



## Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak Aktivasi Kimia-Senyawa KOH sebagai Adsorben Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru

Vincent Liem, Aditya Putranto and Arenst Andreas\*)

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

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

### Abstract

*In this study, activated carbons were prepared through chemical activation of Salacca peel, using KOH as chemical agent. Salacca peels were firstly pre-carbonized in an electrical furnace at temperature of 500 °C, then the peels were impregnated at a fixed salacca peel to potassium carbonate ratio of 1:4 and fixed potassium carbonate concentration of 20 %-w. The impregnated salacca peels were then carbonized at temperature of 800 °C. Activated carbons with a high surface area of 1939 m<sup>2</sup>/g were obtained. The activated carbon was tested in the adsorption of methylene blue (MB) from aqueous phase. The adsorption study was realized using batch experiments with synthetic MB solution with various initial concentrations of 20, 30, 40, 50 and 55 ppm. The Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich adsorption models were used for mathematical description of the adsorption equilibrium, and it was found that the experimental data fitted well to the Langmuir isotherm. Batch 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. The adsorption capacity of salacca peel based activated carbons for the removal of MB was found to be 674 mg·g<sup>-1</sup>. These results indicated the salacca peels derived activated carbons as a potential adsorbent for removal of MB from aqueous solutions.*

**Keywords:** Salacca peels, KOH, Activated Carbons, Adsorption, Methylene Blue

### Pendahuluan

Metode adsorpsi merupakan salah satu cara yang efisien dan efektif untuk mengolah limbah zat warna. Keunggulan metode ini adalah tidak terbentuk lumpur atau slurry, zat warna dapat dihilangkan dengan baik dan adsorben yang telah digunakan dapat diregenerasi sehingga dapat digunakan kembali untuk proses pengolahan limbah. Adsorben yang umumnya digunakan untuk pengolahan limbah zat warna adalah karbon aktif. Karbon aktif dapat mengadsorpsi dengan baik senyawa-senyawa organik (Worch, 2012) dan biaya produksi yang relatif murah karena bahan baku pembuatan karbon aktif dapat berasal dari limbah biomassa.

Pada penelitian ini digunakan kulit salak sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif. Penggunaan kulit salak sebagai bahan baku dikarenakan produksi buah salak di Indonesia sangat berlimpah dan masih minimnya pengolahan limbah dari kulit salak menjadi produk yang lebih bermanfaat serta kandungan kulit salak sendiri yang terdiri dari selulosa. Menurut Badan Pusat Statistik, produksi buah salak di Indonesia mencapai 991 ribu ton pada tahun 2013.

Dalam penelitian ini sintesis karbon aktif dilakukan dengan aktivasi kimia menggunakan senyawa KOH. Kelebihan senyawa KOH sebagai *activating agent* diantaranya menghasilkan karbon aktif dengan pori-pori yang didominasi dengan ukuran mikropor, dimana diketahui bahwa adsorben dengan ukuran pori mesopor dan mikropor lebih efektif untuk proses adsorpsi. Selain itu aktivasi dengan KOH menghasilkan produk samping berupa *tar* yang lebih sedikit (Marsh dan Rodriguez-Reinoso, 2006). Karbon aktif yang telah disintesis kemudian diuji untuk mengadsorpsi larutan zat warna metilen biru.





Fokus dari penelitian ini adalah karbon aktif disintesis dengan aktivasi kimia senyawa KOH dan digunakan untuk proses adsorpsi zat warna metilen biru. Dari proses adsorpsi akan diketahui kapasitas dan parameter-parameter adsorpsi Isotermal serta kinetika proses adsorpsi.

## Metodologi

### Sintesis Karbon Aktif

Bahan baku yang digunakan dalam sintesis karbon aktif adalah kulit salak. Aktivator yang digunakan adalah senyawa KOH. Bahan baku kulit salak dibersihkan dengan air hingga bersih kemudian dikeringkan dalam oven. Ukuran kulit salak dikecilkan hingga berukuran mesh 100-200. Kulit salak diprekarbonisasi dengan *furnace* yang dialiri gas inert pada temperatur 500°C selama 1 jam (Bagheri dan Abedi, 2009) hal ini bertujuan untuk menghilangkan zat-zat volatil pada kulit salak.

Kulit salak yang telah diprekarbonisasi kemudian dicampurkan dengan padatan potassium hidroksida dengan perbandingan rasio massa kulit salak: KOH 1:4. Padatan KOH di erlenmeyer dilarutkan dengan air distilasi hingga konsentrasinya 20%. Kulit salak kemudian dicampurkan ke dalam larutan sambil dikocok dengan *shaker* selama 20 jam. Kulit salak yang telah diaktivasi oleh KOH lalu dikeringkan terlebih dahulu dalam oven kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* untuk diaktivasi pada suhu 800°C selama 1 jam dengan aliran gas nitrogen.

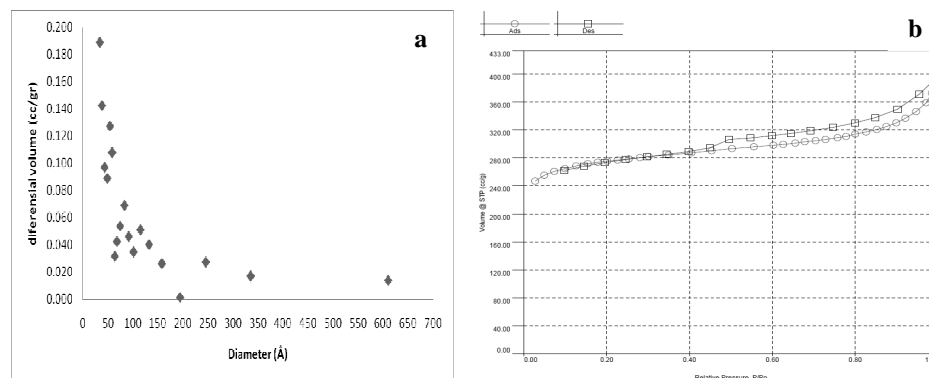
Kulit salak yang telah diaktivasi kemudian dicuci dengan air distilasi dan larutan HCl encer hingga pH air pencucian mencapai 6-7 (Bagheri dan Abedi, 2009). Kulit salak yang telah dicuci kemudian dikeringkan kembali di dalam oven. Setelah tahap aktivasi karbon aktif diselesaikan, dilanjutkan dengan tahap analisa *Brunauer-Emmet-Teller (BET)* pada karbon aktif. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik karbon aktif yang diperoleh.

### Proses Adsorpsi Zat Warna

Karbon aktif yang digunakan untuk proses adsorpsi disiapkan sebanyak 10 mg tiap satu erlenmeyer. Karbon aktif dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml yang berisi variasi konsentrasi larutan zat warna metilen biru. Variasi konsentrasi zat warna yang dilakukan terdiri dari 20, 30, 40, 50 dan 55 ppm. Setelah karbon aktif dimasukkan, erlenmeyer diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur ruang. Larutan sampel diambil dalam rentang waktu tertentu menggunakan pipet kemudian disentrifugasi di alat *sentrifuge* selama 10 menit dengan kecepatan maksimum. Bagian supernatan hasil sentrifugasi diambil dan %T dianalisa menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 700nm. Pengukuran dilakukan hingga %T yang diperoleh konstan.

## Hasil dan Pembahasan

Karbon aktif diaktivasi secara kimia dengan senyawa KOH. Karakteristik kulit salak seperti luas permukaan, volume, ukuran diameter pori diperoleh dari analisa BET. Diketahui luas permukaan karbon aktif yang didapat sebesar 1939 m<sup>2</sup>/gr, volume pori sebesar 1,088 cc/gr, diameter pori sebesar 22,446 Å serta perolehan rendemen sebesar 14,5%.



Gambar 1. (a) Grafik Distribusi pori dan (b) Grafik Adsorpsi-Desorpsi Isotermal N<sub>2</sub>





Gambar 1(a) menunjukkan grafik distribusi pori yang diperoleh melalui analisis Barret-Joyner-Hallenda (BJH) pada karakterisasi adsorpsi nitrogen. *Differential pore volume* (sumbu y) menggambarkan fraksi dari jumlah pori. Dari Gambar 1(a) dapat dilihat bahwa pada ukuran pori diantara 30 hingga 50 angstrom memiliki fraksi dari jumlah pori yang sangat besar. Mayoritas distribusi pori sampel karbon berada pada pori 50 hingga 200 angstrom namun memiliki fraksi dari jumlah pori lebih kecil dibanding pori-pori berukuran di bawah 50 angstrom. Pada diameter di atas 200 angstrom nilai fraksi dari jumlah pori semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pori karbon aktif adalah mesopori dan sedikit makropori.

Gambar 1(b) menunjukkan grafik adsorpsi-desorpsi isothermal pada gas N<sub>2</sub>. Berdasarkan Gambar 1(b), dapat dilihat bahwa karbon aktif ini mengikuti gabungan kurva adsorpsi-desorpsi isothermal IV IUPAC. Tipe ini menjelaskan bahwa adsorben memiliki karakteristik mesopori dan memiliki proses adsorpsi berturut-turut *monolayer* dan *multilayer* yang disertai perbedaan lintasan antara adsorpsi dan desorpsi karena diakibatkan adanya peristiwa kondensasi kapiler (Sieder *et al.*, 2011). Dari Gambar 1(b) didapat bahwa pada saat P/P<sub>0</sub> > 0 gas mulai teradsorp. Kemudian peningkatkan tekanan akan mengakibatkan adsorpsi gas mulai menjenuhi monolayer. Selanjutnya kenaikan tekanan akan mendorong terjadinya adsorpsi multilayer, namun jumlah yang teradsorp sedikit jika dilihat dari slope grafik yang landai. Pada P/P<sub>0</sub> sekitar 0,9 terjadi interaksi antara molekul gas yang teradsorp pada dinding pori yang saling berhadapan. Pada tekanan P/P<sub>0</sub> = 1 menyebabkan molekul gas memenuhi mesopori. Pada saat tekanan diturunkan kembali untuk desorpsi gas, kurva isothermal menunjukkan terjadinya *loop histerisis* dimana jumlah gas yang terdesorpsi tidak sama dengan yang teradsorpsi di awal, pada tekanan yang sama jumlah gas yang tertinggal di permukaan material ketika desorpsi lebih banyak dibandingkan ketika adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopore.

### Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru.

#### Model Adsorpsi Isothermal

Proses adsorpsi dilakukan dengan melibatkan 5 variasi konsentrasi yang terdiri dari 20, 30, 40, 50 dan 55 ppm dan karbon aktif yang berhasil disintesis sebanyak 10 mg setiap konsentrasi. Tujuan dari 5 variasi konsentrasi ini adalah mendapatkan parameter-parameter Adsorpsi Isothermal. Adsorpsi Isothermal yang diuji dalam percobaan ini yaitu Langmuir, Freundlich, Temkin dan Dubinin Radushkevich. Dalam percobaan akan diperoleh jenis adsorpsi isothermal yang paling cocok dengan data yang diperoleh.

Persamaan Langmuir dan linearisasinya:

$$q_e = \frac{q_m K_a C_e}{1 + K_a C_e} \rightarrow \frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_a} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

Persamaan Freundlich dan linearisasinya:

$$q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \rightarrow \log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

Persamaan Temkin dan linearisasinya:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(\alpha \cdot C_e) \rightarrow q_e = \beta \ln \alpha + \beta \ln C_e \quad (4) \text{ dengan } \beta = (RT) / b \quad (5)$$

Persamaan Dubinin-Radushkevich dan linearisasinya:

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

Parameter-parameter model adsorpsi isothermal ditampilkan pada Tabel.1. Dari nilai R<sup>2</sup> didapat bahwa model Langmuir memiliki nilai R<sup>2</sup> paling mendekati 1 sehingga dapat dikatakan bahwa proses adsorpsi dengan sampel karbon aktif yang disintesis mengikuti model adsorpsi isothermal Langmuir. Adsorpsi Isothermal Langmuir mendeskripsikan molekul yang teradsorp hanya menempel pada lapisan terluar dari permukaan karbon aktif atau hanya membentuk monolayer dan tidak adanya interaksi antar molekul yang teradsorp, hal ini. Model ini juga mengasumsikan bahwa karbon aktif memiliki permukaan identik, artinya memiliki kemampuan yang sama dalam mengadsorp molekul. Energi yang dihasilkan dalam proses adsorpsi diasumsikan sama untuk dari awal adsorpsi hingga adsorpsi mencapai kesetimbangan. Dari hasil perhitungan didapat nilai q<sub>m</sub> atau kapasitas maksimum yang dimiliki karbon aktif adalah 0,674 mg solute/mg karbon aktif dan nilai konstanta Langmuir atau k<sub>1</sub> sebesar 4.01 L/mg solute.





**Tabel 1.** Parameter-Parameter Model Adsorpsi Isotermal

Adsorpsi Isotermal Langmuir			
$q_m$ (mg solute/mg karbon aktif)	$k_1$ (L/ mg solute)		$R^2$
0,674	4,01		0,869
Adsorpsi Isotermal Freundlich			
N	$k_f$ (mg solute/mg karbon aktif)		$R^2$
15,15	0,544		0,712
Adsorpsi Isotermal Temkin			
$\alpha$ (L/mg solute)	$\beta$	b (j/mol)	$R^2$
1202604,284	0,039	63527,487	0,683
Adsorpsi Isotermal Dubinin-Radushkevich			
$q_m$ (mg solute/mg karbon aktif)	$k_d$ (mol <sup>2</sup> /J <sup>2</sup> )	E (joule/mol)	$R^2$
0,666	$7 \times 10^{-8}$	2672	0,841

### Kinetika Adsorpsi

Penentuan model kinetika adsorpsi terhadap zat warna oleh karbon aktif yang telah disintesis, dilakukan dengan pengukuran konsentrasi larutan metilen biru (30–55 ppm) setiap selang waktu tertentu hingga dicapai kesetimbangan. Terdapat dua model kinetika yang digunakan untuk menguji proses adsorpsi yaitu model pseudo orde-1 dan pseudo orde-2.

Persamaan pseudo-orde 1 dan linearisasinya:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \rightarrow \log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} t \quad (8)$$

Persamaan pseudo-orde 2 dan linearisasinya:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \rightarrow \left(\frac{t}{q_t}\right) = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (9)$$

**Tabel.3** Parameter Model Kinetika Pseudo Orde-1

Konsentrasi awal	$q_e$ (mg solute/mg karbon aktif)	$k_1$ ( 1/menit)	$R^2$
30 ppm	0,417	0,0138	0,971
40 ppm	0,411	0,0160	0,97
50 ppm	0,433	0,0140	0,877
55 ppm	0,369	0,0184	0,907

**Tabel.4** Parameter Model Kinetika Pseudo Orde-2

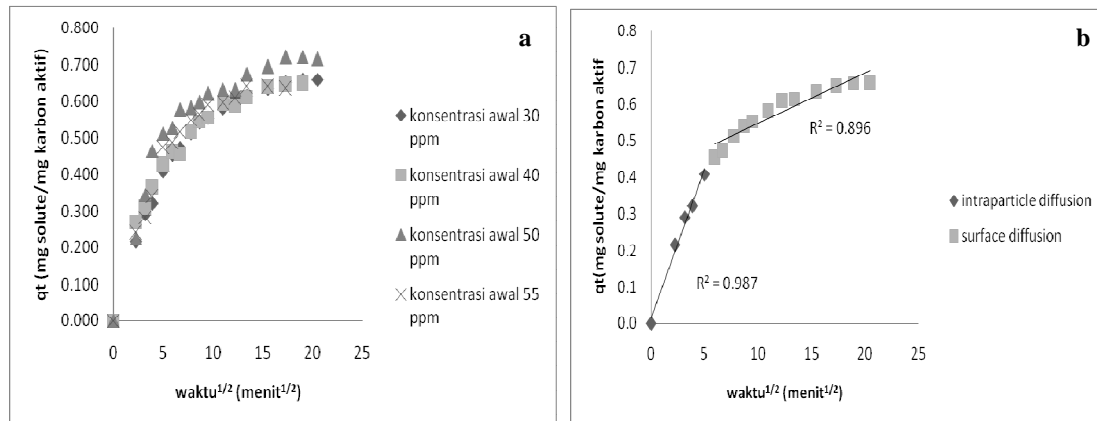
Konsentrasi awal	$q_e$ (mg solute/mg karbon aktif)	$k_2$ ( 1/(mg solute. menit))	$R^2$
30 ppm	0,686	0,081	0,999
40 ppm	0,673	0,095	0,998
50 ppm	0,733	0,0995	0,997
55 ppm	0,667	0,124	0,999

Dari hasil nilai  $R^2$  yang ditampilkan pada Tabel 3 dan 4, didapat bahwa model kinetika pseudo orde-2 lebih sesuai dengan data dari pada model kinetika pseudo orde-1. Hal ini terlihat dari nilai  $R^2$  model pseudo orde-2 yang hampir mendekati nilai 1. Karena hal ini maka untuk pembahasan lebih lanjut dilakukan pada model kinetika pseudo orde-2. Nilai  $k_2$  pada model kinetika pseudo orde-2 cenderung naik seperti yang ditampilkan tabel.4 terhadap konsentrasi awal larutan zat warna dikarenakan kenaikan *driving force* proses adsorpsi adalah perbedaan konsentrasi. Mekanisme kinetika adsorpsi dipengaruhi oleh dua jenis difusivitas yaitu, *surface diffusion* dan *intraparticle diffusion*. Pada umumnya *intraparticle diffusion* paling mempengaruhi mekanisme kinetika adsorpsi.

Persamaan *intraparticle diffusion*:

$$q_t = k_i t^{1/2} + C \quad (10)$$





**Gambar 2.** (a) Grafik Pengaruh *Intraparticle Diffusion* dan (b) Grafik *Intraparticle Diffusion* Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Konsentrasi Awal 30 ppm

Gambar 2(a) menunjukkan grafik pengaruh *intraparticle diffusion* pada setiap konsentrasi. Dari Gambar 2(a) diketahui bahwa pada awal proses adsorpsi terdapat kecenderungan kapasitas karbon aktif tiap waktu meningkat secara linear tiap waktu<sup>1/2</sup> untuk semua konsentrasi. Hal ini mengindikasikan bahwa pada awal proses adsorpsi kinetika dipengaruhi oleh adanya *intraparticle diffusion* namun lama kelamaan pengaruh *intraparticle diffusion* sudah tidak signifikan. Gambar 2(b) menunjukkan model difusi yang terjadi pada konsentrasi awal metilen biru 30 ppm. Dari Gambar 2(b) dapat terlihat jelas pengaruh *intraparticle diffusion* yang terjadi. Pengaruh *intraparticle diffusion* terjadi pada saat awal proses hingga 25 menit, selanjutnya *intraparticle diffusion* sudah tidak mempengaruhi proses adsorpsi.

### Kesimpulan

Peningkatan konsentrasi massa serta rasio massa KOH akan meningkatkan nilai luas permukaan dan volume karbon aktif, namun tidak mempengaruhi ukuran diameter pori namun akan membentuk karbon aktif berjenis mesopore. Peningkatan konsentrasi massa serta rasio massa KOH akan menurunkan nilai perolehan rendemen karbon aktif.

Karakteristik karbon aktif terbaik diperoleh pada kondisi konsentrasi massa KOH dalam larutan sebesar 20% dan rasio massa kulit salak : massa KOH adalah 1:4, dengan luas permukaan, volume, ukuran diameter pori dan perolehan rendemen berturut – turut sebesar 1939,033 m<sup>2</sup>/gr, 1,088 cc/gr, 22,446 Å dan 14,5%.

Model isothermal adsorpsi yang paling cocok dengan hasil data percobaan adalah model isothermal adsorpsi Langmuir dengan nilai kapasitas maksimum ( $q_m$ ) 0,674 mg solute/mg karbon aktif dan konstanta Langmuir ( $k_1$ ) 0,401 L/mg solute. Sedangkan Model kinetika adsorpsi yang paling cocok dengan hasil data percobaan adalah model kinetika pseudo orde-2.

### Daftar Notasi

- $C$  = konsentrasi larutan metilen biru tiap saat (ppm)
- $C_o$  = konsentrasi awal larutan metilen biru (ppm)
- $C_e$  = konsentrasi larutan metilen biru saat setimbang (ppm)
- $q_t$  = Konsentrasi adsorbat pada permukaan adsorben pada setiap waktu (mg/g)
- $q_m$  = kapasitas maksimum adsorben (mg/g)
- $q_e$  = kapasitas adsorben saat setimbang (mg/g)
- $n$  = konstanta Freundlich
- $R$  = tetapan gas universal, dengan  $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol.K})$
- $T$  = temperatur (K)
- $t$  = waktu (s)





## Daftar Pustaka

- Abdel-Nasser A and El-Hendawy, (2005), Surface and Adsorptive Properties of Carbons Prepared from Biomass, *Department of Physical Chemistry, National Research Centre*, pp. 287-295.
- Abechi S.E dkk., (2013), Preparation and Characterization of Activated Carbon from Palm Kernel Shell by Chemical Activation, *Department of Chemistry, Ahmadu Belo University*, pp. 54-60.
- Ahmad A.L., Loh M.M. and Aziz J.A., (2006), Preparation and Characterization of Activated Carbon from Oil Palm Wood and its Evaluation on Methylene Blue Adsorption, *Engineering Campus, Universiti Sains Malaysia, Malaysia*, pp. 263-271.
- Al Bahri M. dkk., (2012), Activated Carbon From Grape Seeds Upon Chemical Activation with Phosphoric Acid: Application to the Adsorption of Diuron from Water, *Seccion Departamental de Ingenieria Quimica, Universidad Autonoma de Madrid, Spain*.
- Bagheri Narges and Abedi Jalal, (2009), Preparation of High Surface Area Activated Carbon from Corn by Chemical Activation Using Potassium Hydroxide, *Department of Chemical and Petroleum Engineering, University of Calgary, Canada*, pp. 1-6.
- Bansal Roop Chand and Goyal Meenakshi (2005), *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, pp. 77-122.
- Diaz-Teran J., Nevskaja D.M., Lopez-Peinando A.J. and Jerez A., (2001), Porosity and Adsorption Properties of an Activated Charcoal, *Departemento Quimiza Inorganica, Fac. D Ciencias, Universidad Nacional de Education a Distancia, Spain*, pp 167-175.
- Hendri, Zulfi and Arianingrum, Retno, (2010), Pengembangan Teknologi Pengawetan Kulit Salak untuk Bahan Produk Seni Kerajinan, *Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia*
- Ho Y.S. and McKay G., (1998), Pseudo-Second Order model for Sorption Processes, *Department of Chemical Engineering, the Hongkong University of Science and Technology, People's Republic of China*, pp. 451-465.
- Janick, Jules and Paull, E. Robert, (2008), *The Encyclopedia of Fruit and Nuts*, CAB International, Cambridge, pp.153-156.
- Marsh, Harry and Rodriguez-Reinoso, Francisco, (2006) *Activated Carbon*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 322-31.
- Mesa-Peres J.M dkk, (2004), Unidimensional Heat Transfer Analysis of Elephant Grass and Sugar Cane Bagasse Slow Pyrolysis in a Fixed Bed Reactor, *Distrito de Barao Geraldo-Cidade Universitaria "Zeferino Vaz", Brazil*, pp. 565-575
- Mopoung S., (2008), Surface Image of Charcoal and Activated Charcoal from Banana Peel, *Department of Faculty of Science, Naresuan University, Thailand*, pp. 15-19.
- Rutven, Douglas M., (1984), *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*, John Wiley & Sons, Inc, USA, pp. 1-29.
- Seader, J.D. dkk, (2011), *Separation Process Principles Chemical and Biochemical Operations*, edisi ketiga, John Wiley & Sons, Inc, USA, pp. 568-609.
- Song Chengwen dkk, (2013), Adsorption Studies of Coconut Shell Carbons Prepared by KOH Activation for Removal of Lead(II) from Aqueous Solutions, *School of Environment Science and Engineering, Dalian Maritime University, China*, pp. 86-98.
- Suzuki, Motoyuki, (1990), *Adsorption Engineering*, Kodansha Ltd, Tokyo, pp. 5-22.
- Tabbara M.A. and El Jamal M.M., (2012), a Kinetic Study of the Discoloration of Methylene Blue by Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Comparison with NaOH, *Lebanese University, Lebanon*, pp. 275-282
- Thomas, W.J. and Crittenden, Barry, (1998), *Adsorption Technology & Design*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 8-44.
- Worch, Eckhard, (2012), *Adsorption Technology in Water Treatment*, Walter de Gruyter GmbH & Co, Berlin/Boston, pp.1-12.
- Crini, Gregorio and Badot, Pierre-Marie, (2010), *Sorption Processes and Pollution: Conventional and Non-Conventional Sorbents for Pollutant Removal from Wastewaters*, Presses Universitaires de Franche-Comte, France. Pp.221-227.





## Lembar Tanya Jawab

**Moderator : Rudy Agustriyanto (Universitas Surabaya)**

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

1. Penanya : Rudi Agustriyanto (Universitas Surabaya)  
Pertanyaan : Apa yang membedakan penelitian ini dengan sebelumnya?  
Jawaban : Hanya zat yang mengaktivasi
2. Penanya : Sri Hastutiningrum (AKPRIND, Yogyakarta)  
Pertanyaan : Mengapa konsentrasi yang digunakan hanya mencapai 55 ppm?  
Jawaban : Karena keterbatasan alat hanya mampu membaca hingga konsentrasi 55 ppm.

