

## KINETIKA ADSORPSI LOGAM Cu DAN Zn PADA LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN MEMBRAN SILIKA

### *ABSORPTION KINETIC OF Cu AND Zn METALS IN PALM LIQUID WASTE USING SILICA MEMBRANE*

Feni Sri Erani<sup>1</sup>, Abu Hasan<sup>2</sup>, Indah Purnamasari<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Kimia Industri,  
Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang  
e-mail : [fenisrierani@gmail.com](mailto:fenisrierani@gmail.com)

#### ABSTRAK

Logam berat dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan dan mempengaruhi kesehatan makhluk hidup, Cu dan Zn sering ditemukan dalam pencemaran lingkungan. Salah satu metode untuk mengurangi logam Cu dan Zn adalah dengan menggunakan metode adsorpsi. Adsorpsi telah menjadi metode kompetitif di bidang limbah cair. Kinetika adsorpsi adalah salah satu faktor utama yang harus dipahami sebelum penerapan adsorben apa pun. Dalam setiap proses adsorpsi, linier atau non-analisis linier dari kinetika diterapkan Indeks kecocokan (koefisien korelasi atau jumlah kuadrat) diterapkan untuk mengakses model terbaik. Penelitian ini bertujuan menentukan model persamaan adsorpsinya, mendapatkan kinetika adsorpsi terhadap logam Cu dan Zn menggunakan membran silika. Metodologi yang digunakan itu ekstraksi silika dengan metode presipitasi, kemudian proses pembuatan membran digunakan PVA dan PEG sebagai perekat dan pelarut. Untuk analisa kadar logam Cu dan Zn digunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), sedangkan untuk analisa morfologi membran menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Dari proses pengaplikasian membran silika terhadap limbah cair kelapa sawit, hasil kinetika serapan Pseudo Orde 1 untuk logam Cu (larutan artificial) dengan nilai k Logam Cu artificial (4M) 0.0596, dan nilai k Logam Cu artificial (8M) 0.0022, sedangkan kinetika serapan Pseudo Orde 1 untuk logam Zn dengan nilai k Logam Zn (4M) 0.0077, dan nilai k Logam Zn (8M) 0.0109.

**Kata Kunci** : membran, fly ash, limbah kelapa sawit, adsorpsi, kinetika

#### ABSTRACT

*Heavy metals can cause environmental pollution and affect human health. Cu and Zn are often found in the environment. One method to reduce Cu and Zn is to use the adsorption method. Adsorption has become a competitive method in the field of wastewater. Adsorption kinetics is one of the main factors that must be understood before the application of any adsorbent. In each adsorption process, linear or non-linear analysis of the kinetics was applied. A fit index (correlation coefficient or sum of squares) was applied to access the best model. The purpose of this study was to determine the adsorption equation model, to obtain the adsorption kinetics of Cu and Zn metals using a silica membrane. The methodology used is silica extraction by precipitation method and then the process of making PVA and PEG membranes as adhesives and solvents. For the analysis of metal concentrations of Cu and Zn, Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) was used, while for membrane morphology analysis, a Scanning Electron Microscope (SEM) was used. From the process of applying silica membrane to palm oil liquid waste, the results of Pseudo Order 1 absorption kinetics for Cu metal (artificial solution) with k value of artificial Cu metal (4M) 0.0596, and k value of artificial Cu metal (8M) 0.0022, while the Pseudo Order 1 absorption kinetics for Zn metal with a k value of Zn metal (4M) 0.0077, and a k value of Zn metal (8M) 0.0109.*

**Keywords:** membrane, fly ash, palm oil waste, adsorption, kinetics

## 1. PENDAHULUAN

Adsorpsi merupakan salah satu teknologi pemisahan yang paling luas dan teknologi alternatif yang hemat biaya. Adsorpsi dengan biosorben murah seperti arang aktif tempurung kelapa sawit (KATKS) dapat menjadi alternatif teknologi adsorpsi -karoten dalam minyak sawit mentah (CPO) (Muhammad, 2014). salah satu aspek yang digunakan untuk menentukan waktu adsorpsi dengan Kinetika adsorpsi

(Cahyani, 2020). Untuk mengolah data dalam pengolahan air limbah adsorpsi untuk mengetahui variabel-variabel yang terlibat dalam adsorpsi dan mekanisme adsorpsi yang terjadi dapat digunakan model kinetika reaksi. Model kinetika adsorpsi juga diperlukan untuk memprediksi laju transfer adsorbat dari larutan ke adsorben yang dirancang (Kurniawati et al., 2016).

Kelapa sawit adalah komoditas agribisnis yang reatif pesat perkembangannya dalam sektro perkebunan

yang ada di Indonesia. Sumber daya alam yg melimpah ini beredar pada aneka macam daerah, terutama pada Sumatera & Kalimantan. Perkembangan industri kelapa sawit yg terus semakin tinggi akan berdampak dalam limbah padat menurut pengolahan tandan butir segar (TBS). Abu terbang (Fly ash) merupakan produk sampingan menurut pembakaran cangkang kelapa sawit yg megandung poly silika yg bisa dipakai terutama pada produksi kaca buat jendela, gelas minum, botol minuman, & poly lainnya. Selain itu, abu cangkang kelapa sawit jua megandung kation anorganik misalnya kalium & natrium. Abu cangkang kelapa sawit adalah bahan pozzolanic, yg nir mengikat, tetapi megandung senyawa silika oksida ( $\text{SiO}_2$ ) aktif (Sarifah & Pasaribu, 2017).

Elemen kimia yang terkandung dalam residu abu layang kelapa sawit adalah Silika ( $\text{SiO}_2$ ) 63,4%, ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 63,4%, Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ ) 4,3%, Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ ) 3,7%, ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 6,3%, ( $\text{SO}_3$ ) dari 0,9%, ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari 5,5 n (LOI) dari 6,0% (Telaumbanua, 2017). Dengan pangsa sekitar 30-36%, asam silikat merupakan salah satu komponen dominan abu layang. Silika merupakan bahan kimia yang manfaat dan aplikasinya sangat luas, salah satu kegunaan silika yaitu sebagai bahan baku pembuatan membran padat, misalnya membran silika digunakan untuk pewarnaan sisa batik cair yang diproduksi oleh Rini (2009) (Rini et al., 2008).

Umumnya limbah cair kelapa sawit megandung logam Cd, Fe, Cu, Cr, Zn, Ni, dll. Jika langsung dibuang ke lingkungan akan merusak sumber daya alam dan merusak kualitas lingkungan. Berbagai jenis kerusakan lingkungan termasuk pencemaran udara, tanah dan air, yang dapat menjadi racun bagi manusia karena limbah cair megandung logam berat berbahaya tingkat tinggi.

Berdasarkan uraian tadi dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai model persamaan adsorpsinya, mendapatkan kinetika adsorpsi terhadap logam Cu dan Zn menggunakan membran silika.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan yaitu Fly Ash Kelapa Sawit (PT GBS), NaOH (Sigma-aldrich, Germany), HCl (Merck, Jerman),  $\text{HNO}_3$  (Merck, Jerman), PVA(Sigma-aldrich, Germany), PEG (Himedia, India), Limbah cair kelapa sawit (PT GBS), Aquadest (Sumber Kimia).

### Alat

Alat yang digunakan yaitu terdiri dari Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), Scanning Electron Microscopy (SEM), Alat Filtrasi dengan Menggunakan Modul Membran.

### Proses Pembuatan Membran

Fly ash selama 2 jam direndam dalam air panas untuk menghilangkan bahan organik yang larut dalam air sehingga tidak menjadi kontaminan dalam proses ekstraksi silika. Setelah 2 jam fly ash disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 6 jam. Membuat larutan NaOH 4M dan 8M, membuat larutan  $\text{HNO}_3$  1M. Sampel ditimbang hingga 100 gram terdekat kemudian merendam kedalam larutan 200 ml NaOH 4M 8M. Sampel direbus sambil dilakukan penhadukan dengan kecepatan 150 rpm dan didiamkan selama 90 menit. Sampel kemudian disaring dengan kertas saring dan filtratnya diambil dengan silika terlarut. Untuk mengendapkan silika, larutan HCl pekat secara bertahap ditambahkan ke filtrat hingga tidak ada endapan yang terbentuk (kisaran pH 6-8). Setelah itu, endapan disaring dan dibilas dengan aquadeest panas untuk menghilangkan kelebihan asam. Selanjutnya silika yang diperoleh ini dikeringkan didalam oven suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Sebanyak 6 gram PVA dicampur dengan 1M  $\text{HNO}_3$  sebanyak 10 mL dan 190 mL akuades. Campuran diaduk dengan magnetic stirrer selama 2 jam pada pemanasan  $80^\circ\text{C}$ . PVA digunakan dalam penelitian ini sebagai perekat antara serbuk silika untuk membentuk membran. silika padat. Dipipet sebanyak 5,1 mL PEG, kemudian ditambahkan 51 mL larutan PVA dan 4 g silika yang telah disiapkan dan diaduk hingga homogen. Selain itu, akan dicetak dalam cetakan kaca dengan diameter 20cm x 20cm. kemudian mengering selama 30 jam pada suhu kamar. Membran semi basah yang sudah dibongkar dimasukan dalam oven suhu  $70^\circ\text{C}$  selama 1 jam untuk menghilangkan kandungan air yang masih terkandung dalam membran. Analisis membran silika menggunakan alat scanning electron microscopy (SEM) untuk analisa morfologi permukaan membran yang dihasilkan.

### Proses Pengaplikasian

Menganalisa kadar logam Cu dan Zn limbah cair kelapa sawit menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Membran padat silika dimasukkan modul membran. Lalu dialirkan limbah cair melewati membran tersebut dengan diatur kecepatan alir dan tekanan. Cairan yang melewat

membran ditampung dan dianalisa kadar logam Cu dan Zn menggunakan SSA. Mengambil data yang dibutuhkan untuk menghitung kinetika adsorpsinya. Perhitungan Kinetika Serapan

$q_e$  : kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)  
 $q_t$  : kapasitas adsorpsi pada saat waktu t (mg/L)  
 $k_1$  : konstanta lajureaksi pseudo orde satu

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (1)$$

Keterangan :

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Penelitian

Hasil dari persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 1, 2, 3.

**Tabel 1** Hasil Persamaan Adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Logam Cu) pada Membran Silika dari Fly Ash Kelapa Sawit

t	Ce		qe		Ce/qe		Log qe		Log Ce	
	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M
10	20.759	21.395	2.619	1.665	7.926	12.850	0.418	0.221	1.317	1,330
20	20.134	21.318	3.557	1.781	5.661	11.973	0.551	0.251	1.304	1,329
30	19.336	20.119	4.754	3.579	4.068	5.621	0.677	0.554	1.286	1,304
40	18.738	20.099	5.651	3.609	3.316	5.569	0.752	0.557	1.273	1,303
50	14.053	19.940	12.678	3.848	1.108	5.183	1.103	0.585	1.148	1,300
60	11.400	19.568	16.658	4.406	0.684	4.442	1.222	0.644	1.057	1,292

**Tabel 2** Hasil Persamaan Adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Logam Zn) pada Membran Silika dari Fly Ash Kelapa Sawit

t	Ce		qe		Ce/qe		Log qe		Log Ce	
	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M
10	3.732	2.488	0.306	2.172	12.196	1.145	-0.514	0.337	0.572	0.396
20	3.227	2.389	1.064	2.321	3.034	1.030	0.027	0.366	0.509	0.378
30	3.171	2.37	1.148	2.349	2.763	1.009	0.060	0.371	0.501	0.375
40	3.126	2.123	1.215	2.720	2.573	0.781	0.085	0.434	0.495	0.327
50	2.875	2.111	1.592	2.738	1.806	0.771	0.202	0.437	0.459	0.324
60	2.823	1.215	1.670	4.082	1.691	0.298	0.223	0.611	0.451	0.085

**Tabel 3** Hasil Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Membran Silika dari Fly Ash

Persamaan	Konsentrasi NaOH			
	4M		8M	
	Logam Cu	Logam Zn	Logam Cu	Logam Zn
$K_L$	11.572	77.331	18.844	4.624
$K_F$	0.003	19.993	0.805	1.994

## Penentuan Persamaan Kinetika Adsorpsi Terhadap Membran Silika

Hasil persamaan kinetika adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4, 5, 6.

**Tabel 4** Hasil Persamaan Kinetika Adsorpsi (Logam Cu) pada Membran Silika dari Fly Ash Kelapa Sawit

t	qe		qt		qe-qt		Ln (qe-qt)		t/qt	
	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M
10	17.100	29.352	2.619	1.665	14.481	27.687	2.673	3.321	3.818	6.006
20	17.100	29.352	3.557	1.781	13.544	27.572	2.606	3.317	5.624	11.233
30	17.100	29.352	4.754	3.579	12.347	25.773	2.513	3.249	6.311	8.382
40	17.100	29.352	5.651	3.609	11.450	25.743	2.438	3.248	7.079	11.083
50	17.100	29.352	12.678	3.848	4.422	25.505	1.487	3.239	3.944	12.995
60	17.100	29.352	16.658	4.406	0.442	24.947	-0.815	3.217	3.602	13.619

**Tabel 5** Hasil Persamaan Kinetika Adsorpsi (Logam Zn) pada Membran Silika dari Fly Ash Kelapa Sawit

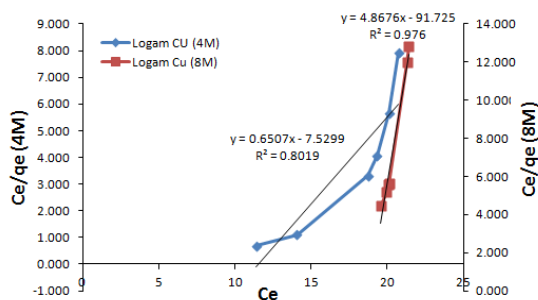
t	qe		qt		qe-qt		Ln (qe-qt)		t/qt	
	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M	4M	8M
10	4.235	1.823	0.306	2.172	3.929	-0.350	1.368	0.705	32.680	4.604
20	4.235	1.823	1.064	2.321	3.171	-0.498	1.154	0.608	18.806	8.619
30	4.235	1.823	1.148	2.349	3.087	-0.527	1.127	0.591	26.144	12.771
40	4.235	1.823	1.215	2.720	3.020	-0.897	1.105	0.408	32.922	14.709
50	4.235	1.823	1.592	2.738	2.643	-0.915	0.972	0.401	31.417	18.265
60	4.235	1.823	1.670	4.082	2.565	-2.259	0.942	0.104	35.939	14.700

**Tabel 6** Hasil Kinetika Adsorpsi Pada Membran Silika dari Fly Ash

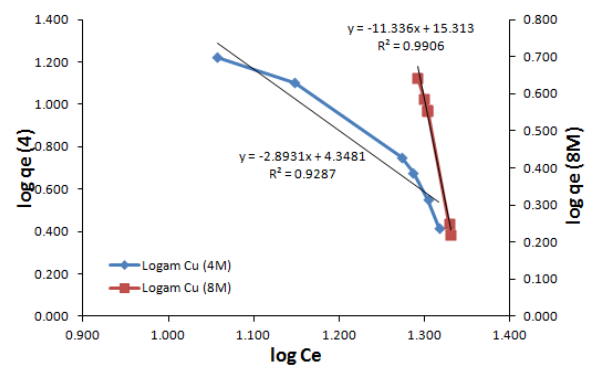
Orde	Konsentrasi NaOH			
	4M		8M	
	Logam Cu	Logam Zn	Logam Cu	Logam Zn
1	0.0596	0.0077	0.0022	0.0109

## Pembahasan

Persamaan adsorpsi menjelaskan mekanisme adsorpsi yang terjadi, persamaan Langmuir dan Freundlich pada logam Cu berdasarkan variasi membran dengan konsentrasi NaOH dapat dilihat dari Gambar 1 dan 2.



**Gambar 1** Persamaan Langmuir (Logam Cu)



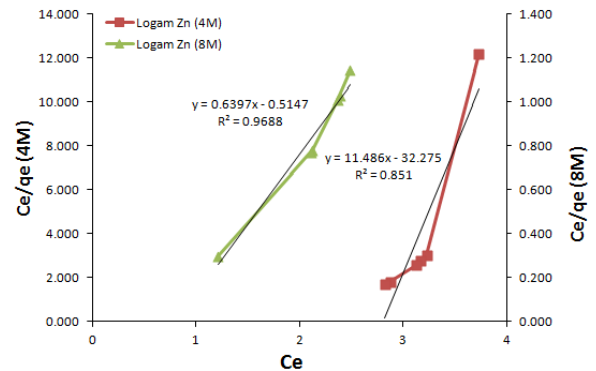
**Gambar 2** Persamaan Freundlich (Logam Cu)

Dari Gambar 1 dan 2 menunjukkan nilai koefisien linier ( $R^2$ ) Langmuir untuk membran dengan konsentrasi 4 M sebesar 0,8019, nilai koefisien linier ( $R^2$ ) Langmuir untuk membran dengan konsentrasi 8 M sebesar 0,9760, sedangkan untuk nilai koefisien linier ( $R^2$ ) persamaan Freundlich untuk membran dengan konsentrasi 4 M sebesar 0,9287, nilai koefisien linier

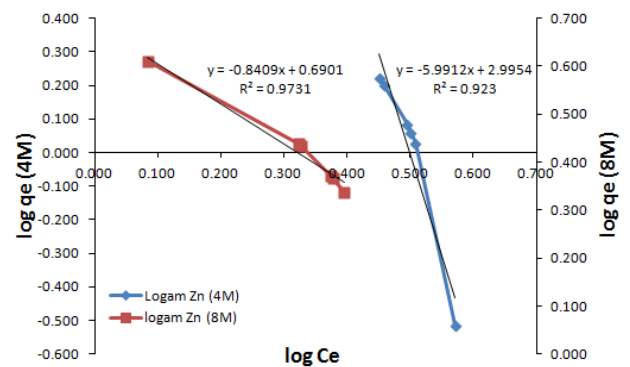
( $R^2$ ) Freundlich untuk membran dengan konsentrasi 8 M sebesar 0,9906, dapat dilihat bahwa mekanisme adsorpsi pada logam Cu, cenderung mengikuti model persamaan Freundlich, karena nilai  $R^2$  pada Gambar 1 dan 6 yang paling mendekati angka 1 menunjukkan bahwa pola adsorpsi mengikuti pola persamaan. Model persamaan Freundlich menyatakan bahwa pori-pori yang terbentuk pada adsorben bersifat heterogen, sehingga ion-ion yang teradsorpsi membentuk lapisan berlapis-lapis pada lapisan permukaan adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya Cu yang teradsorpsi. melainkan ada ion-ion lain yang ikut terserap yang mengakibatkan terbentuknya lapisan *multilayer*.

Meskipun persamaan isotherm adsorpsi Langmuir didasarkan pada pembentukan monolayer molekul adsorbat dengan permukaan adsorben yang homogen, adsorpsi kimia memang terjadi. Adsorpsi kimia ini terjadi karena adanya pertukaran elektron dan terbentuknya ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat sehingga membentuk satu lapisan adsorpsi (Cahyani, 2020). Menurut Sahara dkk. (2018) Pada isotherm adsorpsi Langmuir, proses adsorpsi terjadi karena adanya pertukaran ion pada permukaan adsorben, sehingga ukuran pori adsorben dan molekul adsorbat memiliki pengaruh yang besar. Ketika ukuran pori adsorben lebih besar dari molekul adsorbat, proses pertukaran ion menjadi lebih mudah, tetapi ketika ukuran pori adsorben lebih kecil, proses pertukaran ion menjadi lebih sulit. Dari Gambar 4.6 dan 4.7 menunjukkan nilai koefisien linier ( $R^2$ ) Langmuir untuk membran dengan konsentrasi 4 M sebesar 0,8510, nilai koefisien linier ( $R^2$ ) Langmuir untuk membran dengan konsentrasi 8 M sebesar 0,9688, sedangkan untuk nilai koefisien linier ( $R^2$ ) persamaan Freundlich untuk membran dengan konsentrasi 4 M sebesar 0,9230, nilai koefisien linier ( $R^2$ ) Freundlich untuk membran dengan konsentrasi 8 M sebesar 0,9731.

Persamaan adsorpsi menjelaskan mekanisme adsorpsi yang terjadi, persamaan Langmuir dan Freundlich pada logam Zn berdasarkan variasi membran dengan konsentrasi NaOH dapat dilihat dari Gambar 3 dan 4.



Gambar 3 Persamaan Langmuir (Logam Zn)



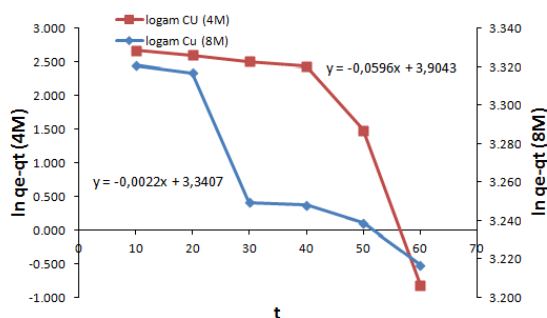
Gambar 4 Persamaan Freundlich (Logam Zn)

Dapat dilihat bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi pada logam Zn cenderung mengikuti model persamaan Freundlich, hal ini dikarenakan nilai  $R^2$  pada Gambar 3 dan 4 yang merupakan angka 1 paling mendekati menunjukkan bahwa pola adsorpsi sesuai dengan pola Persamaan. Model persamaan Freundlich menyatakan bahwa pori-pori yang terbentuk pada adsorben bersifat heterogen, sehingga ion-ion yang teradsorpsi membentuk lapisan berlapis-lapis pada lapisan permukaan adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya logam Zn yang teradsorpsi tetapi juga ion-ion lainnya, yang menghasilkan pembentukan lapisan *multilayer*.

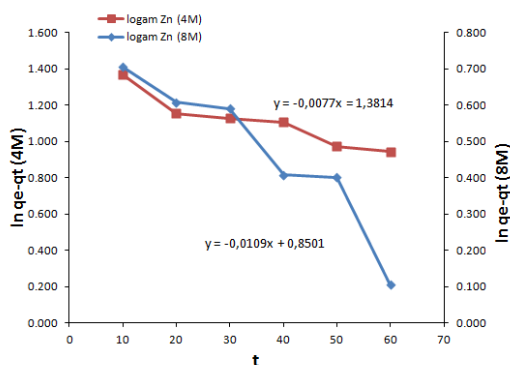
Meskipun persamaan isotherm adsorpsi Langmuir didasarkan pada pembentukan monolayer molekul adsorbat dengan permukaan adsorben yang homogen, adsorpsi kimia memang terjadi. Adsorpsi kimia ini terjadi karena adanya pertukaran elektron dan terbentuknya ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat sehingga membentuk lapisan adsorpsi (P'erez-Mar'in, et al., 2007). Menurut Sahara dkk. (2018) pada isotherm adsorpsi Langmuir, proses adsorpsi terjadi

karena adanya pertukaran ion pada permukaan adsorben, sehingga ukuran pori-pori adsorben dan molekul adsorbat sangat mempengaruhinya. Bila ukuran pori adsorben lebih besar dari molekul adsorbat, proses pertukaran ion menjadi lebih mudah, tetapi ketika ukuran pori adsorben lebih kecil, proses pertukaran ion menjadi lebih mudah dan lebih sulit.

Persamaan Kinetika Pseudo Orde 1 pada logam Cu (larutan artificial) dan logam Zn berdasarkan variasi membran dengan konsentrasi NaOH dapat lihat dari Gambar 5 dan 6.



**Gambar 5** Grafik Persamaan Pseudo Orde Satu (Logam Cu)



**Gambar 6** Grafik Persamaan Pseudo Orde Satu (Logam Zn)

Dari Gambar 5 dan 6 yang menggunakan metode pseudo orde satu dimana nilai k untuk logam Cu menggunakan membran dengan konsentrasi NaOH 4M sebesar 0,0596 sedangkan membran dengan konsentrasi NaOH 8M sebesar 0,0022, sedangkan untuk logam Zn menggunakan membran dengan konsentrasi NaOH 4M sebesar 0,0077 dan membran dengan konsentrasi NaOH 8M sebesar 0,0109, nilai k merupakan parameter kinetika adsorpsi yang memaknai tentang cepat atau lambat suatu proses adsorpsi itu berlangsung, makin kecil nilai k, maka makin cepat proses adsorpsi berlangsung dari Gambar 4.8 dan 4.9 bahwa nilai k yang paling kecil terlihat dri

membran dengan konsentrasi NaOH 8M pada logam Cu. Dari Gambar 4.8 dan 4.9 nilai k yang didapatkan dri persamaan liniernya kecil Sehingga kinetika adsorpsinya mempengaruhi jalannya proses.

#### 4. KESIMPULAN

Setelah proses pengaplikasian membran silika hasil model persamaan adsorpsinya menggunakan model persamaan freundlich hal ini dikarenakan nilai  $R^2$  yang paling mendekati angka 1 menunjukkan bahwa pola adsorpsi mengikuti pola persamaan tersebut. Setelah proses pengaplikasian membran silika hasil kinetika adsorpsi Pseudo Orde 1 dengan nilai k Logam Cu larutan artificial (4M) 0,0596  $\text{menit}^{-1}$ , logam Cu larutan artificial (8M) 0,0022  $\text{menit}^{-1}$ , sedangkan hasil kinetika adsorpsi Pseudo Orde 1 dengan nilai k Logam Zn (4M) 0,0077  $\text{menit}^{-1}$ , logam Zn (8M) 0,0109  $\text{menit}^{-1}$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Cahyani, R. D. (2020). *KINETIKA DAN ISOTERM ADSORPSI ZAT WARNA RHODAMIN B MENGGUNAKAN BUTIRAN KITOSAN TERIKATSILANG TRIPOLIFOSFAT (TTP) DAN GLUTARALDEHIS (GLA)* (Vol. 68, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001%0A> <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003%0A> <tp://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.024>
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., & Purbaningtyas, T. E. (2016). Kinetic study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *Eksakta*, 13(1–2), 11–21. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol13.iss1-2.art2>
- Muhammad. (2014). Penyerapan  $\beta$ -Karoten Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit: Kajian Kinetika. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 3(2), 53–63.
- Rini, A. P., Hastuti, D. R., & Gunawan. (2008). *PENGARUH KOMPOSISI Poly Ethylene Glycol (PEG) DALAM SINTESIS MEMBRAN PADAT SILIKA DARI SEKAM PADI DAN APLIKASINYA UNTUK DEKOLORISASI LIMBAH CAIR BATIK*.
- Sarifah, J., & Pasaribu, B. (2017). Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Guna Meningkatkan Stabilitas Tanah Lempung. *Cetak Buletin Utama Teknik*, 13(1), 1410–4520.
- Telaumbanua, J. J. P. (2017). *Penggunaan Fly Ash dan Bottom Ash Boiler Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Adsorben untuk Mengadsorpsi Zat Warna pada Limbah Cair Buatan*. <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/3110>