larutan garam anorganik dan untuk memperoleh kembali logam-logam yang berguna yang berada dalam jumlah yang kecil dari industri kimia.⁽⁷⁾

3. 5. Karakterisasi

3. 5. 1. Pengukuran bilangan iodium

Penentuan bilangan iodium bermanfaat untuk memberikan indikasi perubahan luas permukaan⁽²¹⁾ dan tingkat perkembangan distribusi mikropori⁽¹⁶⁾ arang hasil gasifikasi dan untuk mengukur kemampuan adsorpsi⁽²¹⁾ karbon aktif yang dihasilkan khususnya terhadap molekul-molekul organik yang berukuran kecil,⁽²²⁾ untuk mengetahui efisiensi ekstraksi iodium dari air laut atau dari sumur minyak,⁽²³⁾ pada penyerapan iodium radio aktif dan senyawa-senyawa yang mengandung iodium dalam gas pada instalasi nuklir⁽²³⁾ dan dalam penambangan iodium. Jumlah iodium yang diserap dari larutannya dalam air dapat digunakan untuk mengestimasi luas permukaan karbon yang dibuat.⁽²¹⁾

3. 5. 2. Analisa luas permukaan

Metode Brunauer-Emmet-Teller (BET)⁽²⁴⁾ merupakan prosedur yang paling luas untuk menentukan luas permukaan zat padat yang melibatkan aplikasi persamaan BET:

$$\frac{1}{W(P_0/P-1)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Dengan W adalah berat gas yang diadsorpsi pada tekanan relatif P/P₀ dan W_m adalah berat adsorbat yang membentuk lapisan tunggal molekul yang menutupi permukaan. Konstanta C berhubungan dengan energi adsorpsi di dalam lapisan adsorpsi pertama

dan lapisan adsorpsi selanjutnya harganya berhubungan dengan tingkat interaksi antara adsorben dan adsorbat.

Persamaan BET membutuh plot yang linier antara $1/[W(P/P_0)-1]$ vs P/P_0 yang untuk kebanyakan zat padat menggunakan nitrogen sebagai adsorbat, dalam daerah adsorpsi isoterm yang terbatas, biasanya dalam range $P/P_0 = 0,05$ sampai $0,35$.

Prosedur standar BET multi titik memerlukan minimum tiga titik dalam range tekanan relatif yang sesuai. Berat lapisan tunggal adsorbat W_m , diperoleh dari slope s dan intersep i dari plot BET. Dari persamaan (2):

$$s = \frac{C-1}{W_m C} \dots\dots\dots(3)$$

$$i = \frac{1}{W_m C} \dots\dots\dots(4)$$

Berat lapisan tunggal W_m diperoleh dengan mengkombinasi persamaan (3) dan (4).

$$W_m = \frac{1}{s+i} \dots\dots\dots(5)$$

Tahap kedua aplikasi metode BET adalah kalkulasi luas permukaan. Hal ini membutuhkan pengetahuan tentang luas penampang lintang molekuler dari molekul adsorbat. Luas permukaan total zat padat diekspresikan sebagai:

$$S_t = \frac{W_m N A_{cs}}{M} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan N adalah bilangan Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$ molekul/mol) dan M berat molekul adsorbat. Nitrogen merupakan gas paling luas digunakan untuk menentukan luas permukaan. Untuk struktur heksagonal tertutup lapisan tunggal nitrogen pada 77°K , luas penampang lintang A_{cs} adalah $16,2 (\text{A}^0)^2$.

Luas permukaan spesifik S zat padat dapat dikalkulasi dari luas permukaan total S_t dan berat sampel W , menurut persamaan(7):

$$S = \frac{S_t}{w} \dots\dots\dots(7)$$

3. 5. 3. Analisa distribusi ukuran pori

Distribusi volume pori terhadap ukuran pori dikenal sebagai distribusi ukuran pori. Nitrogen telah digunakan secara ekstensif dalam studi adsorpsi gas, sehingga telah terkarakterisasi dengan baik dan tersedia sebagai adsorbat yang paling umum untuk karakterisasi distribusi ukuran pori. Kalkulasi ukuran pori dibuat dengan asumsi bahwa geometri pori berbentuk silinder menggunakan persamaan Kelvin⁽²⁴⁾ dalam bentuk:

$$r_K = \frac{-2\gamma V_m}{RT \ln P/P_0} \dots\dots\dots(8)$$

dimana

γ = tegangan permukaan nitrogen pada titik didihnya ($8,85 \text{ ergs/mm}^2$ pada 77 K).

V_m = Volume molar nitrogen cair ($34,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$).

R = konstanta gas ($8,314 \cdot 10^7 \text{ ergs/deg mol}$).

T = titik didih nitrogen (77 K).

P/P_o = tekanan relatif nitrogen.

r_K = jejari pori Kelvin.

Dengan menggunakan harga-harga konstanta tersebut, persamaan (8) tereduksi menjadi

$$r_K(A^0) = \frac{4,15}{\log P/P_o} \dots\dots\dots(9)$$

Jejari Kelvin r_K merupakan jejari pori tempat terjadi kondensasi pada tekanan relatif P/P_o . Karena sebelum kondensasi berlangsung, telah terjadi adsorpsi pada dinding pori-pori tersebut, dengan demikian r_K tidak mewakili jejari pori yang sebenarnya. Jejari pori, r_p yang sesungguhnya adalah

$$r_p = r_K + t \dots\dots\dots(10)$$

dimana t merupakan ketebalan lapisan yang telah diadsorpsi sebelum terjadi kondensasi. Harga dinyatakan sebagai $3,54 V_{ads}/V_m$, dengan $3,54$ adalah tebal satu lapisan molekul nitrogen dan V_{ads}/V_m rasio volume nitrogen yang diadsorpsi pada tekanan relatif tertentu terhadap volume yang teradsorpsi untuk membentuk molekul lapis tunggal yang lengkap. Halsey mengusulkan metode untuk mengkalkulasi t dalam bentuk persamaan (11) berikut

$$t(A^0) = 3,54 \left[\frac{5}{2,303 \log(P_0/P)} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(11)$$

