

## KINETIKA DAN TERMODINAMIKA ADSORPSI VERTIGO BLUE 49 DENGAN ABSORBEN KARBON AKTIF ARANG BATU BARA

Kusmiyati<sup>1</sup>, Robi Indra Setyawan<sup>2</sup>, Denny Vitasari<sup>3</sup>, Ahmad M Fuadi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl A Yani Tromol Pos 1 Pabelan Surakarta 57102

E-mail: denny.vitasari@gmail.com

### Abstrak

Adsorpsi atau penyerapan dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair, misalnya limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan dan pencelupan pada industri tekstil. Untuk menentukan efisiensi adsorpsi dibutuhkan model kinetika dan kesetimbangan adsorpsi. Untuk penelitian ini digunakan zat warna Vertigo Blue 49 yang dapat mewakili limbah tekstil, mengingat zat warna ini cukup sering digunakan di industri tekstil dan menggunakan karbon aktif dari arang batubara (KAAB) sebagai adsorben. Proses adsorpsi dilakukan secara batch dengan variasi waktu, konsentrasi, dan pH. Konsentrasi zat warna dianalisis menggunakan Spektrofotometer (UV/VIS Spektro Citra 6). Adsorpsi zat warna Vertigo Blue 49 dengan KAAB sebagai adsorben diketahui bahwa kesetimbangan terjadi pada menit ke-45 dan model isotherm adsorpsi Freundlich yang sesuai baik pada pH 4, pH 7, dan pH 9 dibandingkan isotherm adsorpsi Langmuir. Jumlah konsentarsi zat warna yang terjerap paling optimum terjadi pada keadaan asam dengan konsentrasi zat warna ( $C_0$ ) 25 mg/L yaitu 56,41 %. Kinetika model pseudo-second-order rate sesuai untuk proses adsorpsi pada pH 4 dan pH 9, sedangkan model pseudo-first-order rate lebih sesuai untuk proses adsorpsi pada pH 7. Harga konstanta adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi zat warna ( $C_0$ ). Semakin tinggi konsentrasi zat warna ( $C_0$ ) maka harga konstanta adsorpsi akan semakin kecil dan konsentrasi solut yang teradsorpsi ( $Q$ ) semakin besar. Keadaan asam (pH 4) dengan konsentrasi zat warna ( $C_0$ ) 25 mg/L didapatkan harga konstanta adsorpsi ( $k_2$ ) paling besar yaitu 1,4840. Sedangkan harga konstanta adsorpsi ( $k_1$ ) paling kecil yaitu 0,0419 pada keadaan basa (pH 9) dengan konsentrasi zat warna ( $C_0$ ) 100 mg/L.

**Kata kunci:** Adsorpsi, KAAB; Vertigo Blue 49; Kinetika Adsorpsi

### Pendahuluan

Limbah cair industri tekstil adalah semua buangan cair yang berasal dari hasil kegiatan proses produksi tekstil yang mengandung zat kimia, zat pewarna, zat-zat pembantu yang tidak digunakan lagi. Limbah cair pada industri tekstil ini pada umumnya bersifat basa, dengan kandungan zat organik tinggi, berbau dan berwarna (Sulistiyoweni, 1994). Selama ini cara yang dilakukan untuk mengolah limbah tekstil tersebut memerlukan biaya mahal. Oleh karena itu perlu alternatif yang lebih murah tetapi juga efisien. Langkah untuk mengatasi itu salah satunya dengan proses penyerapan (adsorpsi). Penggunaan adsorben yang murah dan ramah lingkungan perlu dilakukan agar biaya proses adsorpsi dapat ditekan. Adsorben dari bahan alam yang ramah lingkungan atau material hasil limbah industri merupakan bahan yang potensial untuk digunakan. Adapun syarat sebagai adsorben memiliki *surface area* yang luas, volume internal yang besar, yang ditunjukkan dengan porositas. Kekuatan mekanis yang baik serta ketahanan terhadap abrasi merupakan sifat yang penting, mengingat adsorben akan mengalami proses regenerasi berulang-ulang pada saat digunakan. Agar dapat memisahkan bahan dengan baik, maka adsorben harus memiliki kemampuan transfer massa yang baik (Yang, 2003).

Arang batubara (*bottom ash*) mempunyai syarat tersebut dan memiliki gugus karbon sehingga dapat dijadikan karbon aktif. Arang batubara tidak memiliki nilai ekonomis, dengan pemanfaatan sebagai adsorben akan mempunyai keuntungan ekonomi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh dari parameter proses seperti konsentrasi zat warna, pH awal cairan limbah, serta waktu proses terhadap proses adsorpsi zat warna, menentukan persamaan kinetika dan kesetimbangan adsorpsi zat warna dari limbah cair industri tekstil dengan menggunakan adsorben berupa karbon aktif arang batubara (KAAB).

Proses adsorpsi terjadi di mana adanya pemisahan suatu komponen tertentu dari suatu fluida (cairan atau gas) berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Adsorpsi sudah sejak dulu sering digunakan dalam penghilangan zat warna. Adsorpsi merupakan salah satu proses yang digunakan dalam pengolahan limbah cair (Gupta et al., 2008).

Isotherm adsorpsi adalah hubungan kesetimbangan antara konsentrasi dalam fase fluida dan konsentrasi di dalam partikel adsorben pada suhu tertentu. Model isotherm adsorpsi Langmuir dan Freundlich umum digunakan pada adsorpsi cairan dengan konsentrasi rendah.

Model Langmuir dibuat berdasarkan asumsi bahwa *binding sites* terdistribusi secara homogen di seluruh permukaan adsorben, di mana adsorpsi terjadi pada satu lapisan (*single layer*).

$$Q_e = \frac{bQ_0C_e}{1 + bC_e} \tag{1}$$

di mana  $Q_0$  (mmol/kg) dan  $b$  (L/mmol) adalah konstanta yang berkaitan dengan kapasitas adsorpsi dan kecepatan adsorpsi,  $Q_e$  adalah jumlah zat teradsorpsi tiap unit massa adsorben (mmol/kg) pada kesetimbangan;  $C_e$  (mM) konsentrasi kesetimbangan zat teradsorpsi di fase cair (Langmuir, 1918).

Isoterm Freundlich sering digunakan dalam adsorpsi pada zat cair. Asumsi dari isoterm ini didasarkan bahwa ada permukaan heterogen dengan beberapa tipe pusat adsorpsi yang aktif.

$$Q_e = KC_e^{1/n} \tag{2}$$

$K$  dan  $1/n$  adalah konstanta Freudlich berkaitan dengan kapasitas dan afinitas adsorpsi.

Kesetimbangan atau termodinamika hanya memberikan data mengenai keadaan akhir suatu proses. Untuk mengetahui perubahan adsorpsi terhadap waktu maka perlu dipelajari kinetika adsorpsi. Model yang cukup sederhana untuk menggambarkan kinetika adsorpsi adalah model *pseudo-first-order rate* dan model *pseudo-second-order rate* (Azizian, 2004).

Model *pseudo-first-order rate*

$$\frac{dQ}{dt} = k_1(Q_e - Q) \tag{3}$$

di mana  $Q$  dan  $Q_e$  adalah jumlah zat teradsorpsi tiap unit massa adsorben (mmol/kg) pada saat  $t$  dan pada kesetimbangan,  $k_1$  adalah konstanta kecepatan adsorpsi orde 1.

Model *pseudo-second-order rate*

$$\frac{dQ}{dt} = k_2(Q_e - Q)^2 \tag{4}$$

di mana  $k_2$  adalah konstanta kecepatan adsorpsi orde 2.

Karbon aktif adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran bahan yang mengandung karbon. Karbon aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan gas  $CO_2$ , uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya adsorpsinya menjadi lebih tinggi terhadap zat warna dan bau.

Bahan kimia pewarna yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Vertigo Blue 49* mempunyai berat molekul 882,186 g/mol dan rumus molekul  $C_{32}H_{23}ClN_7Na_3O_{11}S_3$ . *Vertigo Blue 49* mempunyai struktur kluster anion. Sifat pewarna dapat dilihat dari ikatan azo (N=N) dan gugus fungsional grup:  $-SO_3$ ,  $-COO-$ , dan  $OH-$  (Dincer A. R., et al, 2006).

Arang batubara (*bottom ash*) adalah material buangan yang berasal dari sisa pembakaran batubara untuk pembangkit listrik. Arang batubara bisa diperoleh di PLTU maupun industri yang berada di Jawa Tengah. Ketersediaan bahan baku arang batubara cukup melimpah dan merupakan material lokal yang murah. Arang batubara merupakan material tidak bernilai ekonomis, sehingga pemanfaatan sebagai adsorben mempunyai keuntungan ekonomi. Arang batubara telah digunakan sebagai zat tambahan pada campuran bangunan beton untuk konstruksi jalan dan jembatan (Gupta et al., 1998).

Komposisi arang batubara (*bottom ash*) hasil analisis (Gupta V. K., et al, 2004), sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis Komposisi Arang Batubara (*bottom ash*).

Kimia		Fisika	
Komposisi	%berat	Parameter	
SiO <sub>2</sub>	37,43	Surface area	870,5 cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,35	Porosity	46%
CaO	12,36	Density	0,6301 gml <sup>-1</sup>
FeO	4,78	Loss on ignition	1,14%
PbO	0,34		

### Metode Penelitian

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah eksperimental dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia UMS. Karbon aktif dari arang batubara (KAAB) sebelum digunakan terlebih dahulu diaktifasi. KAAB diayak dengan ukuran 60 mesh dengan *Sieve Shaker* (AG-515 MBT), kemudian ditambah  $H_2O_2$  pekat sampai terendam aduk dan diamkan selama 60 menit. Kemudian dicuci dengan aquades dan dikeringkan dalam Oven (WTB binder). KAAB dibakar dalam Furnace (*Thermolyne* 48000) dengan suhu  $500\text{ }^\circ\text{C}$  selama 15 menit setelah itu dimasukkan ke Desikator.

Percobaan dilakukan secara proses *batch*. Dalam penelitian ini digunakan limbah sintesis yang dibuat dengan cara melarutkan zat warna *Vertigo Blue 49* ke dalam air terdeionisasi. Zat warna *Vertigo Blue 49* sebanyak 1 gram dimasukkan dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan aquades sampai tanda batas dan dikocok sampai homogen. Setelah homogen diambil larutan sebanyak 12,5 mL; 25 mL; 37,5 mL; dan 50 mL. Kemudian masing-masing dilarutkan dengan aquades sampai 500 mL agar konsentrasinya menjadi 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, dan 100 mg/L.

Proses adsorpsi mula-mula disiapkan larutan zat warna pada berbagai konsentrasi 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, dan 100 mg/L dengan volume masing-masing 400 mL dan ditambahkan 10 g KAAB yang sudah diaktifkan. Campuran kemudian diaduk menggunakan Stirrer pada kecepatan 700 rpm. Sampel diambil pada selang interval 5, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit. Sampel disaring dengan kertas saring (*Whatman 42*) dan dimasukkan ke dalam *Cuvette* (*Plastibrand*) kemudian diukur konsentrasinya menggunakan Spektrofotometer (*UV/VIS Spektro Citra 6*). Selain dilakukan variasi konsentrasi zat warna, juga dilakukan variasi pH pada pH 4, 7, dan 9 dengan penambahan HCl atau NaOH.

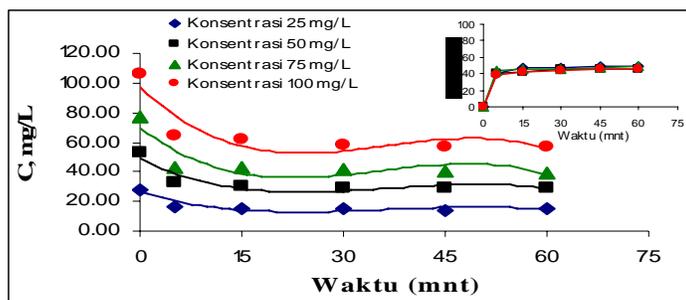
Konsentrasi zat warna diukur dengan menggunakan Spektrofotometer (*UV/VIS Spektro Citra 6*). Larutan *Vertigo Blue 49* dimasukkan ke *Cuvette* (*Plastibrand*) untuk diukur panjang gelombangnya dengan Spektrofotometer (*UV/VIS Spektro Citra 6*) pada absorbansi tertinggi. Sehingga didapat panjang gelombang untuk *Vertigo Blue 49* sebesar 596,90 nm. Konsentrasi zat warna dapat terbaca dengan adanya kurva kalibrasi yang dibuat dengan menggunakan konsentrasi larutan *Vertigo Blue 49* yaitu 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, dan 100 mg/L dan menggunakan panjang gelombang 596,90 nm.

Analisis hasil dalam penelitian ini menggunakan Spektrofotometer (*UV/VIS Spektro Citra 6*). Setelah melakukan analisis dengan Spektrofotometer, akan didapatkan nilai konsentrasi zat warna. Model isoterm adsorpsi dapat diketahui dengan pendekatan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich, sedangkan kinetika adsorpsi diketahui dengan pendekatan model *pseudo-first-order rate* dan *pseudo-second-order rate*.

### Hasil dan Pembahasan

Penelitian adsorpsi ini menggunakan limbah sintesis berupa *Vertigo Blue 49* dan KAAB (Karbon Aktif Arang Batubara) sebagai adsorben dilakukan dengan berbagai variasi diantaranya variasi konsentrasi (25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L), variasi pH (4, 7, 9), dan variasi waktu (5, 15, 30, 45, dan 60 menit) yang digunakan untuk mengetahui saat terjadinya kesetimbangan.

#### Penurunan Konsentrasi Zat Warna Adsorpsi Pada pH 4

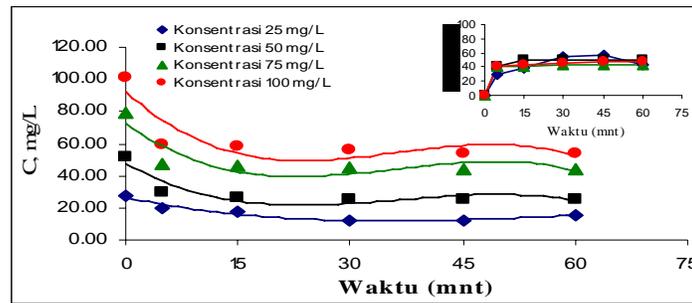


Gambar 1. Grafik Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi (C).

Gambar 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi yang cukup besar sampai menit ke-15. Adanya penurunan konsentrasi zat warna pada proses adsorpsi membuktikan bahwa KAAB dapat digunakan untuk menyerap zat warna *Vertigo Blue 49*. Konsentrasi zat warna setelah adsorpsi (C) dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya waktu konsentrasi zat warna akan semakin berkurang. Pada konsentrasi awal ( $C_0$ ) 28,2725 mg/L dapat diadsorpsi maksimal pada menit ke-45 dimana konsentrasinya menjadi 14,4724 mg/L. Sedangkan pada menit ke-60 KAAB sudah tidak bisa lagi menyerap zat warna (jenuh). Kesetimbangan juga dapat diketahui yaitu pada waktu menit ke-45 dimana tidak ada lagi perubahan konsentrasi dengan grafik yang telah stabil. Jumlah konsentarsi zat warna yang

terjerap yaitu 48,81% (konsentrasi 25 mg/L); 46,33% (konsentrasi 50 mg/L); 47,50% (konsentrasi 75 mg/L); dan 46,08% (konsentrasi 100 mg/L).

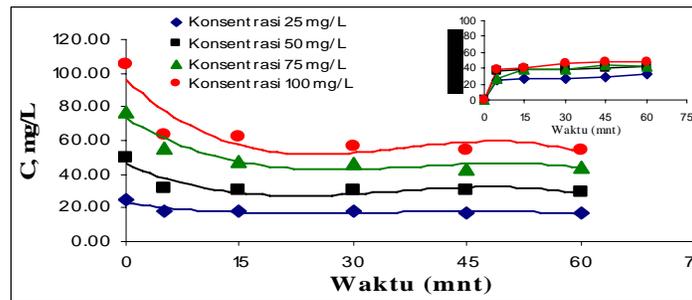
**Adsorpsi Pada pH 7**



Gambar 2. Grafik Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi (C).

Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi yang cukup besar sampai menit ke-15. Konsentrasi zat warna setelah adsorpsi (C) dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya waktu konsentrasi zat warna akan semakin berkurang. Pada konsentrasi awal (C<sub>0</sub>) 27,7482 mg/L dapat diadsorpsi maksimal pada menit ke-45 dimana konsentrasinya menjadi 12,0947 mg/L. Sedangkan pada menit ke-60 KAAB sudah tidak bisa lagi menyerap zat warna (jenuh). Kesetimbangan juga dapat diketahui yaitu pada waktu menit ke-45 dimana tidak ada lagi perubahan konsentrasi dengan grafik yang telah stabil. Jumlah konsentarsi zat warna yang terjerap yaitu 56,41% (konsentrasi 25 mg/L); 50,91% (konsentrasi 50 mg/L); 44,30% (konsentrasi 75 mg/L); dan 47,26% (konsentrasi 100 mg/L).

**Adsorpsi Pada pH 9**



Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi (C).

Gambar 3 menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi yang cukup besar sampai menit ke-15. Konsentrasi zat warna setelah adsorpsi (C) dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya waktu konsentrasi zat warna akan semakin berkurang. Pada konsentrasi awal (C<sub>0</sub>) 24,4417 mg/L dapat diadsorpsi maksimal pada menit ke-60 dimana konsentrasinya menjadi 16,5964 mg/L. Kesetimbangan juga dapat diketahui yaitu pada waktu menit ke-45 dimana tidak ada lagi perubahan konsentrasi dengan grafik yang telah stabil. Jumlah konsentarsi zat warna yang terjerap yaitu 29,21% (konsentrasi 25 mg/L); 39,77% (konsentrasi 50 mg/L); 43,97% (konsentrasi 75 mg/L); dan 48,34% (konsentrasi 100 mg/L).

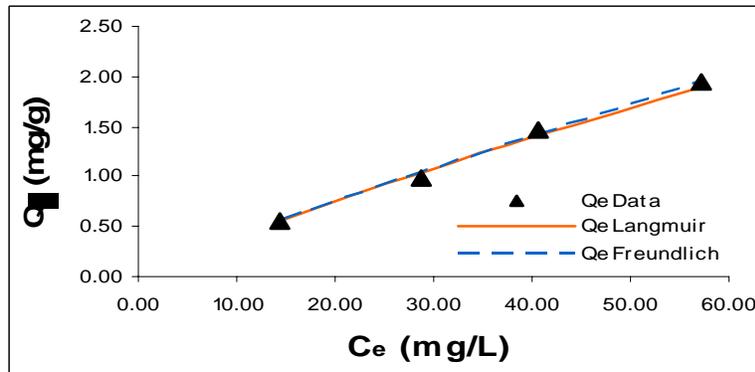
Isoterm Adsorpsi

**Isoterm Adsorpsi Pada pH 4**

Tabel 2. Perbandingan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi (C<sub>e</sub>) dengan Konsentrasi Solut yang Teradsorpsi (Q<sub>e</sub> data dan Q<sub>e</sub> hitung (Langmuir dan Freundlich)).

C <sub>e</sub> , mg/L	Q <sub>e</sub> data	Q <sub>e</sub> hitung		Error (Q <sub>e</sub> data-hitung) <sup>2</sup>	
		Langmuir	Freundlich	Langmuir	Freundlich
14,4724	0,5520	0,5480	0,5451	1,56E-01	4,82E-02
28,6648	0,9897	10,391	10,302	0,002449	0,001644
40,5532	14,674	14,193	14,232	0,002314	0,001955
57,0316	19,499	19,049	19,553	0,002027	0,000029
Total				0,006806	0,003676

Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi zat warna maka konsentrasi solut yang teradsorpsi juga akan semakin tinggi. Nilai error antara  $Q_e$  data dengan  $Q_e$  hitung dengan pendekatan isoterm Langmuir sebesar 0,006806 sedangkan dengan pendekatan isoterm Freundlich sebesar 0,003676. Isoterm adsorpsi yang sesuai untuk percobaan ini dengan error lebih kecil yaitu isoterm adsorpsi Freundlich.



Gambar 4. Grafik Hubungan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi ( $C_e$ ) dengan Konsentrasi Solut Yang Teradsorpsi ( $Q_e$  data dan  $Q_e$  hitung (Langmuir dan Freundlich)).

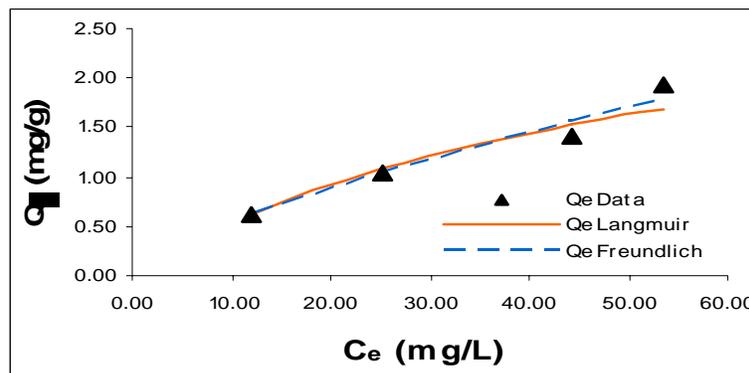
Gambar 4 menunjukkan bahwa  $Q_e$  Freundlich lebih mendekati  $Q_e$  data dari pada  $Q_e$  Langmuir ini menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi Freundlich yang sesuai untuk data penelitian ini.

Isoterm Adsorpsi Pada pH 7

Tabel 3. Perbandingan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi ( $C_e$ ) dengan Konsentrasi Solut yang Teradsorpsi ( $Q_e$  data dan  $Q_e$  hitung (Langmuir dan Freundlich)).

$C_e$ , mg/L	$Q_e$ data	$Q_e$ hitung		Error ( $Q_e$ data-hitung) <sup>2</sup>	
		Langmuir	Freundlich	Langmuir	Freundlich
12,0947	0,6261	0,6209	0,6199	0,000027	0,000039
25,1756	1,0444	1,0783	1,0399	0,001149	0,000019
44,2195	1,4067	1,5257	1,5477	0,014159	0,019873
53,6593	1,9231	1,6886	1,7741	0,054998	0,022209
Total				0,070333	0,042140

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai error antara  $Q_e$  data dengan  $Q_e$  hitung dengan pendekatan isoterm Langmuir sebesar 0,070333 sedangkan dengan pendekatan isoterm Freundlich sebesar 0,0472140. Isoterm adsorpsi yang sesuai untuk percobaan ini dengan error lebih kecil yaitu isoterm adsorpsi Freundlich.



Gambar 5. Grafik Hubungan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi ( $C_e$ ) dengan Konsentrasi Solut yang Teradsorpsi ( $Q_e$  data dan  $Q_e$  hitung (Langmuir dan Freundlich)).

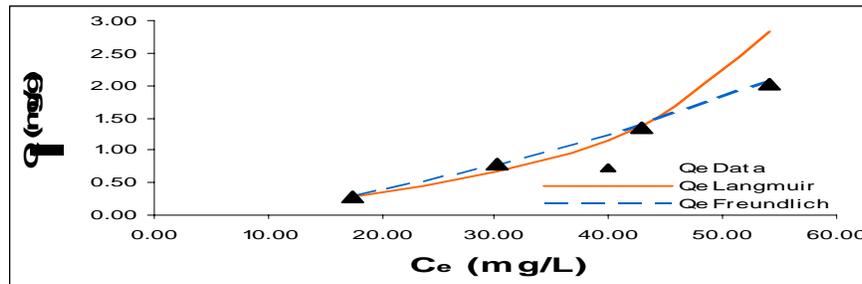
Gambar 5 menunjukkan bahwa  $Q_e$  Freundlich lebih mendekati  $Q_e$  data dari pada  $Q_e$  Langmuir ini menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi Freundlich yang sesuai untuk penelitian ini. Hubungan antara konsentrasi zat warna dengan konsentrasi solut yang teradsorpsi dapat terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi zat warna maka akan semakin tinggi juga konsentrasi solut pada adsorben.

**Isoterm Adsorpsi Pada pH 9**

Tabel 4. Perbandingan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi ( $C_e$ ) dengan Konsentrasi Solut yang Teradsorpsi ( $Q_e$  data dan  $Q_e$  hitung (Langmuir dan Freundlich)).

$C_e$ , mg/L	$Q_e$ data	$Q_e$ hitung		Error ( $Q_e$ data-hitung) <sup>2</sup>	
		Langmuir	Freundlich	Langmuir	Freundlich
17,3019	0,2856	0,2932	0,2928	0,000057	0,000051
30,0471	0,7936	0,6646	0,7502	0,016626	0,001884
42,8953	1,3463	1,3710	1,3764	0,000607	0,000901
54,1453	2,0268	2,8351	2,0473	0,653226	0,000418
Total				0,670516	0,003254

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai error antara  $Q_e$  data dengan  $Q_e$  hitung dengan pendekatan isoterm Langmuir sebesar 0,670516 sedangkan dengan pendekatan isoterm Freundlich sebesar 0,003254. Isoterm adsorpsi yang sesuai untuk percobaan ini dengan error lebih kecil yaitu isoterm adsorpsi Freundlich.



Gambar 6. Grafik Hubungan Konsentrasi Zat Warna Setelah Adsorpsi ( $C_e$ ) dengan Konsentrasi Solut yang Teradsorpsi ( $Q_e$  data dan  $Q_e$  hitung (Langmuir dan Freundlich)).

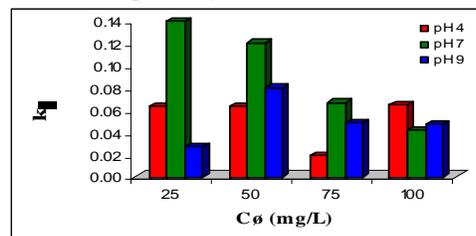
Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi zat warna maka akan semakin tinggi juga konsentrasi solut pada adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan zat warna oleh KAAB (Karbon Aktif Arang Batubara) dapat lebih optimal pada konsentrasi tinggi. Nilai  $Q_e$  Freundlich lebih mendekati  $Q_e$  data dari pada  $Q_e$  Langmuir ini menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi Freundlich yang sesuai untuk penelitian ini, mengingat bahwa isoterm ini digunakan untuk adsorpsi zat cair dan berasumsi bahwa luas permukaan daerah aktif pada adsorben berbeda-beda. Adapun terjadinya error tersebut karena proses adsorpsi kurang berjalan maksimal, seperti pengaruh waktu proses adsorpsi maupun dalam analisis dengan Spektrofotometer (UV/VIS Spektro Citra 6).

**Kinetika Adsorpsi**

Tabel 5. Data Konstanta Kecepatan Adsorpsi ( $k$ ) Pada Variasi Konsentrasi Zat Warna ( $C_0$ ).

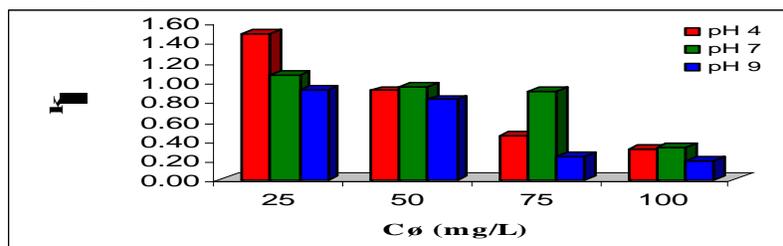
Konsentrasi awal ( $C_0$ ) (mg/L)	$k_1$			$k_2$		
	pH 4	pH 7	pH 9	pH 4	pH 7	pH 9
25	0,0636	0,1398	0,0272	1,4840	1,0636	0,9081
50	0,0633	0,1202	0,0801	0,9079	0,9386	0,8177
75	0,0191	0,0666	0,0484	0,4481	0,9008	0,2389
100	0,0647	0,0419	0,0474	0,3113	0,3219	0,1933

Tabel 5 menunjukkan bahwa harga konstanta kecepatan adsorpsi model *pseudo-second-order rate* ( $k_2$ ) akan semakin kecil dengan semakin tingginya konsentrasi zat warna, sehingga lebih sesuai digunakan dalam penelitian ini dibandingkan dengan menggunakan model *pseudo-first-order rate*.



Gambar 7. Hubungan Konsentrasi Zat Warna ( $C_0$ ) dengan Konstanta Kecepatan Adsorpsi ( $k_1$ ).

Gambar 7 menunjukkan bahwa hubungan konsentrasi zat warna ( $C_0$ ) dengan konstanta kecepatan adsorpsi ( $k_1$ ) pada model *pseudo-first-order rate* (orde 1). Harga kesalahan relatif ( $R^2$ ) sebesar 0,0415 (pada pH 4); 0,9791 (pada pH 7); dan 0,0241 (pada pH 9).



Gambar 8. Hubungan Konsentrasi Zat Warna ( $C_0$ ) dengan Konstanta Kecepatan Adsorpsi ( $k_2$ ).

Pada model *pseudo-second-order rate* (orde 2) harga konstanta kecepatan adsorpsi ( $k_2$ ) dipengaruhi oleh konsentrasi zat warna ( $C_0$ ). Semakin tinggi konsentrasi zat warna ( $C_0$ ) maka harga konstanta adsorpsi ( $k_2$ ) akan semakin kecil. Harga kesalahan relatif ( $R^2$ ) sebesar 0,9228 (pada pH 4); 0,7558 (pada pH 7); dan 0,8727 (pada pH 9). Sehingga untuk keadaan asam (pH 4) dan basa (pH 9) model *pseudo-second-order rate* lebih sesuai, sedangkan untuk keadaan netral (pH 7) model *pseudo-first-order rate* yang lebih sesuai pada penelitian ini.

### Kesimpulan

- Semakin tinggi konsentrasi zat warna ( $C$ ) maka akan semakin tinggi juga konsentrasi solut pada adsorben ( $Q$ ) dan pada penelitian ini kesetimbangan terjadi pada menit ke-45.
- Isoterm adsorpsi Freundlich merupakan model isoterm adsorpsi yang sesuai untuk percobaan yang telah dilakukan yaitu "Adsorpsi Zat Warna *Vertigo Blue 49* Dengan Menggunakan KAAB" karena mempunyai nilai error yang paling kecil dan biasanya dipakai untuk adsorpsi zat cair.
- Kinetika model *pseudo-second-order rate* (orde 2) lebih sesuai untuk proses adsorpsi pada keadaan asam (pH 4) dan Basa (pH 9), sedangkan model *pseudo-first-order rate* (orde 1) sesuai untuk proses adsorpsi pada keadaan netral (pH 7).
- Harga konstanta adsorpsi ( $k_2$ ) dipengaruhi oleh konsentrasi zat warna ( $C_0$ ). Semakin tinggi konsentrasi zat warna ( $C_0$ ) maka harga konstanta adsorpsi ( $k_2$ ) akan semakin kecil.
- Proses adsorpsi dipengaruhi oleh pH, pada keadaan asam menyebabkan sifat permukaan adsorben sebagai penukar kation sedangkan pada keadaan basa menyebabkan sifat permukaan adsorben sebagai penukar anion.
- Karbon Aktif Arang Batubara (KAAB) dapat digunakan sebagai adsorben pengolahan limbah cair.

### Daftar Pustaka

- Behin, J. an Azizian, S. (2004), *Kinetic models of sorption: a theoretical analysis*, Journal of Colloid and Interface Science, 276(1): 47-52.
- Carrott, P.J.M., Ribeiro Carrott, M.M.L., Roberts, R.A.,1991. Physical Adsorption of Gases by Microporous Carbons. *Colloids Surf.* 58,385-400.
- Chatterjee, D., B. Ruj, A. Mahata, 2001, " *Adsorption and Photocatalysis of Colour Removal From Wastewater Using Flyash and Sunlight*", *Catalysis Communication*, 2, 113-117.
- Cimino, G., Passerini, A., and Toscano, T., 2000, " *Removal of Toxic Cations and Cr (VI) From Aqueous Solution by Hazelnut Shell*", *Wat. Res.*, 34, 2955-2962.
- Do, D.D., 1998, " *Adsorption Analysis Equilibria and Kinetics*", Imperial College Press, Queensland.
- Gupta V.K., D. mohan, S. Sharma, M. Sharma,2000, " *Removal of Basic Dyes (Rhodamineb and Methylene Blue) from Aqueous Solutions Using Bagase Fly Ash*", *Sep. Science Technology*, 35, 2097-2113.
- Ismningsih, dkk, 1982, " *Pengantar Kimia Zat Warna*", ITB, Bandung.
- Malik, P. K. (2003), *Use of Activated Carbons Prepared From Sawdust and Rice-Husk for Adsorption of Acid Dyes: A Case Study of Acid Yellow 36, Dye Pigments*, 56: 239-249.
- Mc. Cabe, W. Smith,J., Harriot,P. 1993. " *Unit Operation of Chemical Engineering*", 5<sup>th</sup> ed, Mc Graw-Hill, inc. New York.

Sugiharto, 1987, "*Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*", UI Press, Jakarta.

Sulistyoweni, 1994, "*Penanganan Limbah Industri Tekstil Di DKI Jakarta*", Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan, Lembaga Penelitian UI, Jakarta.

Tchobanoglous, G. and F. L. Burton (1991), *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, Mc Graw-Hill Book Co, Singapore.

Yang, R. T. 2003, "*Adsorbents: fundamentals and Applications*", John Wiley & Sons, Inc. 86-88.

Yin, Y., H. E. Allen, C. P. Huang and P. F. Sanders (1997), *Adsorption/Desorption Isoterm of Hg(II) by Soil*, Soil Science, 162: 35-45.