

## STUDI PEMANFAATAN LIMBAH *BOTTOM ASH* SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA PADA INDUSTRI TEKSTIL (STUDI KASUS PT. TCI KABUPATEN BANDUNG)

NUR REZKY ARIFATUNNISA<sup>1</sup>, PRISMITA NURSETYOWATI<sup>1</sup>, DYAH MARGANINGRUM<sup>2</sup>

1. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Jakarta

2. Pusat Penelitian Geoteknologi – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bandung

Email : [rezky7444@gmail.com](mailto:rezky7444@gmail.com)

### ABSTRAK

*PT. TCI merupakan industri tekstil yang mengolah benang hingga menjadi kain. Limbah yang dihasilkan dari Industri tekstil berupa bottom ash dan limbah cair dapat bersifat mutagenik dan karsinogenik apabila dibiarkan terlalu lama di lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kapasitas adsorpsi bottom ash yang telah disintesis untuk mengadsorpsi zat warna yang terkandung dalam limbah cair industri tekstil PT. TCI. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode adsorpsi. Aktivasi bottom ash dilakukan dengan pemanasan pada suhu 50°C dan 100°C selama 1 jam. Dalam penelitian ini dilakukan variasi terhadap pH (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) dan waktu kontak (15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 menit) dengan limbah zat warna sebanyak 150 mL. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sintesis bottom ash dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan kadar zat warna pada limbah cair dengan pH dan waktu kontak optimum pada pembakaran 50°C dan 100°C masing-masing pH 5 pada menit ke 90 dan pH 6 pada menit ke 180. Proses adsorpsi ini mengikuti jenis isotherm Freundlich dengan presentase adsorpsi optimum 31,804%.*

**Kata Kunci** : Adsorpsi, bottom ash, industri tekstil, zat warna.

### ABSTRACT

*PT. TCI is a textile industry that processes yarn into fabrics. The waste produced from the textile industry such as bottom ash and dyes wastewater can be mutagenic and carcinogenic if its too long in the environment. This study aims to determine the characterization and adsorption capacity of activated bottom ash to adsorb the liquid waste from PT. TCI. The method of this study is adsorption. The bottom ash activation was done by hydrothermal method at 50°C and 100°C for 1 hour respectively. In the adsorption process, variation of pH (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) and contact time (15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 minutes) was done with 150 mL of dyes wastewater. The result of this study showed that synthesized bottom ash can be used as an adsorbent to reduce the dyes on the wastewater. The optimum pH and contact time at the combustion of 50°C and 100°C were pH 5 at 90 minutes and pH 6 at 180 minutes respectively. The adsorption followed the Freundlich isotherm process type with the optimum adsorption percentage of 31,804%.*

**Keywords** : Adsorption, bottom ash, dyes wastewater, textile industry.

## 1. PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkembang cukup pesat di Indonesia karena merupakan salah satu industri prioritas nasional yang masih prospektif untuk dikembangkan hingga menjadikan industri tekstil sebagai salah satu industri manufaktur terbesar di Indonesia, salah satunya PT. Tata Cakra Investama (PT.TCI) yang berlokasi di Cicalengka, Kabupaten Bandung. PT. TCI merupakan salah satu jenis industri tekstil polyester yang memproduksi mulai dari persiapan benang hingga menghasilkan kain. Proses produksi yang dilakukan untuk menghasilkan sebuah produk tentu memiliki efek samping yaitu banyaknya limbah sisa pembakaran batubara.

Produksi tekstil dimulai dari pemintalan serat sampai menjadi kain (tekstil) dengan melewati beberapa tahap proses yang tentu saja akan menghasilkan limbah baik limbah cair, limbah gas, maupun limbah padat. Limbah cair dihasilkan dari proses *dyeing* (pewarnaan), *washing* (pencucian), *sizing* (pengkajian), *printing* (pencetakan), dan *finishing* (pengeringan). Sementara limbah padat dihasilkan dari proses pembakaran batubara yang digunakan sebagai bahan bakar dengan komposisi C, H, O, N, S, dan abu yang tidak ramah terhadap lingkungan. Pembakaran batubara ini menghasilkan limbah padat berupa *fly ash* sekitar 80-90% *bottom ash* 10-20% (Herfina, 2017).

Studi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar zat warna pada limbah cair yang dapat diadsorpsi oleh *bottom ash* yang dihasilkan dari PT TCI. Beberapa penelitian telah dilakukan terhadap pemanfaatan *bottom ash* sebagai adsorben. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Khan (2009) uji adsorpsi untuk menghilangkan *methylene blue*, *malachite green* dan *rhodamin B* dilakukan dengan memvariasikan pH yaitu 3, 5, 7, dan 9. Triawan (2017) melakukan uji adsorpsi untuk menghilangkan *methylene blue* dengan memvariasikan waktu kontak yaitu 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150 menit, sedangkan Sutrisno (2014) juga melakukan penelitian untuk mengadsorpsi Rhodamin B dengan memvariasikan waktu kontak yaitu 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit. Aktivasi *bottom ash* sebagai adsorben dilakukan pada suhu 100°C selama 1 jam (Murniati, 2009).

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Prosedur Penelitian

1. Kurva standar larutan  
Penentuan kurva standar dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 nm.
2. Persiapan abu batubara  
Sampel *bottom ash* ditimbang 100gr dan diaktivasi menggunakan oven pada suhu 50°C dan 100°C selama 1 jam.
3. Persiapan limbah cair  
Limbah cair zat warna disaring menggunakan kertas saring terlebih dahulu untuk mengurangi kadar kekeruhan yang terdapat pada limbah.
4. Penentuan pH optimum  
Dilakukan variasi terhadap pH yaitu 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 kemudian diukur adsorbansinya menggunakan spektrofotometer
5. Penentuan waktu kontak optimum  
Dilakukan variasi terhadap waktu kontak yaitu 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit yang kemudian diukur adsorbansinya dengan spektrofotometer.
6. Penentuan kapasitas adsorpsi akan dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Zhao *et al.*, 2013)

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) V}{m}$$

Menurut Dong *et al.*, (2010) penentuan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan persamaan isotherm Langmuir, yaitu :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}} \dots \dots \dots (1)$$

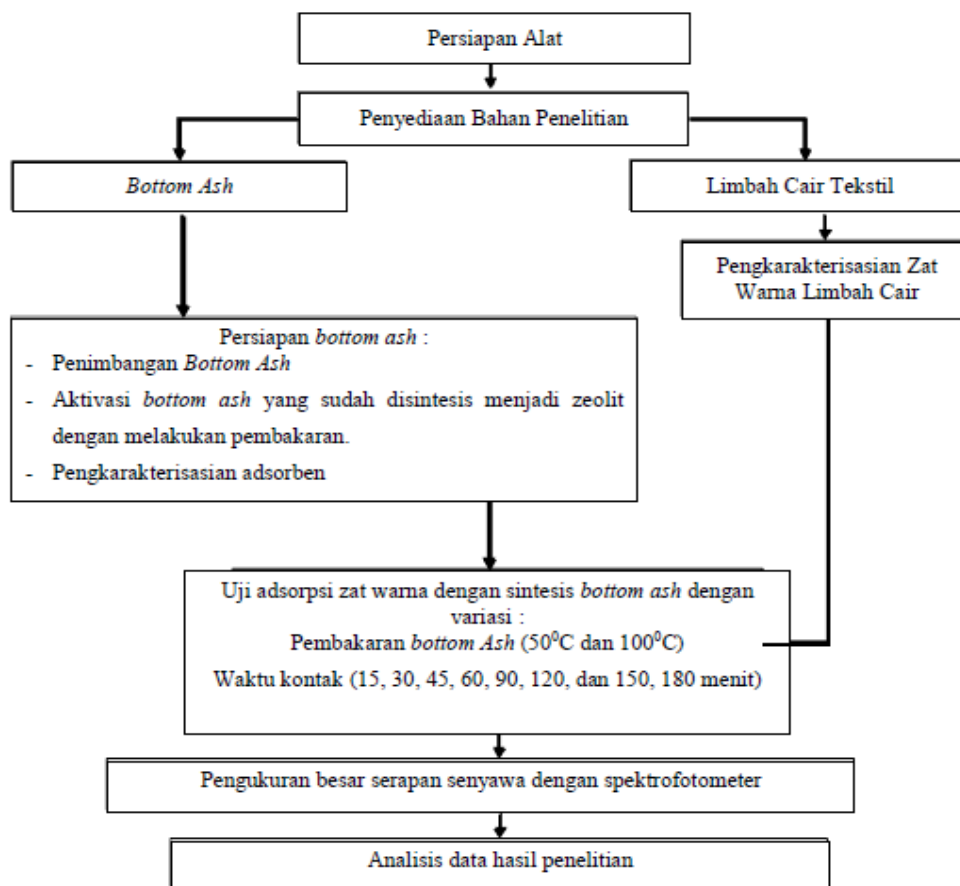
Sedangkan persamaan isotherm Freundlich yaitu :

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} C_e \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- m : massa adsorben yang digunakan (gram)
- V : volume larutan (Liter)
- $q_e$  : jumlah molekul zat warna yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)
- $q_{max}$  : kapasitas maksimal adsorpsi (mg/g)
- $K_L$  : Konstanta Langmuir (L/g)
- $K_f$  : Konstanta empiric isotherm Freundlich (L/mg)

## 2.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir

## 3. PEMBAHASAN

### 3.1. Karakteristik Bottom Ash

Pengkarakterisasian *bottom ash* dilakukan dengan menggunakan uji XRF untuk mengetahui komposisi logam berat dan kadarnya (%). Menurut Jayaranjan (2014) *coal bottom ash*

memiliki kandungan silikat, karbon, alum allum, serta beberaoo kandungan logam berat dan metalloid namun dengan komposisi pada setiap *bottom ash* akan berbeda bergantung pada sumber, ukuran jenis batubara, dan jenis pembakarannya. Hasil karakterisasi XRF ini didapatkan dengan cara studi literatur terhadap beberapa penelitian yang menggunakan *bottom ash* sebagai adsorben seperti penelitian yang dilakukan Wardani (2012) dan Benzaoui (2017) untuk menurunkan kandungan ion logam, Yunita (2017) melakukan penelitian terkait pengkarakterisasian *fly ash* dan *bottom ash*, Kusmiyati (2016) menghilangkan warna *vertigo blue* dan Bertolini (2013) menghilangkan warna *crystal violet*, Tarigan (2017) menghilangkan kandungan fosfat selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut

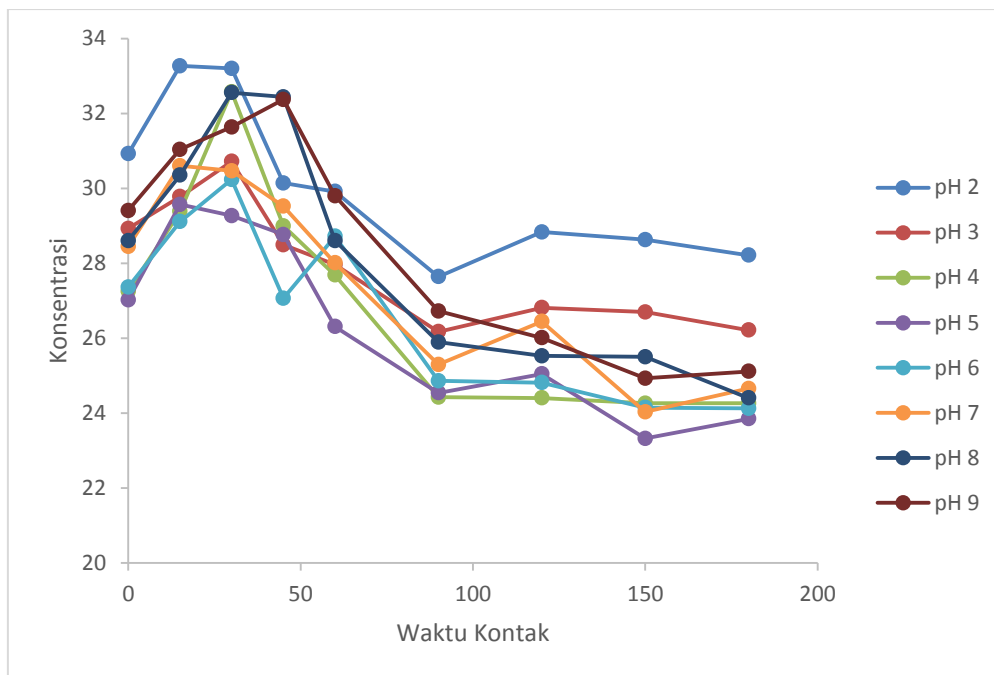
**Tabel 1. Komposisi *Bottom Ash* Sebelum dan Setelah Aktivasi**

Unsur	Wardani, 2012		Benzaoui, 2017	Yunita, 2017	Kusmiyati, 2016	Tarigan, 2019	Yildirim, 2017	Bertolini, 2013
	Sebelum	Setelah						
Al	3,4	1	1,703	4,51	24,64		15,4	38
Si	7,46	4,2	0,527	33,67	45,8		47,5	33
S	0,63		0,053				5,10	0,24
K	0,65	0	0,440	1,30	2,05		2,05	0,7
Ca	56,7	57,1	7,873	8,61	4,036		8,33	2,7
Ti	1,0	1,4	4,038	1,62	6,16	6,058		2,0
V	0,05	0,08						
Cr	0,075	0,14			0,03			
Mn	0,28	0,35			0,12	1,035		
Fe	22,1	30,2		46,51	16,6	55,314	11,6	13
Ni	0,18	0,29						
Cu	0,082	0,17			0,2			
Sr	0,58	1,0						
Mo	4,0							
In	1,9	1,6						
Ba	0,4	0,79						
Yb	0,06							
Re	0,35							
C			53,161					
O			31,06					
Na			0,176				1,79	8,0
Mg			0,498				8,08	1,4
P			0,498				0,221	
Cl			0,032					
Br								0,05
U								
Zr						2,291		0,04
Y								
Zn						22,192		0,02
Sb						13,110		

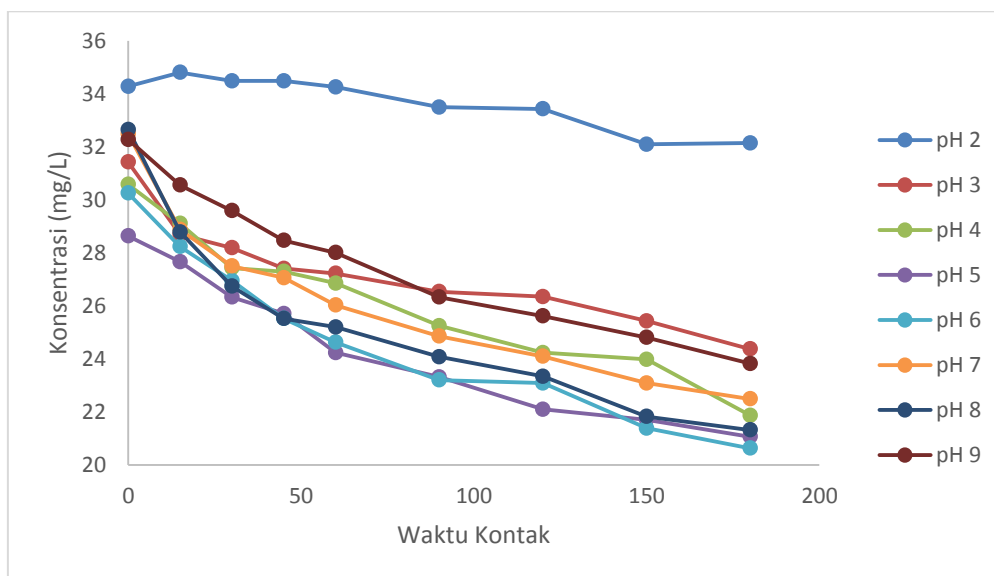
### 3.2. Penentuan pH Optimum

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu hal yang berpengaruh terhadap banyaknya konsentrasi serapan yang dilakukan oleh adsorben terhadap adsorbat. Penentuan pH optimum dilakukan dengan memvariasikan pH yaitu 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Pada pembakaran 50<sup>0</sup>C dalam waktu 180 menit adsorpsi optimum terjadi pada pH 5 dengan kadar zat warna dalam limbah cair dari 27,019 mg/L turun menjadi 23,849 mg/L, sedangkan pada pembakaran 100<sup>0</sup>C dalam waktu 180 menit adsorpsi optimum terjadi pada pH 6 dengan

kadar zat warna dalam limbah cair sebesar 30,257 mg/L turun menjadi 20,634 mg/L. Hasil serapan dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3 berikut.



Gambar 2. Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi Adsorpsi pembakaran 50°C

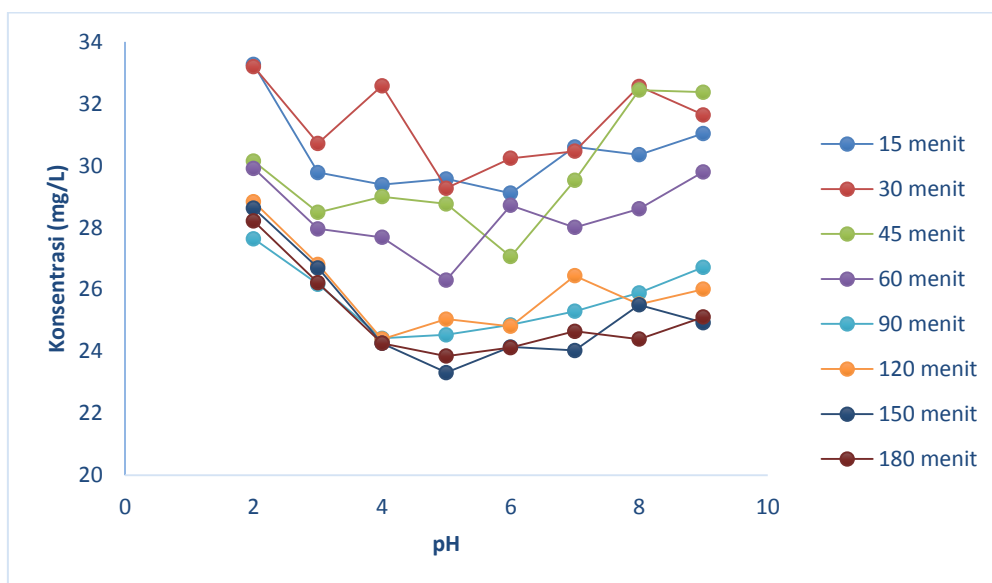


Gambar 3. Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi Adsorpsi pembakaran 100°C

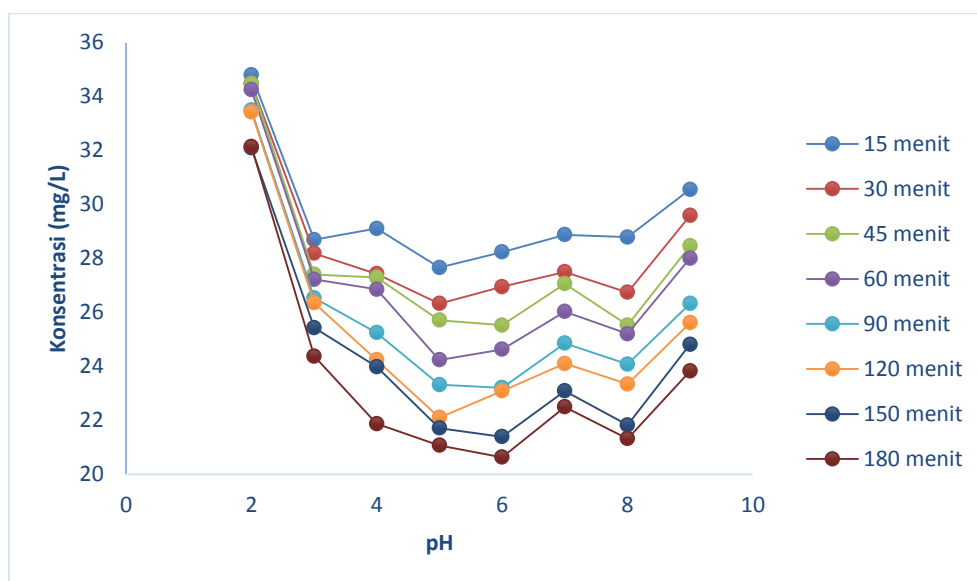
### 3.3. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak merupakan salah satu yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi untuk mengetahui kapasitas zat warna yang terserap dalam kurun waktu tertentu dengan massa adsorben yang tetap (Malviya dkk, 2019). Variasi waktu kontak yang terjadi adalah 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. pH optimum yaitu pH 5 didapatkan waktu kontak optimum pada pembakaran 50°C terjadi pada waktu kontak 90 menit dengan konsentrasi awal 27,019 mg/L turun menjadi 24,539mg/L dengan persentase adsorpsi sebesar 9,179%.

Sedangkan pada pembakaran 100°C waktu kontak optimum terjadi pada waktu kontak 180 menit dengan konsentrasi awal 30,257 mg/L turun menjadi 20,634 mg/L dengan persentase adsorpsi sebesar 31,804%. Nilai serapan dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5 berikut.



**Gambar 4. Pengaruh Waktu Konntak Terhadap Konsentrasi Adsorpsi Pembakran 500C**



**Gambar 5. Pengaruh Waktu Konntak Terhadap Konsentrasi Adsorpsi Pembakran 1000C**

### 3.4. Uji Statistik Pengaruh pH dan Waktu Kontak

Untuk mengetahui pengaruh pH dan waktu kontak terhadap konsentrasi serapan maka dibuat uji statistik regresi linier berganda dengan Hipotesis sebagai berikut:

- $H_0$  : Tidak terdapat pengaruh pH ( $X_1$ ) terhadap Konsentrasi (Y)
- $H_1$  : Terdapat pengaruh pH ( $X_1$ ) terhadap Konsentrasi (Y)
- $H_0'$  : Tidak terdapat pengaruh pH ( $X_2$ ) terhadap Konsentrasi (Y)
- $H_1'$  : Terdapat pengaruh Waktu Kontak ( $X_2$ ) terhadap Konsentrasi (Y)
- $H_0''$  : Tidak terdapat pengaruh pH ( $X_1$ ) dan waktu kontak ( $X_2$ ) terhadap Konsentrasi (Y)
- $H_1''$  : Terdapat pengaruh pH ( $X_1$ ) dan Waktu Kontak ( $X_2$ ) terhadap Konsentrasi (Y)

Tingkat kepercayaan 95%,  $\alpha = 5\%$

Dengan dasar pengambilan keputusan berdasarkan:

a. Uji t

- Jika nilai signifikan  $< 0,05$ , atau t hitung  $> t$  tabel maka terdapat pengaruh variabel X terhadap variabel Y
- Jika nilai signifikan  $> 0,05$ , atau t hitung  $< t$  tabel maka tidak terdapat pengaruh variabel X terhadap variabel Y

$$\begin{aligned} \text{Rumus : } t \text{ tabel} &= t (\alpha/2 ; n - k - 1) = t (0,025 ; 72-2-1) \\ &= t (0,025 ; 69) = 1,994 \end{aligned}$$

b. Uji F

- Jika nilai signifikan  $< 0,05$ , atau F hitung  $> F$  tabel maka terdapat pengaruh variabel X secara simultan terhadap variabel Y.
- Jika nilai signifikan  $> 0,05$ , atau F hitung  $< F$  tabel maka tidak terdapat pengaruh variabel X secara simultan terhadap variabel Y.

$$\begin{aligned} \text{Rumus : } F \text{ tabel} &= F (k ; n - k) = F (2 ; 72 - 2) \\ &= F (2 ; 70) = 3,13 \end{aligned}$$

Berikut disajikan data Koefisien dan Anova untuk pembakaran  $50^{\circ}\text{C}$  pada masing-masing tabel 2 dan tabel 3.

Berdasarkan tabel 1 dan 2 diatas maka dapat diambil keputusan sebagai berikut :

- Nilai sig. untuk pengaruh  $X_1$  terhadap Y sebesar  $0,318 > 0,05$  dan nilai t hitung  $< t$  tabel  $1,994$ . Artinya tidak terdapat pengaruh yang signifikan pH ( $X_1$ ) terhadap Y
- Nilai sig. untuk pengaruh  $X_2$  terhadap Y sebesar  $0,000 < 0,05$  dan nilai t hitung  $< t$  tabel  $1,994$ . Artinya terdapat pengaruh waktu kontak ( $X_2$ ) terhadap Y
- Nilai signifikan pengaruh  $X_1$  dan  $X_2$  secara simultan terhadap Y sebesar  $0,000 < 0,05$  dan nilai F hitung  $> F$  tabel  $3,13$ . Artinya terdapat pengaruh  $X_1$  dan  $X_2$  secara bersama-sama terhadap Y.

Berikut disajikan data Koefisien dan Anova untuk pembakaran  $100^{\circ}\text{C}$  pada masing-masing tabel 4 dan tabel 5.

Berdasarkan tabel 1 dan 2 diatas maka dapat diambil keputusan sebagai berikut :

- Nilai sig. untuk pengaruh  $X_1$  terhadap Y sebesar  $0,000 > 0,05$  dan nilai t hitung  $< t$  tabel  $1,994$ . Artinya terdapat pengaruh pH ( $X_1$ ) terhadap Y.
- Nilai sig. untuk pengaruh  $X_2$  terhadap Y sebesar  $0,000 < 0,05$  dan nilai t hitung  $< t$  tabel  $1,994$ . Artinya terdapat pengaruh waktu kontak ( $X_2$ ) terhadap Y.
- Nilai signifikan pengaruh  $X_1$  dan  $X_2$  secara simultan terhadap Y sebesar  $0,000 < 0,05$  dan nilai F hitung  $> F$  tabel  $3,13$ . Artinya terdapat pengaruh  $X_1$  dan  $X_2$  secara bersama-sama terhadap Y.

**Tabel 2. Koefisien Pembakaran 500C**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	30.834	.615		50.103	.000
	pH ( $X_1$ )	-.093	.092	-.081	-1.005	.318
	Waktu Kontak ( $X_2$ )	-.033	.004	-.737	-9.129	.000
a. Dependent Variable: Konsentrasi						

**Tabel 3. Anova Pembakaran 500C**

Model		<i>Sum of Squares</i>	df	<i>Mean Square</i>	F	Sig.
1	<i>Regression</i>	272.048	2	136.024	42.175	.000 <sup>b</sup>
	<i>Residual</i>	222.541	69	3.225		
	Total	494.589	71			
a. <i>Dependent Variable:</i> Konsentrasi (Y)						
b. <i>Predictors:</i> (Constant), Waktu Kontak (X2), pH (X1)						

**Tabel 4. Koefisien Pembakaran 1000C**

Model		<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	33.414	.905		36.917	.000
	pH (X1)	-.603	.136	-.367	-4.439	.000
	Waktu Kontak (X2)	-.040	.005	-.627	-7.580	.000
a. <i>Dependent Variable:</i> Konsentrasi (Y)						

**Tabel 5. Koefisien Pembakaran 1000C**

Model		<i>Sum of Squares</i>	df	<i>Mean Square</i>	F	Sig.
1	<i>Regression</i>	538.317	2	269.159	38.582	.000 <sup>b</sup>
	<i>Residual</i>	481.367	69	6.976		
	Total	1019.685	71			
a. <i>Dependent Variable:</i> Konsentrasi (Y)						
b. <i>Predictors:</i> (Constant), Waktu Kontak (X2), pH (X1)						

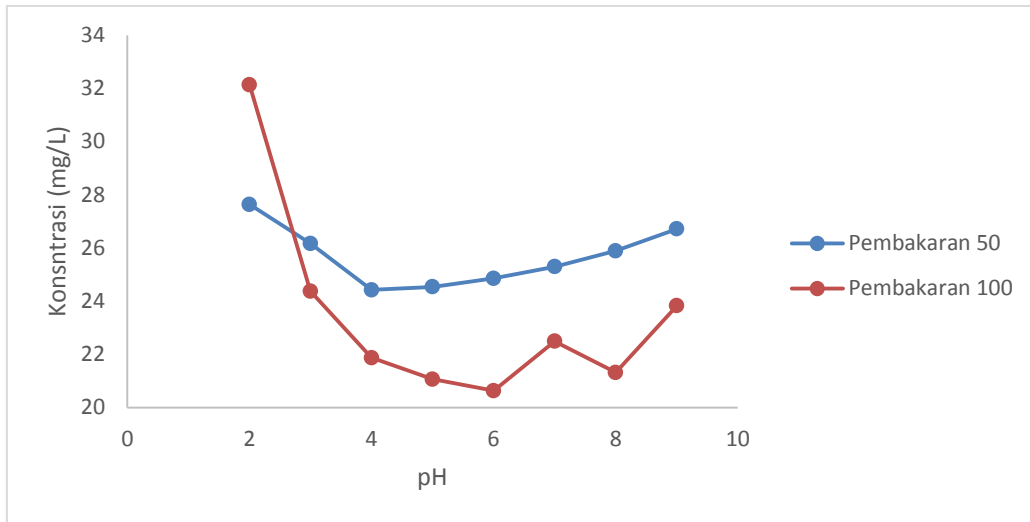
### 3.5. Penentuan Pembakaran Optimum

Pembakaran *bottom ash* bertujuan untuk mengaktivasi *bottom ash* yang dilakukan secara fisika. Berdasarkan perbandingan konsentrasi penyerapan, pembakaran pada temperatur 100<sup>o</sup> menyerap lebih banyak konsentrasi zat warna jika dibandingkan dengan pembakaran pada temperature 50<sup>o</sup>C. Nilai konsentrasi dapat dilihat pada gambar 6

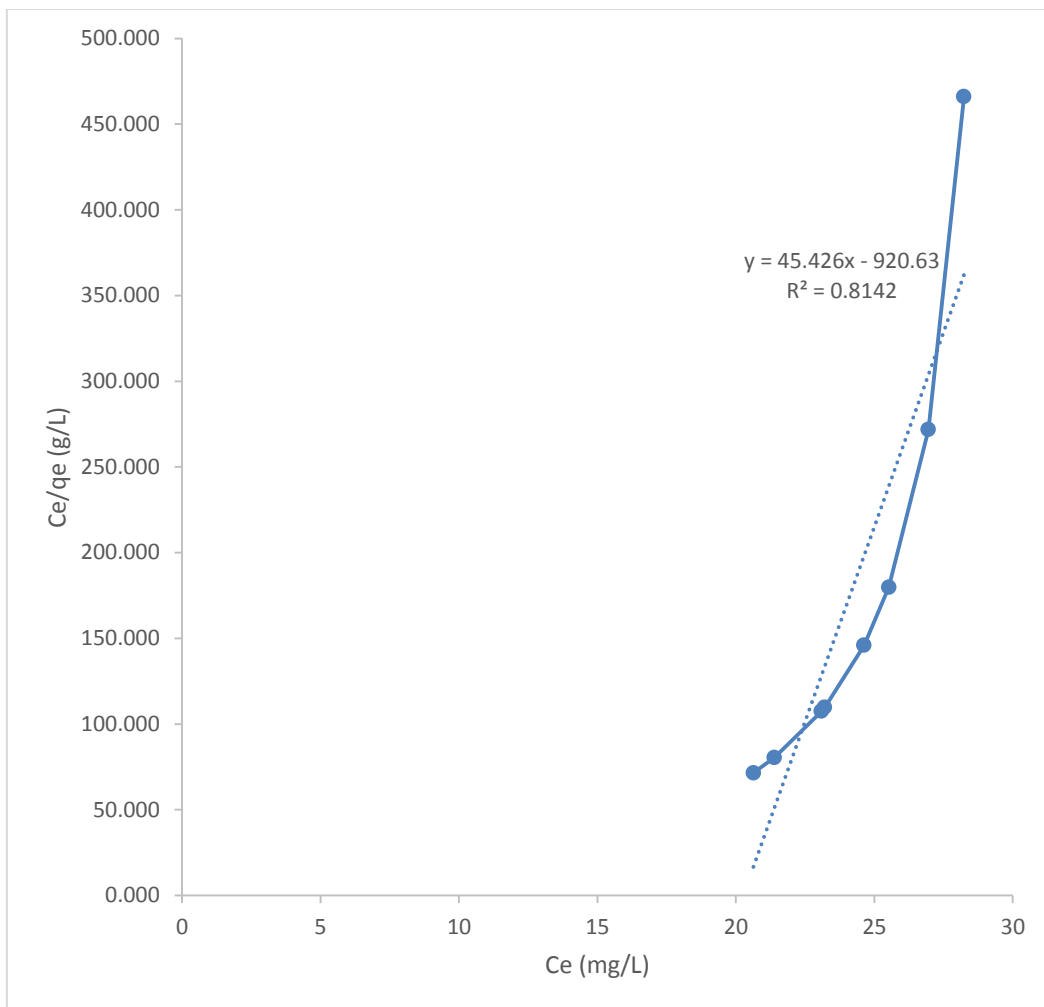
### 3.6. Penentuan kapasitas adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan dengan menggunakan kurva isotherm Langmuir dan Freundlich. Menurut Lestari (2015) nilai R<sup>2</sup> pada grafik isotherm yang paling mendekati 1, menunjukkan bahwa pola adsorpsi mengikuti pola isotherm tersebut. Berdasarkan nilai R<sup>2</sup> isotherm Freundlich yang hampir mendekati 1 yaitu sebesar 0,9287 maka dapat dikatakan bahwa pola adsorpsi ini mengikuti pola isotherm adsorpsi Freundlich. Berikut disajikan gambar isotherm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

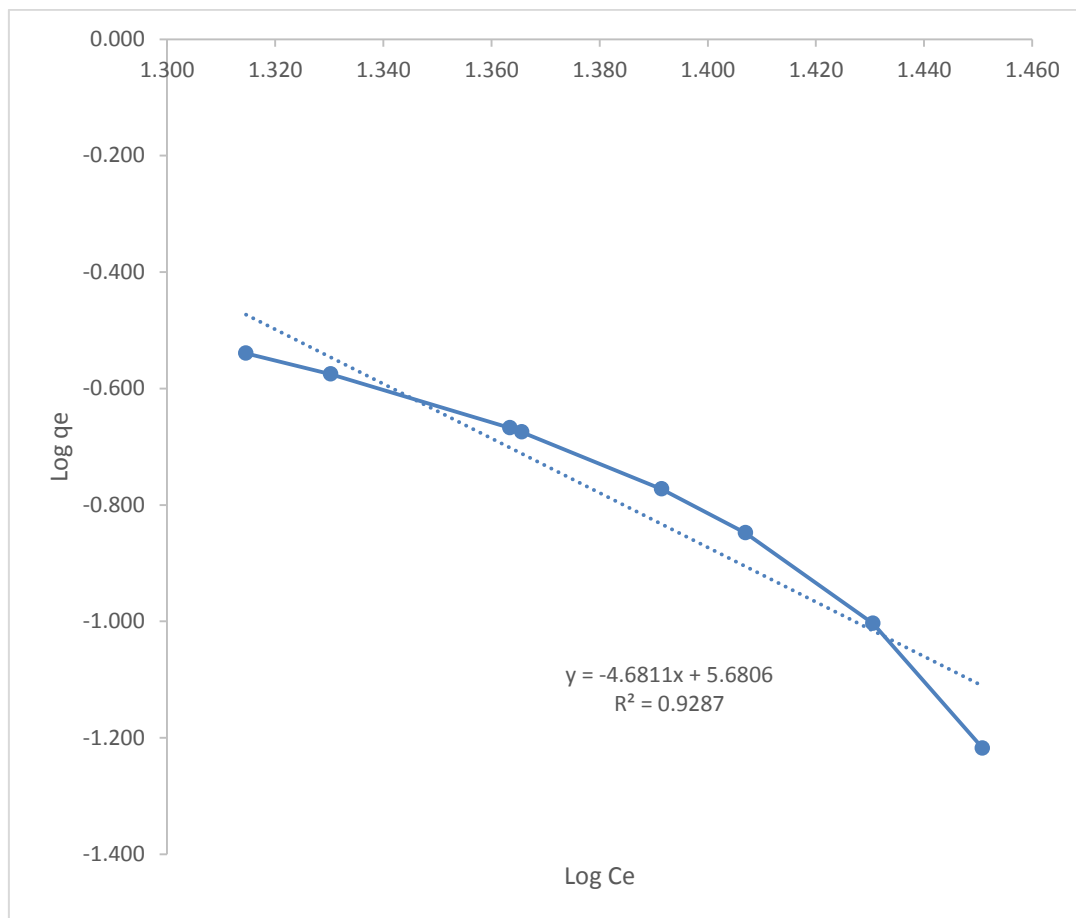




**Gambar 6. Pengaruh Pembakaran Bottom Ash Terhadap Konsentrasi Adsorpsi**



**Gambar 7. Isotherm Adsorpsi Langmuir**



Gambar 8. Isotherm Adsorpsi Freundlich

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai kemampuan *bottom ash* untuk dijadikan sebagai adsorben untuk mengurangi zat warna dalam limbah cair industri tekstil dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan studi literatur mengenai hasil uji XRF untuk mengetahui karakteristik *bottom ash*, didapatkan bahwa *bottom ash* memiliki komposisi kandungan Si, Al, Fe, dan Ca yang lebih besar dibandingkan dengan komposisi senyawa lainnya
2. Pembakaran 100<sup>0</sup>C memiliki penyerapan kapasitas adsorpsi yang lebih besar yaitu 34,694% dibandingkan dengan pembakaran 50<sup>0</sup>C sebesar 15,508%

#### DAFTAR RUJUKAN

- Apriyanti, H., I Nyoman Candra, Elinawati. 2018. Karakterisasi Isoterm Adsorpsi dari Ion Logam Besi (Fe) Pada Tanah Di Kota Bengkulu. Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia.
- Ayuni, Ni Putu Sri. Ni Wayan Yuningrat. Ketut Yesi A. (2016). Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna Azo Jenis Remazol Black B Menggunakan Membran Polielektrolit (PEC) Kitosan-Pektin. Bali.

- Benzaoui, Thouria., Ammar S., Djaafar D. (2017). Adsorption of Copper (II) Ions from Aqueous Solution Using Bottom Ash of Expired Drugs Incineration. *Adsorption Science and Technology*.
- Bertolini, T. C. R., Juliana C. Izidoro., Carina, P. M., Denise A. F. (2013). Adsorption of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution onto Zeolites from Coal Fly and Bottom Ashes. *Chemical and Environmentak Center, Nuclear and Energy Research Institute*.
- Christina P.M., Mu'nisatun S., Saptaji R., dan Marjanto D. (2007). Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) Dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elekron 350 Kev/10Ma, *JFN*, No.1, Vol.1. 31-44
- Chung, K.-T. (2016). Azo dyes and human health: A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 34(4), 233–261. doi:10.1080/10590501.2016.1236602
- Damayanti, Retno. (2018). Abu Batubara dan Pemanfaatannya: Tinjauan Teknis Karakteristik Secara Kimia dan Toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* Volume 14, No 3.
- Dong, L., Z. Zhu, Y. Qiu, and J. Zhao. 2010. Removal of Lead From Aqueous Solution by Hidroxyapatite/Magnetite Composite Adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 16, No. 5 : 827 – 834.
- Fitriyana, D. F. dan Sulardjaka. 2012. Sintesis Zeolit A Berbahan Dasar Limbah Geotermal dengan Metode Hidrotermal. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*.
- Gičević, A., Hindija, L., & Karačić, A. (2019). Toxicity of Azo Dyes in Pharmaceutical Industry. *CMBEBIH 2019*, 581–587.
- Hecker., dan Bilski, J. (2014). Environmental Toxicology and Coal Fly Ash Chemical Composition. *Research Journal of Chemical and Environmental Science*, 2(4), pp. 27-33.
- Herfina, Herny. (2017). Analisis Ekonomi dan Lingkungan Pemanfaatan Limbah Fly Ash Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi Kasus PT XYZ Cilegon). Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Hutagalung, Deby Evelin. 2018. Dekolorisasi Pewarna Tekstil Sintetis Azo oleh Bakteri Halotoleran dan Identifikasi Menggunakan 16S rRNA. *Universitas Sumatera Utara*.
- Jayaranjan, M. L. D., van Hullebusch, E. D., & Annachhatre, A. P. (2014). Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13(4), 467
- Kusmiyati, Puspita adi L., Deni Vitasari., Robi Indra., Dila Islamica., dan Hadiyanto. (2016). Coal Bottom Ash and Activated Carbon for Removal of Vertigo Blue Dye in Batik Textile

- Waste Water : Adsorbent Characteristic, Isotherms, and Kinetics Studies. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Lestari, Indah Puji. (2015). Efektivitas Bentonit Teraktivasi Sebagai Penurun Kadar Ion Fosfat Dalam Perairan. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Malviah, A., Dipika K. J., dan Shraddha K. (2019). Kinetics Studies On the Adsorption of methyl Orange and Metanil yellow On Bottom Ash : A Comparative Account. Water Science and Technology.
- Tarigan, Budi Pratama. (2019). Pemanfaatan Bottom Ash Batubara Untuk Menurunkan Kandungan Fosfat Pada Limbah Deterjen dengan Aktivator NaOH. Universitas Sumatera Utara.
- Wardani, Ratih Kusuma. (2012). Pemanfaatan Abu Bawah Batubara (Bottom Ash) Teraktivasi Sebagai Adsorben Ion Logam  $Cd^{2+}$ . Universitas Airlangga.
- Yildirim, M., Nevin, K. M., Funda, D., Emek, M. D. (2017). Removal of As (V) By Using Bottom Ash As Adsorbent. CBU International Conference on Innovation in Science and Education.
- Yunita, Eka. (2017). Analisis Potensi dan Karakteristik Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash Hasil dari Pembakaran Batubara Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Makassar : UIN Alauddin.