



## Sintesa Karbon Aktif dari Kulit Salak dengan Aktivasi Kimia-Senyawa $ZnCl_2$ dan Aplikasinya pada Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru

Raymond Tanumiharja<sup>\*</sup>, Aditya Putranto, dan Arenst Andreas

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

<sup>\*</sup>E-mail: raymondtanumiharja@gmail.com

### Abstract

*Microporous mesoporous activated carbon derived from salacca peel with surface area as high as 1435,76 m<sup>2</sup>/g has been successfully synthesized with Zinc Chloride ( $ZnCl_2$ ) as an activating agent. Salacca peel was firstly impregnated with fixed zinc chloride to salacca peel mass ratio of 2:1 and with fixed zinc chloride concentration of 20%-w. The impregnated salacca peel was pyrolyzed at 700°C in nitrogen atmosphere. The adsorption capability of the activated carbon was investigated by using methylene blue (MB) as dye. The adsorption study was realized in batch reactor with various MB initial concentrations of 2, 4, 6, 8, and 10 ppm. Langmuir, Tempkin, Freundlich, and Dubinin-Radushkevich isotherm models were used for mathematical description of the adsorption equilibrium. It was found that the equilibrium concentrations of the adsorption fitted very well with monolayer Langmuir isotherm model, with maximum adsorption capacity of 387,38 mg. g<sup>-1</sup>. The kinetic study was performed based on pseudo-first-order, pseudo-second-order, and intraparticle diffusion equations. The data indicated that the adsorption kinetics followed the pseudo-second-order mechanism closely than the pseudo-first-order and the intraparticle diffusion mechanism. The present study concludes that activated carbon derived from salacca peel could be employed as a potential adsorbent for the removal of color and dyes from aqueous solution, MB in particular.*

**Keywords:** Activated carbon, chemical activation, methylene blue, salacca peel,  $ZnCl_2$ , zinc chloride

### Pendahuluan

Pada era modern ini, kualitas dan gaya hidup telah menjadi suatu hal yang dianggap penting. Peningkatan kualitas dan gaya hidup ini berjalan seiring lahir dan berkembangnya dunia industri, seperti industri makanan, pakaian, dan industri-industri lainnya. Industri-industri ini menghasilkan berbagai jenis limbah, baik limbah gas, limbah cair, maupun limbah padatan; untuk itulah dibutuhkan suatu metode pengolahan limbah untuk mengurangi material-material beracun dan berbahaya dibuang ke lingkungan.

Di antara berbagai jenis limbah cair beracun dan berbahaya, limbah zat warna menempati urutan pertama jika ditinjau dari segi kuantitas (Velmurugan et al., 2011). Hal ini disebabkan zat warna digunakan secara luas dalam berbagai jenis industri (tekstil, karet, kertas, plastik, kosmetik dan lain sebagainya). Pada umumnya limbah dari proses pewarnaan pada industri-industri tersebut masih mengandung zat warna dengan konsentrasi yang sangat tinggi sehinggalah pembuangan limbah cair secara langsung dapat mengakibatkan penurunan kualitas air di lingkungan. Turunnya kualitas air ini dapat merusak ekosistem dan juga berbahaya pada populasi manusia setempat.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah zat warna secara efisien dan efektif adalah adsorpsi. Adsorpsi memiliki keunggulan dibandingkan metode konvensional karena operasinya berlangsung dengan bersih, bebas lumpur, dan efisiensi penghilangan zat warna dari limbah tinggi (Velmurugan et al., 2011). Pada umumnya zat warna tersusun dari logam yang berikatan kompleks dengan senyawa organik, maka jenis adsorben yang paling cocok digunakan sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung dengan baik adalah karbon aktif (Noble et al., 2004).

Karbon aktif pada umumnya disintesis menggunakan bahan dasar batu bara, namun dapat juga disintesis dengan menggunakan biomassa sebagai bahan baku. Biomassa yang umum digunakan dalam sintesis karbon aktif adalah tempurung kelapa, kayu dan gambut (Xiang et al., 2011), namun banyak penelitian juga difokuskan dalam memanfaatkan limbah-limbah biomassa, seperti: biji anggur, kulit kacang, kulit jeruk, kulit durian, kulit jagung, dan lain-lain. Pada penelitian ini sumber biomassa yang digunakan pada pembuatan karbon aktif adalah kulit salak. Produk utama dari pohon salak adalah buahnya, sedangkan bagian kulit buahnya digolongkan sebagai limbah belum memiliki aplikasi komersial yang memiliki daya jual. Berdasarkan hasil studi literatur mengenai suksesnya sintesis



karbon aktif dari berbagai jenis limbah biomassa dan dalam usaha untuk meningkatkan nilai ekonomis dari kulit salak, maka dikembangkanlah karbon aktif berbasis kulit salak.

Pada penelitian ini, karbon aktif dibuat dengan melalui proses kimiawi menggunakan agen aktivasi zink klorida ( $ZnCl_2$ ). Kelebihan  $ZnCl_2$  sebagai agen pengaktivasi adalah waktu dan suhu karbonisasi yang relatif rendah serta ukuran pori dari karbon aktif mayoritas mikropori. Adapun fokus dari penelitian ini adalah mempelajari isothermal adsorpsi dan kinetika adsorpsi dari karbon aktif yang telah berhasil disintesa dari kulit salak terhadap larutan zat warna metilen biru.

## Metodologi

### Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak

Kulit salak yang digunakan merupakan kulit salak pondoh (*salacca edulis*).  $ZnCl_2$  dibeli dari Sigma-Aldrich (USA) dengan kemurnian 98% (*reagent grade*). Air yang digunakan merupakan air distilasi.

Kulit salak dibersihkan dengan air hingga bersih kemudian dikeringkan di oven pada suhu  $110^\circ C$  selama 3 jam. Setelah itu kulit salak ditumbuk dan diayak sehingga homogen pada ukuran mesh -100+200. Bubuk kulit salak dan padatan  $ZnCl_2$  dengan perbandingan 1:2 dilarutkan dalam air distilasi dengan volume tertentu sehingga konsentrasi  $ZnCl_2$  dalam air adalah 20%-w. Larutan yang diperoleh kemudian dihomogenkan dalam *waterbathshaker* selama 20 jam. Kulit salak yang telah diaktivasi kemudian dikeringkan di dalam dioven selama 24 jam dengan suhu  $110^\circ C$ . Setelah kering, kulit salak yang telah diaktivasi kemudian dikarbonisasi pada suhu  $700^\circ C$  selama 1 jam dengan aliran nitrogen.

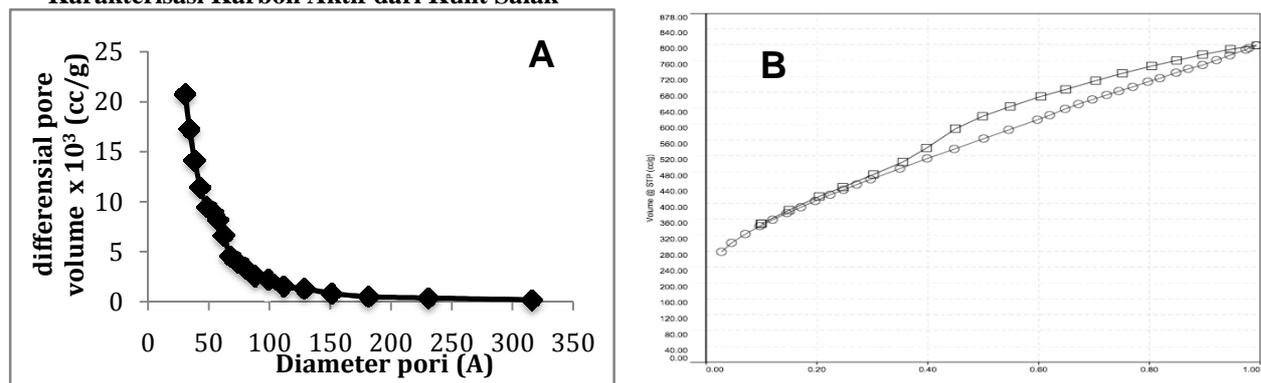
Karbon aktif yang diperoleh dari proses karbonisasi dicuci dengan HCl 0,5 M untuk menghilangkan  $ZnCl_2$  yang digunakan pada tahap aktivasi, yang kemudian dilanjutkan dengan pencucian menggunakan air distilasi untuk menghilangkan HCl yang tersisa. Pencucian dengan air distilasi dilakukan hingga pH air pencucian netral. Bubuk kulit salak yang telah dicuci kemudian dikeringkan kembali dengan oven selama 24 jam pada suhu  $110^\circ C$ .

### Proses Adsorpsi Larutan Zat Warna Metilen Biru

15 mg karbon aktif yang telah disintesa dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan zat warna metilen biru sebanyak 250 mL. Konsentrasi zat warna metilen biru yang digunakan pada proses adsorpsi adalah 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. Setelah karbon aktif dimasukkan pada erlenmeyer yang berisi larutan metilen biru, erlenmeyer diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur ruang. Larutan sampel diambil setiap rentang waktu yang telah ditentukan menggunakan pipet, kemudian disentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 1000 rpm. Bagian supernatant diambil dan kemudian dianalisa dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 700 nm. Pengukuran dilakukan hingga %T yang diperoleh konstan. Baik bagian supernatant maupun endapannya dimasukkan kembali pada labu erlenmeyer setelah pengukuran selesai dilakukan.

## Hasil dan Pembahasan

### Karakterisasi Karbon Aktif dari Kulit Salak



Gambar 1. (A) Grafik Distribusi Pori dan (B) Grafik Adsorpsi-Desorpsi Isothermal N<sub>2</sub>

Karbon aktif yang disintesa dari kulit salak memiliki luas area permukaan sebesar  $1435,76 \text{ m}^2/\text{g}$  dengan total volume pori sebesar  $1,23 \text{ cc/g}$  dan diameter pori rata-ratanya adalah  $34,38 \text{ \AA}$ . Gambar 1(A) menunjukkan grafik distribusi pori yang diperoleh melalui analisis Barret-Joyner-Hallenda (BJH) pada karakterisasi adsorpsi nitrogen. Analisa BJH hanya dapat menggambarkan bagian mesopori dari karbon aktif, sehingga bagian mikropori dan makropori dari karbon aktif yang telah disintesa tidak dapat terlihat secara jelas. *Differential pore volume* (sumbu y) menggambarkan fraksi dari jumlah pori. Berdasarkan Gambar 1(A), dapat dilihat bahwa pada bagian mesopori, ukuran pori mayoritas dari karbon aktif dari kulit salak berada pada rentang 5-15 nm, namun fraksinya sangatlah

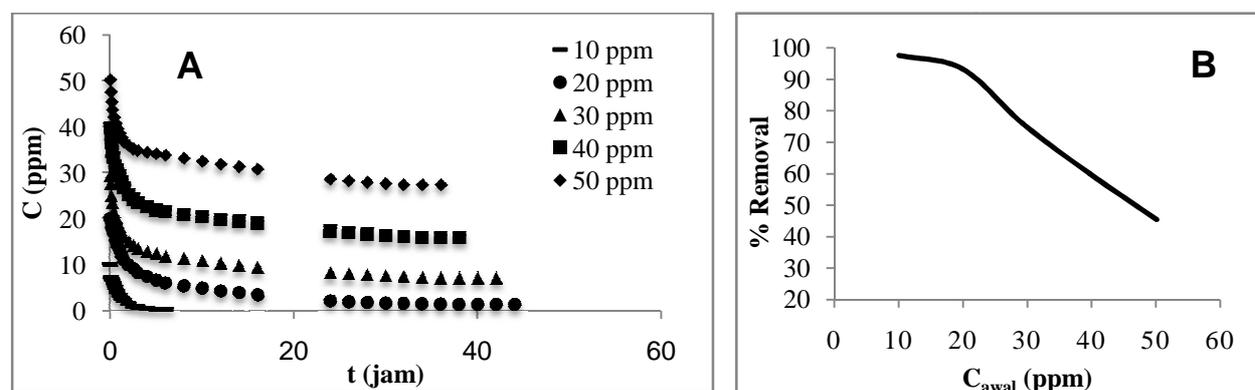
rendah. Pada diameter pori kurang dari 2 nm, *differensial pore volume*-nya memiliki nilai yang sangat tinggi, namun setelah melewati 15 nm, fraksi jumlah porinya sudah sangat mendekati nol. Hal ini mengindikasikan bahwa mayoritas pori dari karbon aktif dari kulit salak adalah mikropori, sebagian kecil mesopori, dan tidak terdapat makropori.

Gambar 1(B) menunjukkan grafik adsorpsi-desorpsi dari karbon aktif dari kulit salak. Berdasarkan Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa karbon aktif ini mengikuti gabungan kurva adsorpsi-desorpsi isoterma tipe I dan IV IUPAC (Gregg et al., 1982). Hal ini mengartikan bahwa karbon aktif memiliki karakteristik mikropori dan mesopori serta memiliki proses adsorpsi monolayer dan multilayer secara berurutan (Schneider, 1995). Berdasarkan Gambar 1(B), dapat dilihat pada rentang tekanan tertentu, adanya perbedaan lintasan antara proses adsorpsi dan desorpsi, dimana hal ini mengartikan adanya perbedaan jumlah gas yang terdesorpsi dan teradsorpsi. Pada tekanan yang sama, jumlah gas nitrogen yang ada pada permukaan karbon aktif saat desorpsi lebih banyak dibanding jumlah gas pada permukaan karbon aktif saat adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh adanya fenomena kondensasi kapiler, dimana gas yang teradsorpsi terkondensasi di dalam pori-pori karbon aktif, sehingga saat terjadi desorpsi, pada tekanan yang sama, masih ada nitrogen yang memiliki fasa cair, akibatnya volume nitrogen yang ada pada pori-pori dan permukaan karbon aktif lebih banyak dibanding pada saat adsorpsi. Rentang tekanan dimana terjadi fenomena kondensasi kapiler terjadi merupakan bagian mesopori dari karbon aktif. Pada tekanan relatif yang rendah, kurva mengikuti isoterma Langmuir, dimana hal ini menunjukkan bagian mikropori dari karbon aktif.

Gambar 2(A) menunjukkan profil konsentrasi larutan zat warna metilen biru pada proses adsorpsi menggunakan 15 mg karbon aktif dari kulit salak yang telah berhasil disintesis. Berdasarkan Gambar 2(A) dapat dilihat bahwa untuk larutan metilen biru pada konsentrasi 20 ppm – 50 ppm, semakin besar konsentrasi metilen biru, maka kesetimbangan semakin cepat terjadi. Gambar 2(B) menunjukkan kurva persen removal pada tahap adsorpsi metilen biru. Adapun % Removal didefinisikan pada persamaan (1).

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

Pada Gambar 2(B) dapat dilihat bahwa persen penghilangan zat warna dari larutan akan menurun secara linear seiring naiknya konsentrasi larutan (untuk 20-50 ppm). Penurunan persen removal ini terjadi secara linear karena jumlah molekul metilen biru yang dapat diadsorpsi sudah maksimal sehingga penurunannya pun konstan untuk setiap konsentrasi. Pada larutan dengan konsentrasi metilen biru 10 ppm persen removalnya hampir mencapai 100%, dimana hal ini menandakan bahwa seluruh zat warna metilen biru sudah teradsorpsi sebelum karbon aktif mencapai kapasitas maksimum adsorpsinya atau bahkan mungkin sebelum seluruh permukaan karbon aktif menjadi jenuh dengan zat warna metilen biru sehingga kesetimbangan cepat tercapai.



Gambar 2. (A) Profil Konsentrasi Larutan Zat Warna Metilen Biru saat Adsorpsi  
(B) Kurva Persen Removal Zat Warna Metilen Biru

### Adsorpsi Isoterma

Model adsorpsi isoterma, seperti model Freundlich, model Langmuir, model Temkin, model Dubinin-Raduskevich, dan lainnya pada umumnya digunakan untuk mengetahui kondisi kesetimbangan pada proses adsorpsi. Kondisi kesetimbangan sendiri dapat digambarkan melalui beberapa parameter, yang meliputi kapasitas maksimal adsorpsi, intensitas adsorpsi, dan entalpi adsorpsi. Berikut adalah persamaan-persamaan isoterma yang digunakan pada penelitian ini:

Persamaan Freundlich dan linearisasinya:

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

Persamaan Langmuir dan linearisasinya:

$$q_e = \frac{q_m K_a C_e}{1 + K_a C_e} \rightarrow \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_a q_m} + \frac{1}{q_m} \times C_e \quad (3)$$

Persamaan Temkin dan linearisasinya:

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

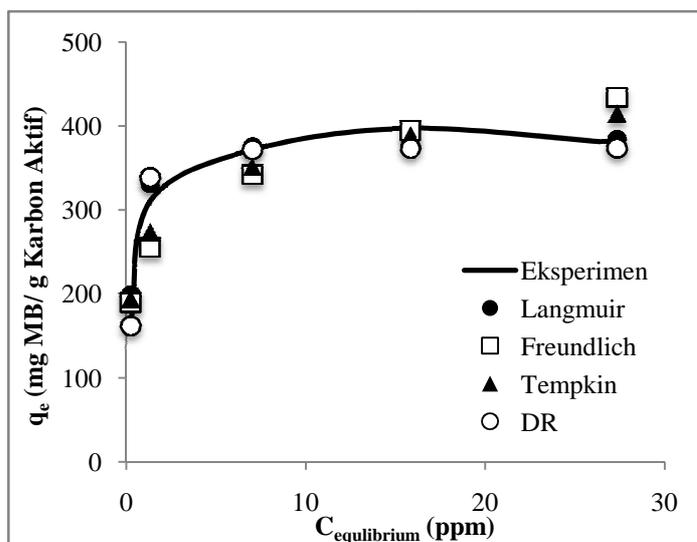
Persamaan Dubinin-Radushkevich dan linearisasinya:

$$q_e = q_m \exp(-K \varepsilon^2) \rightarrow \ln q_e = \ln q_m - K \varepsilon^2 \text{ dengan } \varepsilon = RT \ln(1 + \frac{1}{C_e}) \text{ dan } E = \frac{1}{\sqrt{2K}} \quad (5)$$

Tabel 1 menunjukkan nilai parameter dari beberapa model isoterml adsorpsi. Jika konstanta-konstanta yang diperoleh pada Tabel 1 dimasukkan dalam persamaan 2-8, maka dapat ditentukan kapasitas adsorpsi saat kesetimbangan untuk setiap model isoterml, yang digambarkan pada Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada model isoterml Langmuir dan Dubinin-Radushkevich (DR), nilai  $Q_e$  akan selalu konstan setelah mencapai konsentrasi kesetimbangan tertentu. Berbeda dengan kedua model isoterml pertama, pada model isoterml Tempkin dan Freundlich kapasitas adsorpsi terus meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi kesetimbangan. Hal ini mengindikasikan bahwa model isoterml Freundlich dan Tempkin tidak terbatas pada adsorpsi satu layer saja, sehingga walaupun karbon aktif telah mencapai titik jenuh, proses adsorpsi masih tetap dapat berlangsung hingga tahap tertentu (Freundlich et al., 1906). Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa model isoterml yang paling tepat dalam menggambarkan keadaan kesetimbangan adalah model isoterml Langmuir dengan kapasitas maksimum adsorpsi ( $q_m$ ) sebesar  $387,38 \text{ mg g}^{-1}$ . Isoterml Langmuir pada dasarnya mengasumsikan bahwa adsorpsi hanya terjadi pada satu lapisan saja, dimana hal ini menandakan bahwa interaksi antara adsorben dan adsorbat cukup lemah. Hal ini dipertegas oleh nilai  $E$  yang kurang  $20 \text{ kJ mol}^{-1}$  pada model isoterml DR, yang menandakan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisika (Sarin et al., 2006).

**Tabel 1.** Parameter Model Isoterml Adsorpsi

<b>Langmuir</b>	$q_m = 387,38 \text{ mg g}^{-1}$ $K_a = 4,43 \text{ L mg}^{-1}$ $R^2 = 0,999$
<b>Freundlich</b>	$1/n = 0,17$ $K_F = 243,4 \text{ mg g}^{-1}$ $R^2 = 0,846$
<b>Tempkin</b>	$A_T = 268,1 \text{ L g}^{-1}$ $B = 46,57 \text{ mg L}^{-1}$ $R^2 = 0,892$
<b>Dubinin-Radushkevich</b>	$q_m = 373,61 \text{ mg g}^{-1}$ $K = 0,05 \text{ mol}^2 \text{ kJ}^{-2}$ $E = 3,15 \text{ kJ mol}^{-1}$ $R^2 = 0,978$



**Gambar 3.** Kapasitas Adsorpsi pada Kesetimbangan untuk Beberapa Model Isoterml Adsorpsi

### Kinetika Adsorpsi

Model kinetika adsorpsi merupakan model matematis yang bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat metilen biru dapat dihilangkan dalam larutan. Kinetika adsorpsi digambarkan melalui profil konsentrasi metilen biru sebagai fungsi waktu pada saat adsorpsi berlangsung. Pada penelitian ini, profil kinetika adsorpsi dibuat berdasarkan pendekatan model empiris pseudo-orde 1, model pseudo-orde 2, dan model difusi intrapartikel (Nemr et al., 2009). Berikut adalah persamaan-persamaan kinetika yang digunakan:

Persamaan pseudo-orde 1 dan linearisasinya:

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q) \rightarrow \log(q_e - q) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} t \quad (6)$$

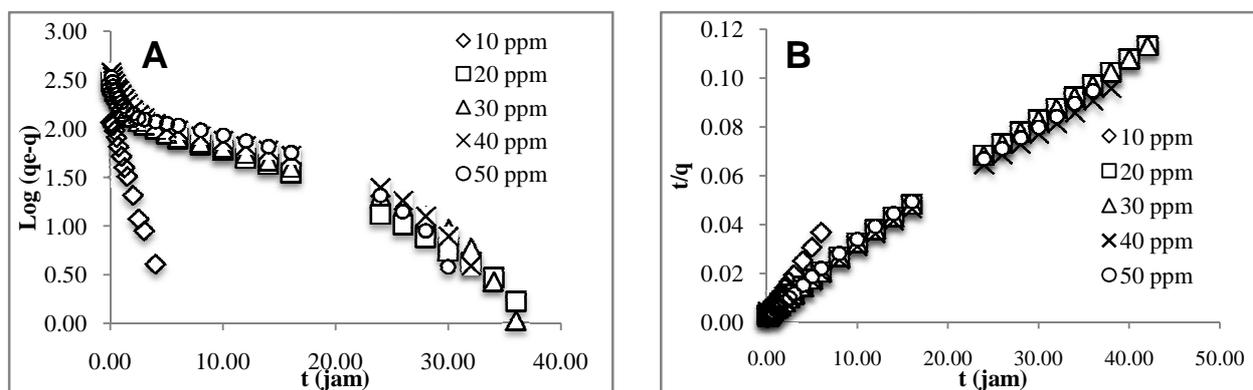
Persamaan pseudo-orde 2 dan linearisasinya:

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q)^2 \rightarrow \frac{t}{q} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (7)$$

Persamaan difusi intrapartikel:

$$q = K_{diff}t^{1/2} + C \quad (8)$$

Gambar 4 menggambarkan model kinetika pseudo orde-1 (A) dan model pseudo orde-2 (B) dari proses adsorpsi metilen biru menggunakan karbon aktif dari kulit salak. Pada model kinetika pseudo orde-1 dan pseudo orde-2 juga diperoleh nilai  $Q_e$ , sama seperti pada model isotermal adsorpsi Langmuir. Berdasarkan nilai  $Q_e$  yang tertera pada Tabel 2 dan Tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai  $Q_e$  dari pseudo orde 2 lebih mendekati nilai  $Q_e$  dari eksperimen, dimana hal ini mengartikan bahwa model pseudo orde-2 lebih tepat dalam menggambarkan kinetika adsorpsi metilen biru dengan menggunakan karbon aktif dari kulit salak. Gambar 5 menunjukkan kurva model kinetika *intraparticle diffusion*. Model inipada umumnya terdiri dari 3 bagian, yaitu: 1) *external surface adsorption*, 2) *gradual adsorption stage*, dimana pada tahap ini *intraparticle diffusion* dapat menjadi tahap penentu laju adsorpsi, dan 3) *equilibrium stage*. Berdasarkan Gambar 5, maka model mematis *intraparticle diffusion* ini harus diterapkan pada bagian kedua kurva ( $t = 0.25$  jam – 3 jam). Tabel 4 menunjukkan parameter model kinetika adsorpsi *intraparticle diffusion* yang diperoleh dari hasil regresi pada  $t = 0.25$  jam- 3 jam.



Gambar 4. Plot Model Kinetika (A) Pseudo-Orde 1 dan (B) Pseudo-Orde 2

Tabel 2. Parameter Model Kinetika Pseudo-Orde 1

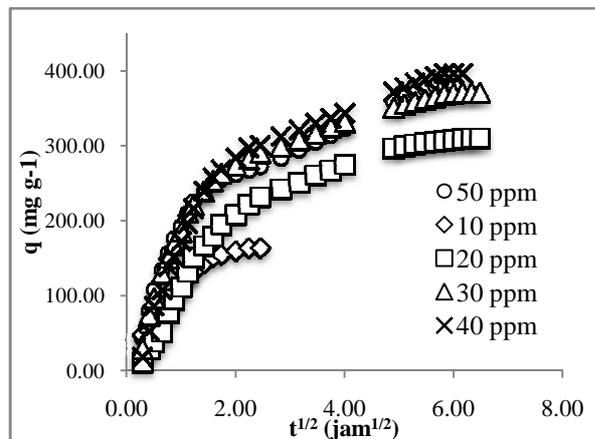
Concentration	$q_e$ (Eksperimen)	$K_1$	$q_e$ (Perhitungan)	$R^2$
10	163,38	1,12	122,78	0,996
20	310,02	0,12	218,88	0,984
30	371,29	0,12	214,89	0,945
40	397,05	0,11	244,96	0,952
50	379,69	0,11	231,26	0,945

Tabel 3. Parameter Model Kinetika Pseudo-Orde 2

Concentration	$q_e$ (Eksperimen)	$K_2$ ( $\times 10^3$ )	$q_e$ (Perhitungan)	$h$	$R^2$
10	163,38	10,71	179,04	343,36	0,996
20	310,02	1,4	325,44	148,03	0,999
30	371,29	1,92	379,56	276,37	0,999
40	397,05	1,45	408,33	242,08	0,998
50	379,69	1,65	387,77	248,38	0,995

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai konstanta (C) cenderung meningkat seiring meningkatnya konsentrasi awal metilen biru. Nilai C ini menggambarkan ketebalan *boundary layer* antara fasa bulk larutan dan permukaan karbon aktif. Meningkatnya nilai C seiring peningkatan konsentrasi awal metilen biru menandakan bahwa meningkatnya tebal *boundary layer*, dimana hal ini mengartikan menurunnya kemungkinan untuk terjadi transfer massa external dan meningkatnya kemungkinan untuk transfer massa internal (Nemr et al., 2009). Hal ini mengartikan bahwa semakin besar konsentrasi awal metilen biru, maka terjadi pergeseran pada tahap penentu laju dari difusi eksternal adsorbat menjadi difusi internal adsorbat. Nilai C yang tidak nol mengartikan bahwa laju (garis regresi tidak melewati *origin*), namun  $R^2$  yang cukup tinggi, mengartikan bahwa difusi intrapartikel merupakan salah satu laju penentu adsorpsi, namun bukan satu-satunya laju penentu adsorpsi (Ozcan et al., 2006, Kannan dan Sundaram, 2001). Nilai konstanta laju difusi ( $K_{diff}$ ) juga cenderung meningkat seiring meningkatnya konsentrasi

awal metilen biru, dimana hal ini menandakan bahwa proses difusi internal akan semakin cepat seiring meningkatnya konsentrasi awal zat warna metilen biru.



Tabel 4. Parameter Model Kinetika Difusi Intrapartikel

$C_o$	$K_{diff}$	$C$	$R^2$
10	92,04	14,33	0,974
20	97,2	26,93	0,981
30	134,43	45,79	0,965
40	153,29	17,56	0,984
50	120,89	65,83	0,952

$K_1$  (hour<sup>-1</sup>),  $K_2$  (g (mg hour)<sup>-1</sup>),  $K_{diff}$  (mg g<sup>-1</sup> hour<sup>-1/2</sup>)

Gambar 5. Plot Model Kinetika Difusi Intrapartikel

### Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit salak dapat digunakan dalam proses adsorpsi zat warna metilen biru. Analisa isoterml adsorpsi menunjukkan bahwa model isoterml Langmuir merupakan model yang paling tepat dalam menggambarkan kondisi kesetimbangan adsorpsi, dengan kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 387,38 mg g<sup>-1</sup>. Analisa isoterml adsorpsi menunjukkan bahwa model kinetika pseudo-orde 2 merupakan model matematis yang paling tepat dalam mewakili proses adsorpsi yang terjadi.

### 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)  
 $R$  = tetapan gas universal, dengan  $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol.K})$   
 $T$  = temperatur (K)  
 $t$  = waktu (jam)

### Daftar Pustaka

- Freundlich, H.M.F., 1906, Over the adsorption in solution. *J. Phys. Chem.*, 57, 385-471.  
 Gregg, S.J. dan Sing, K.S.W., 1982, *Adsorption, Surface Area and Porosity*. 2<sup>nd</sup> Ed., Academic Press Inc., London.  
 Kannan, K. dan Sundaram, M.M., 2001, Kinetics and mechanism of removal of Methylene Blue by adsorption on various carbons—a comparative study. *Dyes Pigments*, 51, 25-40.  
 Kristianto, H., 2013, Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Jeruk untuk Elektroda Superkapasitor, *Master Thesis*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia.  
 Nembr, A.E., Abdelwahab, O., Sikaily, A.E., dan Khaled, A., 2009, Removal of direct blue-86 from aqueous solution by new activated carbon developed from orange peel. *J. Haz. Mat.*, 161, 102-110.  
 Noble, R.D. dan Terry, P.A., 2004, *Principles of Chemical Separations with Environmental Applications*, Cambridge University Press, London.  
 Ozcan, Oncu, E.M., dan Ozcan, A.S., 2006, Kinetics, isotherm and thermodynamic studies of adsorption of Acid Blue 193 from aqueous solutions onto natural sepiolite. *Coll. Surf. A*, 277, 90-97.  
 Sarin, V., Singh, T.S., dan Pant, K.K., 2006, Thermodynamic and breakthrough column studies for the selective sorption of chromium from industrial effluent on activated eucalyptus bark. *Biores. Technol.*, 97, 1986-1993.  
 Scheinder, P. (1995). Adsorption isotherms of microporous-mesoporous solids revisited. *Appl. Catal. A*, 129, 157-165.  
 Velmurugan, P., Rathina, K.V., dan Dhinakaran, G., 2011, Dye removal from aqueous solution using low cost adsorbent, *Int. J. Environ. Sci.* 1(7).



## 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 Budiaman (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Kenapa harus dimasukkan N<sub>2</sub>? Bukankah itu pemborosan kerja?  
Jawaban : Kalau ada O<sub>2</sub> pada suhu tinggi, akan menghasilkan CO<sub>2</sub>. Maka dimasukkan N<sub>2</sub> dari awal.
2. Penanya : Rizky (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan :
  - Proses pirolisis dilakukan pada suhu berapa?
  - Bagaimana cara menghilangkan zat pengotor?Jawaban :
  - Proses dilakukan pada suhu 600 °C.
  - Untuk menghilangkan zat pengotor, diinjeksikan gas N<sub>2</sub> sehingga zinc akan turun ke bawah dan bereaksi dengan Cl menjadi ZnCl<sub>2</sub>
3. Penanya : Sri Suhenry (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Berapa jumlah adsorben yang digunakan?  
Jawaban : 10 sampai 50 ppm dalam 5 mgram

