



Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Jeruk dengan Aktivasi Menggunakan Subkritik Air

Victor Abednego Rolland Doko, Ratna Frida Susanti dan Arenst Andreas*

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Katolik Parahyangan, Ciumbuleuit 94 Bandung 40141

*E-mail: arenst@unpar.ac.id

Abstract

Low-cost and environmental friendly activated carbon was synthesized from orange peels (*Citrus nobilis* var. *microcarpa*) which activated by subcritical water. Orange peels were first carbonized in an electrical furnace at temperature of 800°C for 2 hours. Activation process of the carbonized orange peel were done in 1 hour inside a reactor at temperature of 200°C and pressure from 120 to 220 bar. Mesoporous activated carbon with highest surface area was obtained at pressure of 170 bar, where the surface area was 491.840 m²/g. The orange peel derived activated carbons were tested in the adsorption of methylene blue (MB) from aqueous phase. The adsorption study was done under batch condition with various initial concentration of MB solution. The initial concentrations of MB used were 2, 4, 6, 8 and 10 ppm. The adsorption of MB followed the pseudo-second-order rate equation, and fit well to the Temkin isotherm, while the adsorption mechanism was affected by the intraparticle diffusion and surface diffusion.

Keywords: Activated Carbons, Adsorption, Methylene Blue, Orange Peel, Subcritical Water

Pendahuluan

Salah satu limbah industri tekstil adalah limbah pewarna yang tidak terserap secara sempurna. Apabila pengolahan dan pembuangan air limbah ini dilakukan secara kurang tepat, maka akan mengakibatkan pencemaran lingkungan (Widjajanti *et al.*, 2011).

Pengolahan limbah secara konvensional untuk menangani limbah zat warna dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya koagulasi, oksidasi dan flokulasi, pengolahan secara biologi, filtrasi dengan membran, dan lain-lain. Akan tetapi, pengolahan secara konvensional saja tidak dapat menghilangkan beberapa bentuk zat warna tertentu, khususnya yang terbentuk dari pewarna-pewarna reaktif yang memiliki kelarutan tinggi dan *biodegradability* yang rendah (Sun *et al.*, 2013).

Proses adsorpsi merupakan salah satu metode yang efektif untuk menghilangkan zat-zat tertentu dari limbah buangan industri. Beberapa kelebihan proses adsorpsi daripada metode lainnya adalah proses adsorpsi tidak meninggalkan lumpur, dan secara sempurna menyerap zat yang ingin dipisahkan, bahkan dari suatu larutan (Velmurugan *et al.*, 2011). Selain itu, proses adsorpsi juga membutuhkan tempat pengolahan yang lebih kecil daripada pengolahan secara biologi, tidak dipengaruhi oleh bahan kimia beracun, dan memiliki kemampuan yang baik dalam menghilangkan kontaminan organik (Sun *et al.*, 2013).

Karbon aktif merupakan adsorben yang paling umum digunakan dalam proses adsorpsi untuk menghilangkan berbagai macam kontaminan organik. Akan tetapi, proses adsorpsi menggunakan karbon aktif membutuhkan biaya yang cukup mahal, sehingga membatasi penggunaan karbon aktif secara luas (Sun *et al.*, 2013). Hal ini mendorong untuk dilakukannya berbagai penelitian untuk menciptakan karbon aktif yang memiliki harga terjangkau. Karbon aktif dapat disintesis dengan menggunakan biomassa sebagai bahan baku. Biomassa yang umumnya digunakan dalam sintesis karbon aktif adalah tempurung kelapa, kayu dan gambut (Marsh, H. dan Rodriguez-Reinoso, F., 2006). Sumber biomassa lain yang juga dapat digunakan untuk sintesis karbon aktif adalah kulit jeruk. Harga yang relatif terjangkau, serta kemudahan untuk diperoleh menjadi alasan mengapa biomassa, terutama kulit jeruk digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif pada penelitian ini.

Sebelum menjadi karbon aktif, karbon harus melalui proses aktivasi untuk memperbesar porositasnya. Umumnya, karbon aktif yang terbuat dari kulit jeruk diaktivasi secara kimia, yaitu menggunakan asam dan basa (Nemr *et al.*, 2009). Subkritik air sebelumnya tidak pernah digunakan pada proses aktivasi karbon aktif yang dibuat





dari kulit jeruk, maka penelitian ini merupakan yang pertama kali menggunakan aktivasi karbon aktif yang terbuat dari kulit jeruk dengan menggunakan subkritik air.

Pada penelitian ini, biomassa yang berupa limbah kulit jeruk Pontianak (*Citrus nobilis* var. *microcarpa*) digunakan sebagai bahan baku untuk sintesis karbon aktif, yang kemudian akan melalui proses aktivasi dengan subkritik air. Variasi tekanan pada proses aktivasi, menjadi variabel pembanding terhadap karakteristik dari sampel karbon aktif yang diperoleh. Setelah karbon aktif diperoleh dan dikarakterisasi, dilakukan adsorpsi zat warna untuk melihat kinerjanya sebagai adsorben dalam menyerap zat warna.

Metodologi

Sebelum diubah menjadi karbon aktif, kulit jeruk yang diperoleh dicuci bersih dengan air beberapa kali, lalu dibilas dengan air distilasi. Setelah itu, kulit jeruk dikeringkan dengan temperatur 105°C selama 24 jam. Kulit jeruk yang sudah kering ditumbuk hingga halus dan diayak untuk mendapatkan ukuran 30 mesh.

Tahap karbonisasi dimulai dengan memasukkan kulit jeruk yang telah dikeringkan dan diayak ke dalam *furnace* untuk dilakukan proses karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 800°C selama 2 jam. *Char* yang terbentuk kemudian dimasukkan ke dalam reaktor untuk diaktivasi. Dimasukkan sejumlah air ke dalam reaktor, kemudian suhu reaktor dinaikkan hingga 200°C. Setelah suhu reaktor konstan, tekanannya diatur menjadi 120, 170, dan 220 bar dengan memompakan air ke dalam reaktor. Setelah tekanan yang diinginkan sudah tercapai, kondisi suhu dan tekanan tersebut dijaga konstan selama 1 jam. Jika waktu aktivasi sudah tercapai, suhu dan tekanan di dalam reaktor diturunkan menjadi kondisi ruang, lalu karbon aktif yang diperoleh dikeluarkan dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam.

Untuk mengetahui karakteristik karbon aktif yang diperoleh maka dilakukan karakterisasi fisis yaitu analisa luas permukaan dan distribusi ukuran pori. Analisa luas permukaan dilakukan dengan adsorpsi gas N₂ melalui metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET), sedangkan distribusi ukuran pori dianalisa menggunakan metode *Barrett-Joyner-Halenda* (BJH). Analisis dilakukan dengan menggunakan instrumen *Quantachrome NOVA 3200e Surface Area & Pore Size Analyzer*.

Karbon aktif yang diperoleh dari percobaan diuji kemampuannya untuk mengadsorpsi larutan metilen biru. Sebelum proses adsorpsi dilakukan, terlebih dahulu perlu ditentukan panjang gelombang maksimum dari larutan metilen biru. Larutan metilen biru dengan konsentrasi 4 ppm dibuat, kemudian transmitan (%T) larutan tersebut diukur pada rentang panjang gelombang (λ) 600 hingga 700 nm. Nilai absorbansi (A) pada masing-masing panjang gelombang dihitung untuk mengetahui nilai absorbansi maksimum sehingga diperoleh panjang gelombang maksimumnya. Dibuat larutan metilen biru dengan rentang konsentrasi dari 2 ppm hingga 10 ppm lalu diukur %T dari masing-masing larutan pada panjang gelombang maksimum yang telah didapat sebelumnya. Nilai absorbansi masing-masing larutan dihitung, kemudian dialurkan nilai absorbansi masing-masing larutan terhadap konsentrasi zat warna metilen biru untuk membuat kurva standar.

Proses adsorpsi dimulai dengan membuat larutan zat warna metilen biru sebanyak 250 mL dengan variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Kemudian masing-masing larutan zat warna tersebut dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer. Masukkan *magnetic stirrer* ke dalamnya. Lalu dimasukkan sebanyak 0,25 g serbuk karbon aktif yang telah dibuat dari kulit jeruk sebelumnya ke dalam masing-masing labu erlenmeyer yang telah berisi larutan zat warna. Campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan pengadukan 220 rpm, pada suhu ruang.

Larutan pada masing-masing labu erlenmeyer diambil menggunakan pipet setiap 15 menit pada 1 jam pertama, 30 menit pada 2 jam berikutnya, dan berikutnya setiap 1 jam, hingga nilai transmitan yang diperoleh relatif konstan. Setiap sampel larutan yang diambil dimasukkan ke dalam eppendorf untuk disentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama 10 menit. Setelah disentrifugasi, sampel dimasukkan ke dalam kuvet untuk diukur nilai transmitannya pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh sebelumnya dengan menggunakan spektrofotometer. Dari pengukuran nilai transmitan ini, konsentrasi zat warna di dalam sampel dapat ditentukan dengan menggunakan kurva standar yang telah dibuat.

Hasil dan Pembahasan

Sebelum melakukan tahap karbonisasi, terlebih dahulu dilakukan percobaan pendahuluan untuk membandingkan proses karbonisasi pada kondisi tanpa oksigen, dan dengan adanya oksigen. Percobaan dilakukan pada suhu 500°C selama 1 jam dengan menggunakan *furnace* yang dialiri nitrogen untuk karbonisasi dengan kondisi tanpa adanya oksigen, dan *furnace* tanpa aliran nitrogen untuk karbonisasi dengan kondisi adanya oksigen. Percobaan dilakukan terhadap sampel kulit jeruk yang telah dikeringkan dan dihaluskan. Luas permukaan karbon yang diperoleh dari kedua metode tersebut ditampilkan dalam tabel 1. Seperti yang dapat dilihat pada tabel 1, kulit jeruk yang dikarbonisasi dengan kondisi adanya oksigen memiliki luas permukaan yang lebih besar daripada kulit jeruk yang dikarbonisasi pada kondisi tanpa adanya oksigen. Oleh karena itu pada percobaan utama, karbonisasi dilakukan



dalam kondisi adanya oksigen, tetapi dengan suhu yang lebih besar dan waktu yang lebih lama untuk mengembangkan porositas karbon lebih baik lagi.

Tabel 1. Percobaan Pendahuluan Karbonisasi.

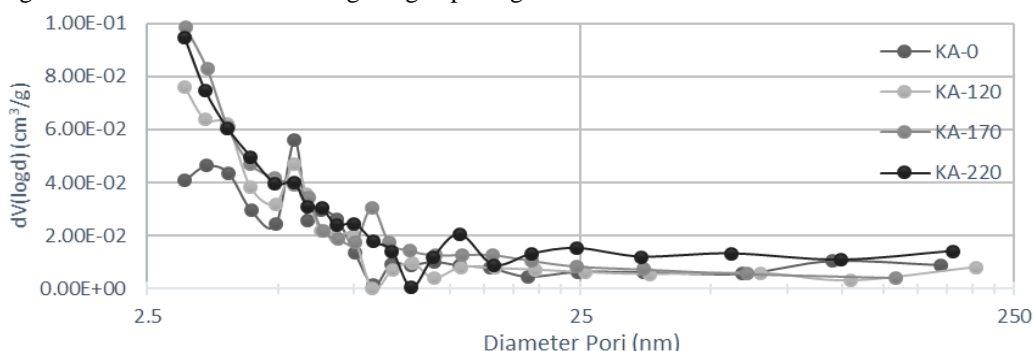
Suhu Karbonisasi (°C)	Waktu Karbonisasi (menit)	Kondisi Karbonisasi	Luas Permukaan (m ² /g)
500	60	Tanpa adanya O ₂	8,190
500	60	Dengan adanya O ₂	12,824

Seluruh karbon yang diperoleh, baik dari tahap karbonisasi dan yang telah melalui tahap aktivasi memiliki mayoritas ukuran pori pada rentang mesopori. Aktivasi dengan menggunakan sukritik air memberikan peningkatan luas permukaan dan volume pori yang signifikan, tetapi terjadi sedikit penurunan diameter rata-rata pori, dimana seluruh hasil analisis BET dapat dilihat pada tabel 2. Peningkatan porositas yang ditunjukkan dengan meningkatnya volume pori, serta terjadinya peningkatan luas permukaan sampel disebabkan karena sifat fisika dari subkritis air, seperti densitas, viskositas dan tegangan permukaan yang menurun dengan meningkatnya suhu, membuat subkritis air mampu berpenetrasi kedalam karbon berpori. Dengan berpenetrasinya subkritis air kedalam karbon berpori, penghalang mikropori didalam karbon berpori terbawa oleh subkritis air sehingga meningkatnya jumlah mikropori didalam karbon (Rivera-Utrilla *et al.*, 2003). Hal ini juga yang diduga menyebabkan terjadinya penurunan diameter rata-rata pori setelah dilakukannya aktivasi.

Tabel 2. Hasil Analisis Luas Permukaan, Volume Pori dan Diameter Rata-rata Pori.

No.	Sampel	Penamaan Sampel	Luas permukaan (m ² /g)	Volume pori (cm ³ /g)	Diameter rata-rata pori (nm)
1.	Sampel karbon hasil karbonisasi	KA-0	260,097	0,1565	2,40709
2.	Sampel karbon aktif yang diaktivasi pada tekanan 120 bar	KA-120	473,227	0,2729	2,30700
3.	Sampel karbon aktif yang diaktivasi pada tekanan 170 bar	KA-170	491,840	0,2860	2,32621
4.	Sampel karbon aktif yang diaktivasi pada tekanan 220 bar	KA-220	462,814	0,2775	2,33983

Pengaruh tekanan diamati dan didapati bahwa pada perubahan tekanan aktivasi dari 120 bar menjadi 170 bar memberikan peningkatan luas permukaan sebesar 3,78%, peningkatan volume pori sebesar 4,58%, dan peningkatan diameter rata-rata pori sebesar 0,83%. Sedangkan pada perubahan tekanan aktivasi dari 170 bar menjadi 220 bar terjadi penurunan luas permukaan sebesar 5,9%, penurunan volume pori sebesar 2,97%, dan peningkatan diameter rata-rata pori sebesar 0,58%. Dari pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa perubahan tekanan pada tahap aktivasi memberikan pengaruh yang kurang signifikan terhadap luas permukaan, volume pori dan diameter rata-rata pori. Luas permukaan dan volume pori yang terbaik diperoleh pada tekanan 170 bar, sedangkan diameter rata-rata pori akan meningkat sedikit demi sedikit seiring dengan peningkatan tekanan aktivasi.



Gambar 1. Distribusi ukuran Pori

Dari analisis distribusi ukuran pori menggunakan metode BJH, diperoleh hasil bahwa pori seluruh sampel karbon aktif yang diperoleh mayoritas terdistribusi pada rentang mesopori. Dimana dapat dilihat pada gambar 1, puncak kurva sampel KA-120, KA-170, dan KA-220 terletak pada diameter pori sekitar 3 nm, sedangkan sampel KA-0

memiliki puncak yang terletak pada diameter pori sekitar 5 nm. Hal ini bersesuaian dengan hasil analisis BET, dimana seluruh sampel memiliki diameter rata-rata pada rentang mesopori.

Salah satu cara sederhana yang dapat dipakai untuk melihat kinerja adsorpsi suatu adsorben adalah dengan melihat nilai *%-Removal* adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben. Pada percobaan ini, *%-Removal* adalah jumlah zat warna metilen biru yang dapat diserap oleh masing-masing sampel karbon aktif. Seluruh proses adsorpsi yang dilakukan oleh seluruh sampel karbon aktif yang diperoleh pada setiap konsentrasi awal larutan memberikan nilai *%-Removal* lebih dari 97%. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang diperoleh mampu menyerap zat warna metilen biru dengan baik pada rentang konsentrasi awal 2 hingga 10 ppm.

Isoterm adsorpsi adalah hubungan antara jumlah adsorbat yang terserap pada suhu konstan dengan konsentrasinya pada saat kesetimbangan. Isoterm adsorpsi berguna sebagai acuan untuk mengoptimalkan perancangan sebuah sistem adsorpsi (Nemr *et al.*, 2009). Pada percobaan digunakan 4 model isoterm adsorpsi yaitu isoterm Langmuir, Freundlich, Temkin dan Dubinin-Radushkevich, dengan masing-masing parameter model disajikan pada tabel 3.

Langmuir:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{K \alpha Q_m} \times \frac{1}{C} + \frac{1}{Q_m} \quad (1)$$

Freundlich:

$$\log Q = \log K_f + \frac{1}{n} \times \log C \quad (2)$$

Temkin:

$$Q_e = \beta \ln \alpha + \beta \ln C_e \quad (3)$$

Dubinin-Radushkevich:

$$\ln Q_e = \ln Q_m - K \varepsilon^2 \quad (4)$$

Dari pengaluran parameter masing-masing model isoterm dalam kurva, diperoleh nilai R^2 . R^2 , atau dapat disebut juga *R-square* merupakan nilai yang menunjukkan korelasi antara data-data yang saling terkait dalam perhitungan. Jika diperoleh *R-square* mendekati satu, maka model isoterm adsorpsi tersebut dapat mewakili percobaan yang dilakukan. Dari keempat model yang digunakan, model isoterm adsorpsi yang dapat mewakili keempat percobaan proses adsorpsi adalah model isoterm Temkin, dimana model tersebut memiliki nilai *R-square* yang paling mendekati satu.

Selain menentukan model isoterm adsorpsi yang mewakili proses adsorpsi, ditentukan juga model kinetika adsorpsi yang mewakili hasil percobaan adsorpsi. Penentuan model kinetika adsorpsi ini dilakukan dengan empat pendekatan model, yaitu model kinetika Pseudo Orde Satu, Pseudo Orde Dua, Elovich, dan *Intraparticle Diffusion*, dengan parameter model kinetika keempat model disajikan pada tabel 4.

Pseudo Orde Satu:

$$\frac{1}{Q} = \frac{K_1}{Q_e} \frac{1}{t} + \frac{1}{Q_e} \quad (5)$$

Pseudo Orde Dua:

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{Q_e} t + \frac{1}{K_2 Q_e^2} \quad (6)$$

Elovich:

$$Q_t = \frac{1}{A_E} \ln t + \frac{1}{A_E} \ln(B_E A_E) \quad (7)$$

Intraparticle diffusion:

$$Q_t = K_{diff} t^{0.5} + C \quad (8)$$

Model kinetika yang paling mewakili seluruh proses adsorpsi adalah model kinetika pseudo orde dua, karena nilai *R-square* yang diperoleh pada model ini paling mendekati satu. Sampel KA-0 memiliki laju awal adsorpsi yang tercepat, yaitu 0,2664 mg g⁻¹ min⁻¹.

Karena pendekatan model kinetika pseudo orde dua tidak menjelaskan mengenai mekanisme kinetika adsorpsi, maka perlu digunakan model *intraparticle diffusion* untuk melihat difusi apa yang berpengaruh pada kinetika

adsorpsi, apakah *intraparticle diffusion*, atau *surface diffusion*, atau keduanya. Untuk mengetahui hal tersebut, perlu dialurkan data kapasitas adsorpsi pada waktu tertentu (Q_t) terhadap waktu^{1/2} menjadi sebuah kurva. Jika kurva yang dihasilkan linear, maka *intraparticle diffusion* merupakan satu-satunya mekanisme difusi yang berpengaruh. Sedangkan jika kurva yang dihasilkan tidak linear, maka selain *intraparticle diffusion*, *surface diffusion* juga berpengaruh terhadap mekanisme adsorpsi (Hameed *et al.*, 2008). Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa kurva masing-masing sampel memiliki bentuk yang tidak linear. Maka dapat disimpulkan bahwa difusi yang berpengaruh dalam mekanisme kinetika adsorpsi percobaan bukan hanya *intraparticle diffusion* saja, tetapi *surface diffusion* juga berpengaruh.

Tabel 3. Parameter Model Isoterm Adsorpsi.

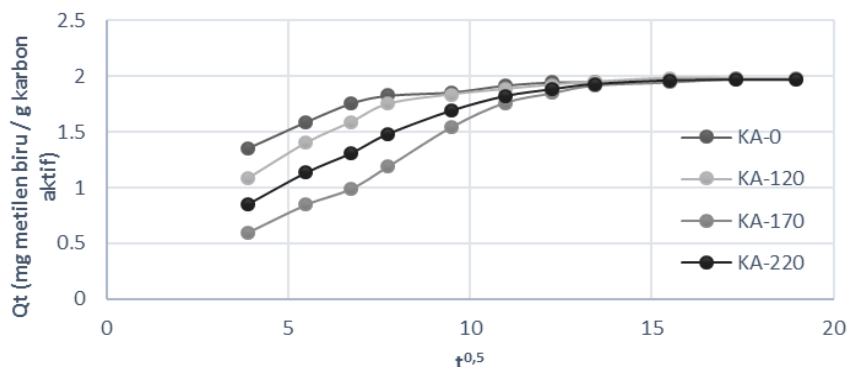
Model Isoterm	Parameter Model	Sampel			
		KA-0	KA-120	KA-170	KA-220
Langmuir	Q_m (mg g ⁻¹)	87,7193	25,7069	13,9082	18,5185
	K_a (L mg ⁻¹)	0,4750	4,0520	7,6489	4,2519
	R^2	0,0495	0,6361	0,8352	0,63286
Freundlich	K_f (mg g ⁻¹)	37,2391	51,5703	22,0953	26,2724
	n	1,0282	1,1900	1,6903	1,4436
	R^2	0,9204	0,9327	0,8365	0,8351
Temkin	α (L g ⁻¹)	26,28454	63,0867	83,7309	55,7350
	β (J mol ⁻¹)	4,7758	4,2087	2,9962	3,5323
	b	522,2580	592,6295	829,6795	706,1121
	R^2	0,9661	0,9918	0,9226	0,9370
Dubinin-Raduskevich	K (mol ² J ⁻²)	4×10^{-8}	3×10^{-8}	2×10^{-8}	3×10^{-8}
	Q_m (mg g ⁻¹)	18,2068	19,8717	12,9022	14,3923
	E (KJ mol ⁻¹)	3,5355	4,0824	5	4,0824
	R^2	0,9614	0,9774	0,8628	0,8606

Tabel 4. Parameter Model Kinetika Adsorpsi.

Model Kinetika	Parameter Model	Sampel			
		KA-0	KA-120	KA-170	KA-220
Pseudo Orde Satu	Q_e (mg g ⁻¹)	2,03832	2,1039	2,2036	2,1070
	k_1 (min ⁻¹)	7,6834	14,1624	42,6597	23,2027
	R^2	0,9935	0,9964	0,9731	0,9865
Pseudo Orde Dua	Q_e (mg g ⁻¹)	2,03832	2,080	2,2893	2,1272
	k_2 (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	0,064119	0,0371	0,0095	0,0200
	h (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	0,2664	0,1609	0,0501	0,0908
	R^2	0,9999	0,9998	0,9943	0,9990
Elovich	A_E (g mg ⁻¹)	4,2517	3,3829	2,0181	2,6518
	B_E (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	6,8037	1,2136	0,1052	0,2914
	R^2	0,9316	0,9186	0,9522	0,9498
Intraparticle Diffusion	K_{dif} (mg g ⁻¹ min ^{-0.5})	0,0561	0,059	0,0959	0,0715
	C (mg g ⁻¹)	1,2855	1,1321	0,4488	0,8451
	R^2	0,8224	0,7728	0,8599	0,8231

Kesimpulan

Subkritik air dapat digunakan sebagai media aktivasi karbon aktif dari kulit jeruk dengan perolehan yang cukup besar dan menghasilkan karbon aktif mesopori dengan luas permukaan terbaik 491,84 m²/g yang diperoleh pada tekanan aktivasi 170 bar. Peningkatan tekanan aktivasi memberikan pengaruh yang kurang signifikan terhadap karakteristik karbon aktif. Seluruh percobaan adsorpsi yang digunakan menggunakan karbon aktif kulit jeruk mengikuti model isoterm adsorpsi Temkin dan model kinetika adsorpsi pseudo orde dua, dengan difusi yang berpengaruh pada mekanisme adsorpsi adalah *intraparticle diffusion* dan *surface diffusion*.



Gambar 2. Kurva Model *Intraparticle Diffusion*.

Daftar Notasi

- λ = panjang gelombang [nm]
 Q_m = kapasitas maksimum adsorpsi [mg g^{-1}]
 K_a = konstanta Langmuir [L mg^{-1}]
 K_f = konstanta Freundlich [mg g^{-1}]
 n = intensitas adsorpsi
 α = konstanta kesetimbangan Temkin [L g^{-1}]
 β = konstanta yang berhubungan dengan panas adsorpsi [J mol^{-1}]
 b = konstanta isoterm Temkin
 K = koefisien yang berhubungan dengan energy rata-rata proses adsorpsi [$\text{mol}^2 \text{J}^{-2}$]
 E = energi bebas rata-rata proses adsorpsi [kJ mol^{-1}]
 Q_e = kapasitas adsorpsi saat kesetimbangan [mg g^{-1}]
 K_1 = konstanta kinetika orde satu [min^{-1}]
 K_2 = konstanta kinetika orde dua [$\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$]
 h = laju adsorpsi saat permulaan [$\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$]
 A_E = konstanta desorpsi [g mg^{-1}]
 B_E = laju awal adsorpsi [$\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$]
 K_{diff} = konstanta laju *intraparticle diffusion* [$\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-0.5}$]
 C = konstanta yang berkaitan dengan tebal *boundary layer* [mg g^{-1}]
 R^2 = *R-square*

Daftar Pustaka

- Hameed, et al., 2008, Equilibrium Modeling and Kinetic Studies On The Adsorption of Basic Dye by A Low-cost Adsorbent: Coconut (*Cocos nucifera*) Bunch Waste, *Journal of Hazardous Materials*, 168, 65-72.
- Marsh, H. dan Rodriguez-Reinoso, F., 2006, *Activated Carbon*, Elsevier Science & Technology Books.
- Nemr, A.E., et al., 2009, Removal Of Direct Blue-86 From Aqueous Solution by New Activated Carbon Developed From Orange Peel, *Journal Of Hazardous Materials*, 161, 102-110.
- Rivera-Utrilla, et al., 2003, Regeneration Of Ortho-chlorophenol-exhausted Activated Carbons With Liquid Water at High Pressure and Temperature, *Water Research*, 37, 1905-1911
- Sun, D., et al., 2013, Adsorption of Reactive Dyes on Activated Carbon Developed from *Enteromorpha prolifera*, College of Chemistry & Chemical Engineering, Qingdao University, Qingdao, China.
- Velmurugan, et al., 2011, Dye Removal From Aqueous Solution Using Low Cost Adsorbent, School of Civil Engineering, SASTRA University, Tamil Nadu, India.
- Widjajanti, E., et al., 2011, Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah Dan Metil Jingga, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia.



Lembar Tanya Jawab

Moderator: Didi Dwi Anggoro (Universitas Diponegoro Semarang)
Notulen : Susanti Rina Nugraheni (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Hendriyana (Teknik Kimia Universitas Jenderal Ahmad Yani Bandung)
Pertanyaan :
 - Beda BJH dan BET?
 - Kenapa dengan adanya tekanan dapat memperbesar luas permukaan?
(Mengapa aktivasi subkritik air memperbesar luas permukaan?)Jawaban :
 - BJH: distribusi pori pada sampel, sedangkan BET: untuk mengetahui luas permukaan, diameter pori, dan volume pori sampel karbon aktif yang diperoleh.
 - Karena sifat air pada kondisi subkritik seperti densitas, viskositas dan tegangan permukaan yang nilainya menurun sehingga air dapat berpenetrasi kedalam pori-pori karbon aktif untuk membawa penghalang-penghalang mikropori. Dengan terbukanya mikropori-mikropori baru menyebabkan peningkatan luas permukaan sampel karbon aktif.

2. Penanya : Susanti Rina Nugraheni (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan :
 - Bukti bahwa model mendekati temkin?
 - Apa faktor-faktor yang mempengaruhi *intraparticle diffusion*?Jawaban :
 - Bukti model mendekati temkin, diperoleh dari nilai R square (R^2) kurvadari data percobaan terhadap masing-masing model. Pendekatan data terhadap model isoterm adsorpsi temkin memiliki nilai R square yang paling mendekati
 - Faktor-faktor yang mempengaruhi difusi adalah: konsentrasi adsorbat, ukuran partikel adsorbat, tekanan dan temperatur.

