

## PENENTUAN KESETIMBANGAN, TERMODINAMIKA DAN KINETIKA ADSORPSI ARANG AKTIF TEMPURUNG KELAPA SAWIT PADA ZAT WARNA *REACTIVE RED* DAN *DIRECT BLUE*

**Rensy Aula Sari<sup>\*1</sup>, M. Lutfi Firdaus<sup>2</sup>, Rina Elvia<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan FKIP UNIB

<sup>\*1</sup>e-mail : rensy.aulasari@gmail.com

### *Abstract*

This purpose of this research was to know the isotherm, kinetics and thermodynamics adsorption of synthetic dye onto activated charcoal from palm oil shell. The synthetic dye were *Reactive Red* and *Direct Blue*. The model of isotherm were Langmuir and Freundlich, kinetics adsorption tested were Pseudo orde-1 and Pseudo orde-2, and also thermodynamics were free energy change ( $\Delta G^\circ$ ), enthalpy change ( $\Delta H^\circ$ ), and entropy change ( $\Delta S^\circ$ ). The dominant isotherm adsorption was isotherm Freundlich, kinetic adsorption Pseudo 2 th order with the value ( $\Delta S^\circ$ ), ( $\Delta G^\circ$ ) and ( $\Delta H^\circ$ ), *Reactive Red* were 0,0028 KJ/mol.K, -3,93 KJ/mol, and -36,12 KJ/mol respectively. Whereas in *direct blue* were 0,0034 KJ/mol.K, -1,67 KJ/mol, and -30,16 KJ/mol respectively.

**Keywords :** *Adsorpsi, activated charcoal, palm oil shell, direct blue, reactive red.*

### *Abstrak*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui isoterm, kinetika dan termodinamika adsorpsi zat warna sintesis oleh arang aktif tempurung kelapa sawit. Zat warna sintesis yang digunakan yaitu *Reactive Red* dan *Direct Blue*, Jenis isoterm yang diuji yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich, kinetika adsorpsi yang diuji pseudo orde-1 dan pseudo orde-2 serta termodinamika yaitu energi bebas Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) dan entropi ( $\Delta S^\circ$ ). Pada penelitian ini Isoterm adsorpsi yang dominan adalah isoterm Freundlich, kinetika adsorpsi pseudo orde-2 dengan nilai ( $\Delta S^\circ$ ), ( $\Delta G^\circ$ ) dan ( $\Delta H^\circ$ ) pada *Reactive Red* berturut-turut adalah 0,0028 KJ/mol.K, -3,93 KJ/mol, dan -36,12 KJ/mol, sedangkan pada *Direct Blue* berturut-turut adalah 0,0034 KJ/mol.K, -1,67 KJ/mol, dan -30,16 KJ/mol.

**Kata kunci :** *Adsorpsi, arang aktif, tempurung kelapa sawit, direct blue, reactive red.*

## PENDAHULUAN

Batik besurek merupakan ciri khas dari kota Bengkulu. Dewasa ini, proses pewarnaan pada industri batik besurek zat warna alami telah digantikan dengan zat warna sintesis. Penggunaan zat warna sintesis ini menghasilkan limbah zat warna sintesis yang bersifat non-biodegradabel, karsinogenik dan dalam jangka panjangnya dapat mengakibatkan kerusakan hati, ginjal, anemia serta kelainan sel lainnya [1]. *Direct dye* dan *Reactive dye* tergolong pewarna sintetik yang memiliki struktur cincin benzena enam sampai sepuluh sehingga sangat stabil dan sulit untuk di-degradasi secara biologi [2].

Berbagai metode telah dikembangkan dalam penanganan limbah zat warna di antaranya ozonisasi, oksidasi, koagulasi, dan adsorpsi [3], dimana salah satu cara pengolahan limbah yang tidak memerlukan biaya tinggi serta mudah untuk dilakukan adalah adsorpsi dengan menggunakan berbagai macam adsorben seperti kitosan, zeolit, silica gel, bentonit dan arang aktif [4], salah satunya adalah arang aktif dari tempurung kelapa sawit (AATKS) [5].

Pada suatu proses adsorpsi akan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain berat adsorben, pH larutan, suhu, waktu kontak, dan ukuran molekul adsorben [6], karena itu perlu untuk diteliti lebih terperinci.

Tujuan penelitian ini ialah untuk menentukan mekanisme, besarnya kecepatan dan spontanitas reaksi adsorpsi yang terjadi ditentukan melalui pengukuran terhadap isoterm, kinetika dan termodinamika reaksi adsorpsi [7].

## METODE PENELITIAN

Sampel tempurung kelapa sawit dicuci terlebih dahulu sampai bersih kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama 4-8 hari sampai sampel kering. Proses karbonisasi dilakukan dengan cara memasukkan sampel limbah tempurung kelapa sawit ke dalam cawan porselen sesuai dengan kebutuhan penelitian, dipanaskan di dalam *furnace*, kemudian diatur suhunya maksimal 500 °C, selama 3 jam dan dilakukan satu kali pembalikan arang supaya arang yang dihasilkan merata [8]. Pada proses aktivasi dilakukan dengan cara diayak arang dari hasil pembakaran menggunakan ayakan 100 mesh,

kemudian direndam selama 24 jam dengan larutan  $\text{CaCl}_2$  25% sebagai bahan aktivasi. Kemudian disaring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 30 menit sehingga didapatkan arang aktif tempurung kelapa sawit (AATKS) [9].

Arang yang diperoleh kemudian dilakukan proses aktivasi yang bertujuan untuk meningkatkan daya serap dari arang tempurung kelapa sawit karena dapat memperbesar pori-pori adsorben yang dilakukan secara kimia menggunakan larutan  $\text{CaCl}_2$  25%, dengan cara merendam arang tempurung kelapa sawit yang telah dihaluskan ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  25% selama 24 jam, kemudian disaring dengan kertas saring dan dikeringkan di dalam oven pada  $110^\circ\text{C}$  selama 30 menit. [10].

Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum AATKS ditentukan melalui kesetimbangan reaksi atau isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi ditentukan dengan cara membuat variasi konsentrasi. Pada penelitian ini variasi konsentrasi yang digunakan adalah 25, 50, 75, 100, 125, 150, 250, 500, dan 1000 ppm yang diperlakukan pada pH optimum dan waktu kontak optimum. Memipet masing-masing 10 mL larutan *Reactive Red* dan *Direct Blue* dengan variasi konsentrasi yaitu 25, 50, 75, 100, 125, 150, 250, 500, dan 1000 ppm yang telah diatur pada pH asam lalu ditambahkan arang aktif 150 mg dan diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm pada waktu kontak optimum. Kemudian disaring dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis. Untuk menentukan pola adsorpsi larutan zat warna *Reactive Red* dan *Direct Blue* pada permukaan AATKS digunakan dua model isoterm adsorpsi

Untuk menentukan termodinamika proses adsorpsi dilakukan dengan cara memipet masing masing 10 mL larutan zat warna *Reactive Red* dan *Direct blue*. 100 ppm, larutan diatur pada pH asam. Ditambahkan arang aktif 150 mg dan diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm dengan waktu kontak optimum dan masing masing larutan dilakukan dengan variasi suhu  $30^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$  dan  $50^\circ\text{C}$ . Kemudian disaring dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV - Vis.

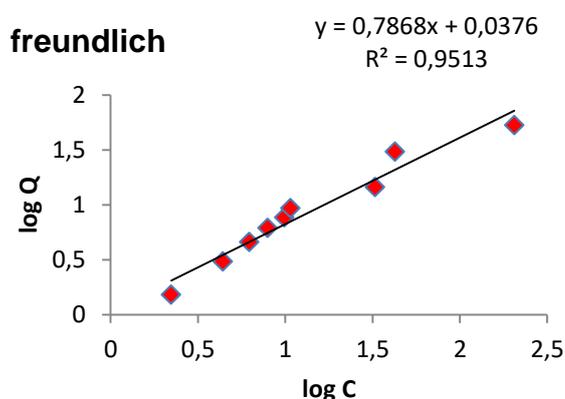
Kinetika adsorpsi menunjukkan tingkat kecepatan penyerapan adsorben terhadap adsorbatnya. Pada penentuan model kinetika adsorpsi terhadap zat warna oleh AATKS, dilakukan dengan pengukuran 2 konsentrasi larutan *Reactive Red* dan *Direct Blue* (50 ppm dan 100 ppm) setiap selang waktu kontak yaitu 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 menit dan 24 jam hingga dicapai kesetimbangan pada suhu kamar. Dalam kinetika adsorpsi terdapat dua model kinetika yang digunakan yaitu model pseudo orde-1 dan pseudo orde-2. Memipet masing-masing 10 mL larutan 50 ppm dan 100 ppm dari zat warna, diatur pada pH asam dan dimasukkan ke dalam botol *vial*, ditambahkan 40 mg arang aktif dan diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm

pada masing masing waktu kontak tersebut. Kemudian disaring dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-vis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

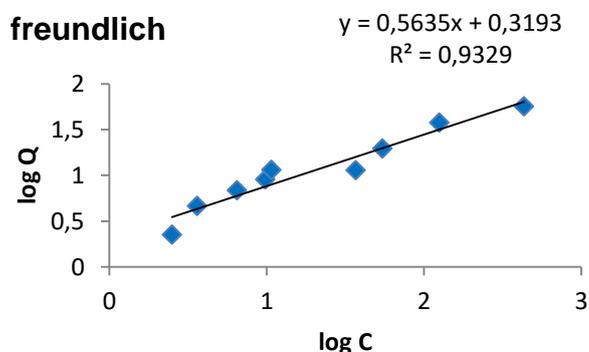
Pada proses pembuatan arang aktif dalam penelitian ini sampel tempurung kelapa sawit yang telah dikeringkan dilakukan proses karbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 3 jam .

Hasil penentuan terhadap isoterm adsorpsi menghasilkan kurva adsorpsi berupa isoterm Freundlich untuk adsorben AATKS dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Isoterm Freundlich larutan zat warna *Reactive Red* menggunakan AATKS

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) penyerapan zat warna *Reactive Red* oleh AATKS sebesar 0,951, yang memperlihatkan bahwa adsorpsi zat warna *Reactive red* cenderung mengikuti persamaan isoterm Freundlich, yang berarti adsorpsi berlangsung secara fisisorpsi *multilayer* [11].



Gambar 2. Isoterm Freundlich larutan zat warna *Direct Blue* menggunakan AATKS

Pada Gambar 2 dapat dilihat penyerapan AATKS terhadap *Direct Blue* diperoleh dapat dilihat nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) penyerapan zat warna *Direct Blue* oleh AATKS, adalah sebesar 0,932, yang memperlihatkan bahwa adsorpsi zat warna *Direct Blue* cenderung mengikuti persamaan isoterm Freundlich, yang berarti adsorpsi berlangsung secara fisisorpsi *multilayer*. Dari Gambar 1 dan 2 dapat disimpulkan bahwa isoterm adsorpsi untuk kedua zat warna tersebut pada penelitian ini adalah isoterm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi larutan zat warna *Reactive Red* 53,2 mg/g dan larutan zat warna *Direct Blue* 56,7 mg/g.

Dari persamaan garis linear yang didapat melalui pembuatan grafik isoterm Freundlich dapat digunakan untuk menentukan parameter Freundlich,  $K_F$ ,  $n$  dan  $Q_{max}$  (mg/g) arang aktif masing-masing zat warna yang terlihat pada Tabel 1, sesuai dengan persamaan Freundlich :

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

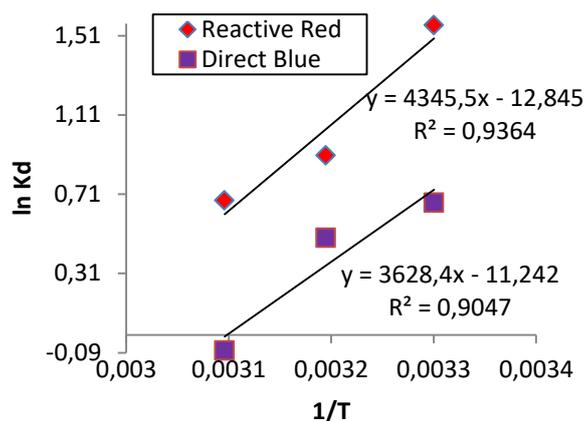
Tabel 1. Parameter Model Isoterm Freundlich pada Penyerapan Zat Warna

Arang Aktif	Parameter Freundlich	Zat Warna	
		<i>Reac.Red</i>	<i>Dir.Blue</i>
AATKS	$K_F$	1,09	2,08
	$q_{max}$ (Perc.)	53,2	56,7
	$n$	1,27	1,78
	$R^2$	0,951	0,932
	$q_e$ (Persem.)	6,63	7,64

Keterangan:  $K_F$  = parameter Freundlich,  $q_e$  = kapasitas adsorpsi (mg/g),  $q_{max}$  = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g),  $n$  = Konstanta Empiris dan  $R^2$  = koefisien determinasi

Nilai  $K_F$  menunjukkan kapasitas adsorpsi suatu adsorben. Hal ini menandakan bahwa proses adsorpsi yang terjadi adalah secara fisisorpsi *multilayer*. Pendekatan *Freundlich* mengasumsikan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen, adsorpsi membentuk banyak lapisan. Hal ini memungkinkan adsorbat leluasa bergerak hingga berlangsung proses adsorpsi yang terjadi pada banyak lapisan adsorpsi yang berlangsung secara fisik (fisisorpsi) [11].

Hasil pengukuran dan perhitungan termodinamika adsorpsi, dibuat grafik hubungan  $1/T$  terhadap  $\ln K_d$  pada larutan zat warna *Reactive Red* dan *Direct Blue* oleh AATKS seperti terlihat pada Gambar 3. Berdasarkan gambar 3 akan diperoleh parameter termodinamika adsorpsi yaitu nilai entalpi ( $\Delta H^\circ$ ), entropi ( $\Delta S^\circ$ ) dan energi bebas Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ).



Gambar 3 Kurva Hubungan  $\ln K_d$  dan  $1/T$  untuk zat warna *Reactive Red* dan *Direct Blue* oleh AATKS

Nilai parameter termodinamika seperti yang terlihat pada Tabel 2 dan 3 dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d$$

$$\ln K_d = \left( -\frac{\Delta H^\circ}{R} \right) \frac{1}{T} + \frac{\Delta S^\circ}{R}$$

$$\Delta S^\circ = \frac{q_{rev}}{T}$$

Tabel 2. Data Hasil Termodinamika *Reactive Red* oleh AATKS

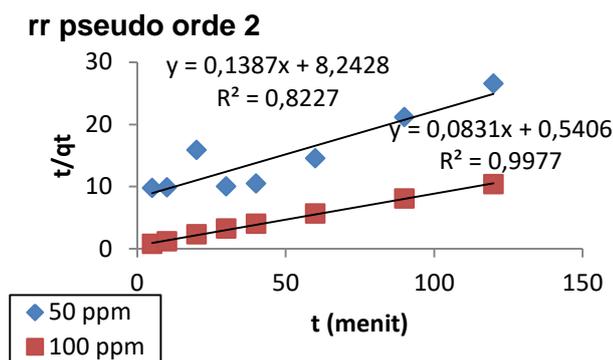
Temperatur (K)	Parameter Termodinamika		
	$\Delta G^\circ$ (Kj/mol)	$\Delta H^\circ$ (Kj/mol)	$\Delta S^\circ$ (Kj/mol.K)
303	-3,93		
313	-2,35	-36,12	0,0028
323	-1,82		

Tabel 3. Data Hasil Termodinamika *Direct Blue* oleh AATKS

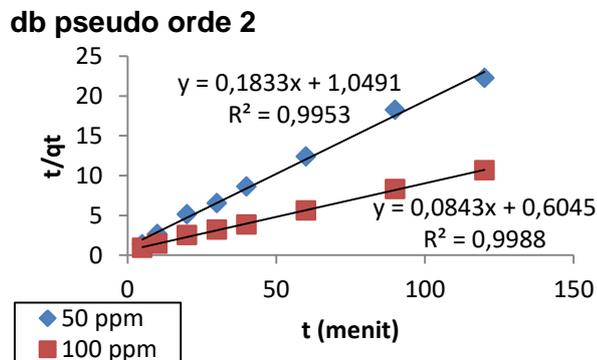
Temperatur (K)	Parameter Termodinamika		
	$\Delta G^\circ$ (Kj/mol)	$\Delta H^\circ$ (Kj/mol)	$\Delta S^\circ$ (Kj/mol.K)
303	-1,68		
313	-1,27	-30,16	0,0034
323	0,22		

Berdasarkan parameter termodinamika adsorpsi untuk zat warna *Reactive Red* didapatkan besarnya  $\Delta G^\circ$  = bernilai negatif,  $\Delta H^\circ$  = -36,12 KJ/mol dan  $\Delta S^\circ$  = 0,0028 KJ/mol.K. Sedangkan pada zat warna *Direct Blue* untuk  $\Delta G^\circ$  = bernilai negatif,  $\Delta H^\circ$  = -30,16 KJ/mol dan  $\Delta S^\circ$  = 0,0034 KJ/mol.K. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi kedua zat warna berlangsung secara spontan pada reaksi eksoterm dengan gangguan terhadap sistem adalah kecil.[12]

Kurva reaksi adsorpsi pseudo orde-2 untuk kedua zat warna yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva kinetika adsorpsi pseudo orde-2 dari *Reactive Red*



Gambar 5. Kurva kinetika adsorpsi pseudo orde-2 dari *Direct Blue*

Berdasarkan Gambar 4 zat warna *Reactive Red* pada pseudo orde-2 dilihat dari nilai koefisien determinasinya ( $R^2$ ) = 0,822 pada konsentrasi 50 ppm dan  $R^2$  = 0,997 pada konsentrasi 100 ppm, dan untuk zat warna *Direct Blue*  $R^2$  berturut-turut adalah 0,995 (50 ppm) dan 0,998 (100 ppm).

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa untuk zat warna *Reactive Red* dan *Direct Blue* kinetika adsorpsi keduanya mengikuti orde dua, yang mengasumsikan bahwa kapasitas menyerap proporsional terhadap jumlah permukaan karbon aktif dan juga tergantung dari kemampuan masing-masing arang aktif dalam mengadsorpsi zat warna [13].

Penentuan kinetika adsorpsi orde 2 didapat dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_t} t$$

Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini :

Tabel 4. Parameter larutan zat warna *Reactive Red* dan *Direct Blue* pada orde 2

C Awal	$q_e$		$K_2$	
	RR	DB	RR	DB
50 ppm	7,25	5,46	0,0023	0,0320
100 ppm	12,05	11,90	0,0127	0,0117

Keterangan :  $q_e$  : kapasitas adsorpsi (mg/g),  
 $K_2$  : konstanta laju,

Berdasarkan Tabel 4 kapasitas adsorpsi yang di-peroleh lebih besar pada konsentrasi 100 ppm yaitu 12,05 mg/g untuk *Reactive Red* dan 11,90 mg/g untuk *Direct Blue* diandingkan pada konsentrasi 50 ppm. Hal ini karena semakin besar konsentrasi larutan zat warna maka kapasitas adsorpsi akan semakin besar karena zat warna akan lebih banyak terserap. Jadi dapat disimpulkan bahwa model kinetika adsorpsi AATKS pada larutan zat warna *Reactive Red* dan *Direct Blue* mengikuti model kinetika adsorpsi Pseudo Orde 2

## KESIMPULAN

Adsorpsi larutan zat warna *Direct Blue* dan *Reactive Red* oleh AATKS mengikuti isoterm Freundlich dan model kinetika adsorpsi Pseudo Orde-2 serta nilai ( $\Delta G^\circ$ ), ( $\Delta H^\circ$ ) dan ( $\Delta S^\circ$ ) pada *Reactive Red* berturut – turut adalah -3,93 KJ/mol, -36,12 KJ/mol dan 0,0028 KJ/mol.K sedangkan pada *Direct Blue* berturut – turut adalah -1,67 KJ/mol, -30,16 KJ/mol dan 0,0034KJ/mol.K.

## SARAN

Untuk mendapatkan data hasil adsorpsi AATKS terhadap zat warna sintesis yang lebih bermanfaat maka perlu penambahan jumlah perlakuan dan tingkat pengulangan terhadap masing masing variabel yang diukur dan juga pada zat warna sintesis lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manurung, R., Hasibuan, R., dan Irvan. 2004. Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob–Aerob. Skripsi : Respository Universitas Sumatera Utara.

- [2] Firdaus, M.L., Krisnanto, N., Alwi, W., Muhammad, R., dan Serunting, M.A. 2017. Adsorption of Textile Dye by Activated Carbon Made from Rice Straw and Palm Oil Midrib. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 7(1): 1-7.
- [3] Muna, N. 2014. *Adsorpsi Zat Warna Malachite Green (MG) Oleh Komposit Kitosan-Bentonit*. SKRIPSI: Respository Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- [4] Panda, R.D. 2012. Modifikasi Bentonit Terpillar Al Dengan Kitosan Untuk Adsorpsi Ion Logam Berat. SKRIPSI: Respository Universitas Indonesia.
- [5] Pambayun, G.S., Remigius, Y.E., Yulianto, Rachimoellah, M., Putri, E.M.M. 2013. Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator  $ZnCl_2$  dan  $Na_2CO_3$  Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah. SKRIPSI: Respository Institut Teknologi Sepuluh November.
- [6] Wiyarsi dan Erfan. 2009. Pengaruh Konsentrasi Kitosan Dari Cangkang Udang Terhadap Efisiensi Penjerapan Logam. SKRIPSI: Respository Universitas Sebelas Maret.
- [7] Achmad, A., Kassim, J., Suan, T.K., Amat, R.C., dan Seey, T.L. 2012. Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies on the Adsorption of Direct Dye onto a Novel Green Adsorbent Deve-loped from *Uncaria Gambir* Extract. *Journal of Physical Science*. 23(1): 1-13.
- [8] Kurniarti, E. 2008. Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. *Jurnal teknik kimia UNP*. 8(2): 1-8.
- [9] Jamilatun, S dan Setyawan. 2014. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasi-sinya untuk Penjernihan Asap Cair. *Jurnal Spektrum Industri Teknik Kimia UAD Yogyakarta*. 12(1): 1-6.
- [10] Fitri, M. 2013. Pembuatan Arang Aktif Dari Pelepah Sawit Menggunakan Aktivator NaOH dan  $ZnCl_2$ . SKRIPSI: Respository Universitas Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [11] Atkins, P.W. 1999. *Kimia Fisika Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [12] Lyubchik, S. 2000. *Comparison Of The Thermodynamic Parameters Estimation For The Adsorption Process Of The Metals From Liquid Phase On Activated Carbon*. Portugal: Intech, ISBN: 978-953-307-563-1.
- [13] Firdaus, M.L. Alwi, W, Trinoveldi, T, Rahayu, I, Rahmidar, L, Warsito, K . 2014. Determination of Chromium and Iron Using Digital Image-based Colorimetry. *Procedia Environmental Sciences*, 20:304.

Penulisan Sitasi Artikel ini ialah :

Sari, R.A, Firdaus, M.L, Elvia, R, 2017, Penentuan Kesetimbangan, Termodinamika dan Kinetika Adsorpsi Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit Pada zat Warna *Ractive Red* dan *Direct Blue*, *Alotrop*, 1(1):10-14.