



Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak dengan Aktivasi H_3PO_4 sebagai Adsorben Larutan Zat Warna Metilen Biru

Maria Angela N S*, Arenst Andreas, and Aditya Putranto

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

*E-mail: angelanatasya1993@gmail.com

Abstract

Activated carbons have been prepared from salacca peels by chemical activation with phosphoric acid (H_3PO_4). Salacca peels were firstly impregnated at a fixed salacca peel to phosphoric acid ratio of 1:4 and fixed phosphoric acid concentration of 20 %-w. The impregnated salacca peel were then carbonized in an electrical furnace at temperature of 600 °C in inert condition. Macroporous activated carbons with a high surface area of 691,59 m^2/g were obtained. The produced activated carbon the is taken for about 0,025 g to adsorb methylene blue (MB) from 250 mL of aqueous phase with various initial concentration of 10, 20, 30, 40, and 50 ppm. Based on the adsorption of dye, it can be concluded that the adsorption of the MB obeys the Langmuir adsorption isotherm, with adsorption capacity of 256,41 mg solute/ g activated carbon. Based adsorption studies, based on the assumption of a pseudo-first-order, pseudo-second-order or intraparticle diffusion mechanism, showed that the kinetic data followed closely a pseudo-second-order rather than a pseudo-first-order mechanism. Experimental results showed that salacca peels seems to be an alternative precursor for commercial activated carbon.

Keywords: Salacca peel, Activated Carbons, Phosphoric Acid, Adsorption, Methylene Blue

Pendahuluan

Pada zaman modern ini, semakin banyak industri yang menggunakan zat pewarna dimana limbah zat warna tersebut dibuang tanpa diawali proses pengolahan. Zat warna mengandung senyawa karsinogenik dan zat berbahaya lain yang dapat mencemari air sehingga kualitas air di lingkungan menurun dan dapat membunuh makhluk hidup atau ekosistem air. (Ahmed El Nembr, O.A, et al. 2009) Proses adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling efektif dan efisien dalam menghilangkan kandungan zat warna. (Renita, et al. 2004) Adsorpsi terjadi karena adanya *driving force* berupa konsentrasi, dan *surface acidity* dengan menggunakan adsorben yang merupakan suatu zat padat dengan kemampuan untuk mengadsorpsi suatu komponen dalam fluida gas maupun cair, dimana padatan tersebut memiliki pori yang mengandung karbon atau bahan organik. Dalam pembuatan adsorben, digunakan bahan baku dan metode yang murah agar dapat bersaing dengan proses pemisahan dengan metode lainnya, terutama secara ekonomis. (Douglas M. Ruthven)

Jenis adsorben yang paling banyak digunakan adalah karbon aktif, karena lebih fleksibel, memiliki luas permukaan yang besar, mempunyai kapasitas adsorpsi yang besar, kinetika adsorpsi yang lebih cepat, dan relatif lebih mudah untuk diregenerasi. (Ahmed El Nembr, O.A, et al. 2009) Karbon aktif dapat disintesis dari biomassa dengan melibatkan serangkaian proses untuk meningkatkan kandungan karbon dan mengaktifasi karbon tersebut sehingga dapat digunakan sebagai adsorben karbon aktif. (Yulu Diao, W. P. Walawender, L.T. Fan., 2001)

Salak (*Salacca sp.*) merupakan salah satu biomassa dengan jumlah produksi dan konsumsi yang cukup besar di Indonesia. Pemanfaatan salak hanya terbatas pada bagian buah dan bijinya, sedangkan bagian kulit salak masih tergolong sebagai limbah karena belum memiliki kegunaan dan nilai ekonomis. Salah satu alternatif untuk memanfaatkan limbah kulit salak adalah dengan memanfaatkannya sebagai bahan baku pembuatan adsorben karbon aktif.

Pada penelitian ini, akan digunakan biomassa berupa kulit salak sebagai bahan baku utama dalam sintesis karbon aktif dengan menggunakan asam fosfat (H_3PO_4) sebagai agen aktivasi. Penggunaan agen aktivasi berupa larutan asam fosfat (H_3PO_4) bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan volume pori karbon aktif dari kulit salak, sehingga dapat dihasilkan karbon aktif dengan karakteristik yang lebih baik. Karbon aktif dari limbah kulit salak memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup baik yaitu sebesar 256,41 mg metilen biru/g karbon aktif dimana telah memenuhi standar SNI sebagai adsorben yang baik, yang minimal dapat menyerap 120 mg/g. (Chand Bansal, 2005) Karakteristik dan kinerja dari karbon aktif dari kulit salak dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru akan dipelajari lebih lanjut.





Metodologi Penelitian

Persiapan Adsorben dari Kulit Salak

Kulit salak yang diperoleh dicuci bersih menggunakan air keran dan dikeringkan di dalam oven pada temperatur 110°C selama 24 jam. Kulit salak kering kemudian dihancurkan dan diayak dengan ayakan mesh -100 +200 sehingga diperoleh bubuk kulit salak dengan ukuran yang seragam.

Proses Pre-Karbonisasi, Aktivasi, dan Karbonisasi Kulit Salak

Sebanyak 12 gram bubuk kulit salak dimasukkan ke dalam furnace dengan aliran N_2 untuk dilakukan proses pre-karbonisasi pada temperatur 400°C selama 1 jam, dilanjutkan dengan proses perendaman dengan larutan 20%-b H_3PO_4 dengan rasio massa bubuk kulit salak : $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1:4$ dengan jumlah bubuk kulit salak masing-masing sebanyak 1,8 gram. Proses aktivasi dilakukan di dalam labu erlenmeyer 250 mL yang ditutup dengan *cling wrap*, kemudian dimasukkan ke dalam *water bath shaker* pada temperatur 27°C selama 20 jam. *Slurry* yang dihasilkan dituang ke dalam cawan penguapan, lalu dikeringkan di dalam oven pada temperatur 110°C selama 24 jam. (Yulu Diao, et al) Bubuk kulit salak kemudian dikarbonisasi menggunakan furnace dengan aliran gas inert N_2 pada temperatur 600°C selama 1 jam.

Proses Pencucian Karbon Aktif dari Kulit Salak

Karbon aktif hasil karbonisasi ditimbang dan dicatat massanya, kemudian dicuci dengan menggunakan akuades dan sedikit NaOH hingga diperoleh pH netral. Selanjutnya, karbon aktif dituang ke dalam cawan penguapan dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam pada temperatur 110°C . (Yulu Diao, et al) Karbon aktif yang diperoleh setelah proses pencucian dan pengeringan ditimbang dan dicatat massanya untuk data perhitungan rendemen.

Proses Adsorpsi Zat Warna

Larutan zat warna metilen biru dengan variasi konsentrasi 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 mL, kemudian *magnetic stirrer* dimasukkan dalam labu erlenmeyer tersebut, dan *stirrer* dinyalakan. Dilakukan pengukuran persen transmittan (%T) terhadap masing-masing larutan zat warna dengan berbagai konsentrasi pada saat $t = 0$, kemudian sebanyak 0,025 gram karbon aktif dari kulit salak dimasukkan ke dalam masing-masing labu erlenmeyer. Selama proses adsorpsi berlangsung, dilakukan pengukuran %T terhadap larutan zat warna metilen biru. Pengukuran %T dilakukan setiap 10 menit selama 1 jam, 15 menit selama 1 jam berikutnya, 20 menit selama 1 jam berikutnya, 30 menit selama 2 jam berikutnya, dan setiap 1 jam hingga nilai %T konstan. Larutan sampel disentrifugasi selama 5 menit dengan skala putaran maksimum, kemudian diukur %T pada panjang gelombang yang telah ditentukan sebelumnya.

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Karbon Aktif (Luas Permukaan, Volum Pori, dan Diameter Pori)

Pada penelitian ini, digunakan konsentrasi larutan H_3PO_4 sebesar 20%-b dengan rasio F:S sebesar 1:4, dimana pengaruh konsentrasi larutan H_3PO_4 dan rasio F:S dapat diamati dengan analisa BET yang dilakukan dengan adsorpsi gas N_2 terhadap sampel karbon aktif pada suhu 77K. Kemudian dilakukan perhitungan terhadap persamaan linearisasi BET (Brunauer, Emmet, and Teller), sehingga diperoleh hasil berupa luas permukaan dan volum pori karbon aktif. (Surendra, 2012) Hasil karakterisasi karbon aktif diperoleh ditampilkan tabel 1.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Karbon Aktif

Luas Permukaan	Volum Pori	Diameter Pori
691, 59 m^2/g	0,42 cm^3/g	23,92 \AA

Berdasarkan analisa BET diketahui luas permukaan dan volum pori karbon aktif akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan H_3PO_4 dan rasio massa (F:S) yang digunakan. Hal ini dikarenakan peningkatan porositas pada temperatur karbonisasi yang cukup tinggi (600°C), yang mengakibatkan lepasnya tar dari kerangka *cross-linking* yang terbentuk sebagai hasil *treatment* dari H_3PO_4 . Selain itu, peningkatan porositas juga diakibatkan oleh jumlah *impregnating agent* yang digunakan, semakin banyak H_3PO_4 yang digunakan akan meningkatkan pembentukan pori pada karbon aktif. (Hsu and Teng, 2000)

Berdasarkan hasil analisa BET dari karbon aktif, diketahui bahwa semakin besar luas permukaan karbon aktif justru memberikan ukuran diameter pori yang semakin kecil. Diameter rata-rata pori dari karbon aktif akan semakin menurun seiring meningkatnya konsentrasi H_3PO_4 yang digunakan dan peningkatan rasio massa F:S yang digunakan pada proses aktivasi. Hal ini diakibatkan semakin banyaknya jumlah H_3PO_4 yang digunakan, maka semakin banyak pula jumlah pori yang akan terbentuk akibat terjadinya *cross-linking* dari H_3PO_4 dengan rantai karbon yang terdapat pada stuktur biomassa kulit salak melalui proses aktivasi. Sehingga menyebabkan terbentuk banyak pori-pori dengan ukuran diameter yang kecil. (Yulu Diao, et al) Ukuran diameter pori karbon aktif yang diperoleh dari

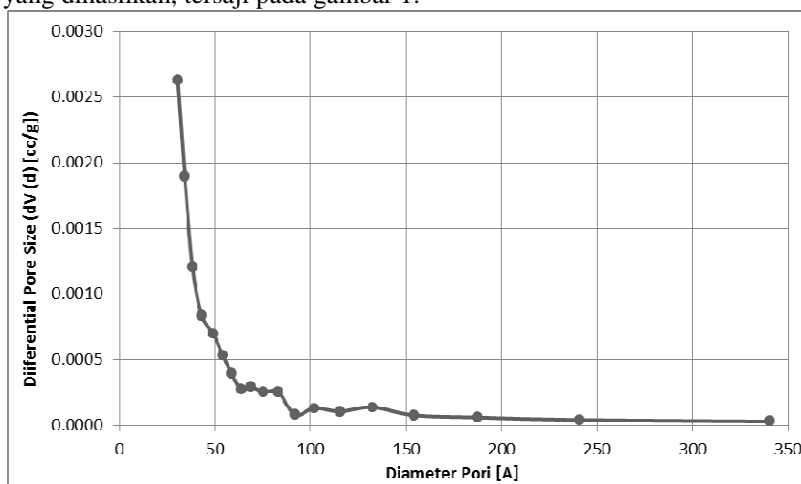


sintesis karbon aktif dari kulit salak dengan aktivasi larutan H_3PO_4 secara keseluruhan berukuran mesopori, yakni berada pada rentang ukuran $20\text{\AA} - 500\text{\AA}$. (Elsevier, Gert Strand AB. 1998)

Pengaruh Konsentrasi Larutan H_3PO_4 dan Rasio F:S terhadap Distribusi Ukuran Pori Karbon Aktif

Struktur pori pada karbon aktif sangat beragam (heterogen), hal ini dapat diketahui dari ukuran diameter pori dari karbon aktif yang berbeda beda. Heterogenitas dari struktur material yang berpori umumnya dapat menunjukkan karakteristik dari distribusi ukuran pori. Distribusi ukuran pori merupakan model dari struktur internal yang solid dengan mengasumsikan tidak terjadi interaksi dan model pori yang memiliki bentuk beraturan dapat mewakili ruang kosong pada solid tersebut. (Ismadji and Bhatia, 2001)

Analisa yang dapat dilakukan untuk mengetahui diameter pori rata – rata dan distribusi ukuran pori adalah dengan menggunakan analisis BJH (Barret-Joyner-Halenda). (Surendra Bhati, et al. 2012) Hasil dari analisis BJH terhadap karbon aktif yang dihasilkan, tersaji pada gambar 1.



Gambar 1. Distribusi Ukuran Pori Karbon Aktif dari Kulit Salak

Analisis dengan metode BJH dilakukan dengan menggunakan teknik adsorpsi dan desorpsi, dimana teknik tersebut dapat memberikan karakteristik distribusi ukuran pori pada sampel. Selain itu, metode BJH dapat digunakan untuk memperhitungkan distribusi ukuran pori yang didasarkan pada model adsorben sebagai kumpulan dari pori-pori berbentuk silinder. (E. P. Barrett, et al. 1951) Ukuran diameter pori karbon aktif yang diperoleh dari sintesis karbon aktif dari kulit salak dengan aktivasi larutan 20%-b H_3PO_4 dan rasio massa kulit salak : $H_3PO_4 = 1:4$ berukuran mesopori, yakni berada pada rentang ukuran $20\text{\AA} - 500\text{\AA}$. (Elsevier ,Gert Strand AB. 1998)

Persen Removal Proses Adsorpsi

Persen *removal* adalah parameter yang menunjukkan banyaknya konsentrasi zat warna yang teradsorpsi oleh adsorben berupa karbon aktif, dibandingkan dengan konsentrasi larutan zat warna awal. Nilai persen *removal* metilen biru oleh karbon aktif disajikan pada tabel 1 yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$\%Removal = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100 \% \quad (1)$$

Tabel 2. Nilai Persen *Removal* Metilen Biru oleh Karbon Aktif

Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	% Removal
7.59	0.36	95.28
18.07	1.59	91.17
29.05	9.97	65.69
38.19	17.27	54.78
55.12	29.96	45.66

Berdasarkan tabel 2, diketahui nilai persen removal menurun seiring bertambahnya konsentrasi larutan zat warna metilen biru yang digunakan, hal ini dikarenakan semakin pekat larutan zat warna maka semakin banyak pula kandungan zat warna yang harus diserap oleh karbon aktif. Nilai persen removal yang cukup tinggi dapat dipengaruhi oleh adanya gugus fungsi oksigen – hidrogen pada permukaan karbon aktif yang menghasilkan ikatan Van der Waals berupa interaksi elektrostatis dan adanya transfer elektron secara langsung antara adsorbat dan adsorben, sehingga banyak metilen biru yang dapat tersorpsi pada permukaan karbon aktif. (Richard D. Noble, et al)

Penentuan Model dan Nilai Parameter Adsorpsi Isoterm

Dari data adsorpsi yang diperoleh, dianalisis dengan persamaan adsorpsi isotermal yaitu adsorpsi isotermal Langmuir, adsorpsi isotermal Freundlich, adsorpsi isotermal Temkin, dan adsorpsi isotermal Dubinin Radushkevich. Keempat model adsorpsi isotermal tersebut akan digunakan untuk menganalisa parameter dari suatu adsorben yang terdiri dari kapasitas maksimum adsorben dan konstanta dari model adsorpsi isotermal yang bersangkutan.

Dari keempat model tersebut, dipilih satu model persamaan yang dapat mewakili data adsorpsi yang diperoleh dengan mengacu pada nilai R^2 yang paling mendekati 1. Nilai parameter dari beberapa model adsorpsi isoterm dengan karbon aktif terhadap metilen biru ditunjukkan pada tabel 3 yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut : (Bansal, Chand. 2005)

Persamaan Freundlich dan linearisasinya:

$$q = K_F \times C_e^{\frac{1}{n}} \rightarrow \log q = \log K_F + \frac{1}{n} \times \log C_e \quad (2)$$

Persamaan Langmuir dan linearisasinya:

$$\theta = \frac{q}{q_{maks}} = \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{K_L q_{maks}} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{maks}} \quad (3)$$

Persamaan Temkin dan linearisasinya:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(A_T C_e) \rightarrow q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (4) \text{ dengan } B = \frac{RT}{b} = \Delta H_{ads} \quad (5)$$

Persamaan Dubinin-Radushkevich dan linearisasinya:

$$q_e = q_m \exp(-K \varepsilon^2) \rightarrow \ln q_e = \ln q_m - K \varepsilon^2 \quad (6) \text{ dengan } \varepsilon = RT \ln(1 + \frac{1}{C_e}) \quad (7) \text{ dan } E = \frac{1}{\sqrt{2K}} \quad (8)$$

Tabel 3. Nilai Parameter dari Beberapa Model Adsorpsi Isoterm dengan Karbon Aktif terhadap Metilen Biru

Freundlich		Langmuir		Temkin			Dubinin-Radushkevich				
R^2	n	R^2	B	q_{maks} (mg/g)	K_a	R^2	β	λ	R^2	q_{maks} (mg/g)	K
0,88	4,05	0,93	35,12	246,41	0,55	0,93	35,12	31,97	0,95	210,27	$9,79 \times 10^{-2}$

Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh proses adsorpsi metilen biru memiliki nilai koefisien Freundlich $n > 1$, sehingga karbon aktif bersifat *favorable*. (Bansal, Chand. 2005) Selain itu, berdasarkan persamaan adsorpsi isotermal Langmuir didapatkan nilai kapasitas maksimum adsorpsi (q_{maks}) metilen biru oleh karbon aktif dari kulit salak sebesar 256,41 mg metilen biru/ g karbon aktif. Model adsorpsi isotermal Langmuir memiliki nilai R^2 yang paling tinggi dibandingkan ketiga model isoterm yang lain, yaitu 0.98 yang menunjukkan bahwa percobaan adsorpsi metilen biru dengan karbon aktif dapat mengikuti asumsi dari persamaan isotermal Langmuir, bahwa adsorpsi metilen biru terjadi secara *monolayer*.

Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

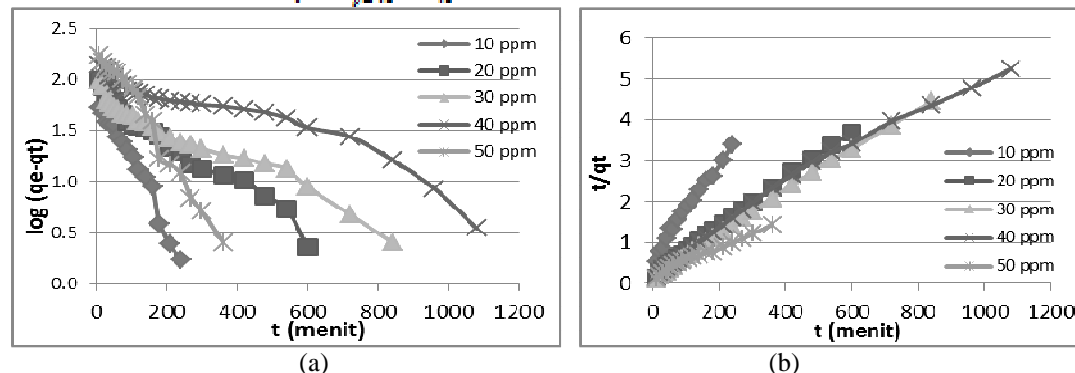
Kinetika adsorpsi menyatakan seberapa cepat proses penyerapan adsorbat oleh adsorben yang dinyatakan dalam fungsi konsentrasi terhadap waktu. Pendekatan model empiris yang digunakan untuk menentukan model kinetika adsorpsi yaitu model pseudo-orde pertama (*pseudo first order*) dan pseudo orde kedua (*pseudo second order*). Berikut adalah persamaan dan hasil grafik model kinetika pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 metilen biru oleh karbon aktif dari kulit salak. (Y.S. Ho, G. McKay)

Persamaan pseudo-orde 1 dan linearisasinya:

$$\frac{dq}{dt} = k_{p1}(q_e - q) \rightarrow \ln\left(\frac{q_e}{q_e - q}\right) = k_{p1}t \quad (9)$$

Persamaan pseudo-orde 2 dan linearisasinya:

$$\frac{dq}{dt} = k_{p2}(q_e - q)^2 \rightarrow \frac{t}{q} = \frac{1}{k_{p2}q_e^2} + \frac{1}{q_e}t \quad (10)$$



Gambar 3. Kinetika Adsorpsi Metilen Biru oleh Karbon Aktif dengan (a) Pseudo Orde 1 dan (b) Pseudo Orde 2

Dari gambar 3, diketahui nilai R^2 pada model kinetika adsorpsi pseudo orde dua yang tinggi bahkan lebih tinggi dari nilai R^2 dari model kinetika adsorpsi pseudo orde satu. Selain itu, berdasarkan gambar 3(b) diketahui grafik linearisasi pseudo orde dua menunjukkan kurva dari data percobaan berbentuk linear. Hal ini menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif cocok dan sesuai dengan model kinetika adsorpsi pseudo orde dua.

Proses adsorpsi yang mengikuti model kinetika pseudo orde dua memiliki arti bahwa kecepatan penyerapan karbon aktif terhadap metilen biru per satuan waktu (dq/dt) berbanding lurus dengan kuadrat kapasitas adsorben yang masih kosong ($q_e - q_t$), sehingga pada awal proses adsorpsi memiliki profil pengurangan konsentrasi larutan yang cukup drastic, kemudian kecepatan adsorpsi terus menurun hingga tercapai kondisi setimbang. (Y. S. Ho, G. Mc Kay., 1997) Nilai konstanta laju reaksi berdasarkan model kinetika adsorpsi pseudo orde dua (gram metilen biru/(milligram karbon aktif . menit)) disajikan pada tabel 4.

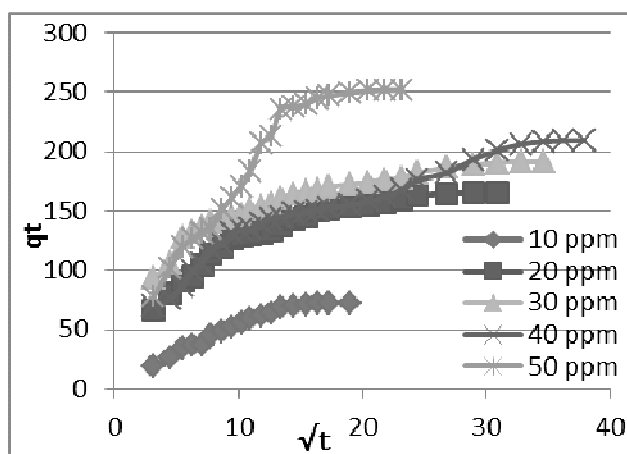
Tabel 4. Nilai Konstanta Laju Adsorpsi Orde Dua (K_2)

Konsentrasi awal (ppm)	K_2 (gram/(milligram.menit))
10	23×10^{-5}
20	14.97×10^{-5}
30	20×10^{-5}
40	7.28×10^{-5}
50	6.58×10^{-5}

Berdasarkan tabel 4, didapatkan kecenderungan nilai K_2 yang semakin kecil seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan awal zat warna metilen biru yang digunakan. Hal ini menunjukkan proses adsorpsi metilen biru akan semakin lama mencapai kesetimbangan apabila menggunakan konsentrasi awal larutan yang semakin besar atau semakin pekat. Pada proses adsorpsi terdapat *driving force* berupa perbedaan konsentrasi antara adsorbat pada fasa larutan dengan konsentrasi adsorbat pada permukaan adsorben yaitu karbon aktif, perbedaan konsentrasi akan terus berlangsung hingga permukaan adsorben dipenuhi oleh adsorbat dan mencapai keadaan kesetimbangan saat sudah tidak ada lagi zat warna metilen biru yang dapat teradsorpsi ke dalam karbon aktif

Difusi Intrapartikel

Laju penentu pada adsorpsi dapat ditentukan dengan model difusi intrapartikel, sehingga dapat diketahui jenis difusi yang menjadi laju penentu pada proses adsorpsi metilen biru dengan karbon aktif yang dihasilkan. Model difusi intrapartikel adsorpsi metilen biru dengan karbon aktif yang dihasilkan, disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Model Difusi Intrapartikel Adsorpsi Metilen Biru

Dari gambar 4, diperoleh kecenderungan peningkatan nilai konstanta laju difusi intrapartikel (K_{dif}) seiring dengan semakin besarnya konsentrasi larutan awal atau semakin pekat. Selain itu nilai konstanta (*intercept*) pada setiap persamaan juga cenderung meningkat, hal ini mengindikasikan bahwa semakin tebalnya boundary layer apa bila digunakan larutan dengan konsentrasi awal yang semakin pekat. (Ahmed El Nemr, O.A., et al)

Daftar Notasi

- C = konsentrasi larutan metilen biru tiap saat (ppm)
- C_{awal} = konsentrasi awal larutan metilen biru (ppm)



- $C_{equilibrium}$ = konsentrasi larutan metilen biru saat setimbang (ppm)
 q = Konsentrasi adsorbat pada permukaan adsorben pada setiap waktu (mg/g)
 q_{maks} = kapasitas maksimum adsorben (mg/g)
 q_e = kapasitas adsorben saat setimbang (mg/g)
 n = konstanta Freundlich
 R = tetapan gas universal, dengan $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$
 T = temperatur (K)
 ΔH_{ads} = Entalpi adsorpsi (kJ/mol)
 t = waktu (s)

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah karbon aktif dapat disintesis dari kulit salak dengan menggunakan aktivasi kimia larutan H_3PO_4 dengan konsentrasi 20%-b dan rasio massa kulit salak : $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1:4$. Karbon aktif yang dihasilkan memiliki % *removal* terhadap larutan zat warna metilen biru dengan variasi konsentrasi 10 ppm, 20 ppm, 30 pm, 40 ppm, dan 50 ppm yang cukup tinggi (45,66%-95,28%). Model isothermal adsorpsi yang dapat mewakili data percobaan adsorpsi zat warna metilen biru adalah model isothermal adsorpsi Langmuir, dengan nilai kapasitas karbon aktif terhadap zat warna metilen biru (Q_{maks}) sebesar 256,41 mg metilen biru / g karbon aktif. Model kinetika adsorpsi yang dapat mewakili data percobaan adsorpsi zat warna metilen biru adalah model kinetika pseudo orde dua.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed El Nemr, O.A., et al, (2009), *Removal of direct blue-86 from aqueous solution by new activated carbon developed from orange peel*. Journal of Hazardous Materials, 161, pp. 102-110
- Bansal, Roop Chand and Goyal, Meenakshi, *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, pp. 77-122
- Devarly Prahastika, Y. Kartika, N. Indraswati, S. Ismadji. 2007. *Activated carbon from jackfruit peel waste by H_3PO_4 chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization*. Department of Chemical Engineering, Widya Mandala Surabaya Catholic University
- L.Y. Hsu, H. Teng, *Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from Bituminous coal*, Fuel Process. Technol. 64 (2000) 155–166.
- Thomas, W.J. and Crittenden, Barry, (1998), *Adsorption Technology & Design*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 8-44.
- Renita, M., Rosdanelli, H., dan Irvan, 2004, *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Aerob dan Anaerob*, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara
- Richard D. Noble, Patricia A. Terry, (2004), *Principles of Chemical Separations with Environmental Applications*, Cambridge University Press, Cambridge
- Rutven, Douglas M., (1984), *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*, John Wiley & Sons, Inc, USA, pp.1-29
- Y.S. Ho, G. McKay, (1997), *Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes*, Department of Chemical Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Kowloon
- Yulu Diao, W. P. Walawender, L.T. Fan, (2001), *Activated carbons prepared from phosphoric acid activation of grain sorghum*, College of Engineering, Kansas State University, Manhattan





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Sri Suhenry (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

Notulen : Wibiana W. N. (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : I Gusti S Budiawan (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan :
 - Apakah tujuan utama penelitian?
 - Berapa yield yang dihasilkan?Jawaban : Tujuan utama yaitu memanfaatkan kulit salak untuk dibuat menjadi adsorben dengan yield 20 % dari berat arang.
2. Penanya : Wibiana (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan :
 - Mengapa dipakai zat pengaktivasi H_3PO_4 ?
 - Mengapa dipilih suhu pirolisis $400^\circ C$Jawaban : H_3PO_4 membentuk ikatan terhadap struktur dari kulit salak dan suhu $400^\circ C$ sudah dicoba dan paling optimum hasilnya.

