

## UJI PERSAMAAN LANGMUIR DAN FREUNDLICH PADA PENYERAPAN LIMBAH CHROM (VI) OLEH ZEOLIT

Murni Handayani<sup>1</sup> dan Eko Sulistiyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI,  
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang, Banten 15310  
Email: ekoloyo51@yahoo.com

### ABSTRAK.

**UJI PERSAMAAN LANGMUIR DAN FREUNDLICH PADA PENYERAPAN LIMBAH CHROM (VI) OLEH ZEOLIT.** Telah dilakukan penelitian penyerapan limbah chrom (VI) dengan zeolit. Limbah yang dihasilkan oleh industri baik dalam bentuk limbah radioaktif maupun limbah logam berat perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut agar tidak membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Zeolit memiliki bentuk kristal sangat teratur dengan rongga saling berhubungan ke segala arah sehingga menyebabkan luas permukaan zeolit menjadi sangat besar dan sangat baik digunakan sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan mengetahui metoda adsorpsi isoterm yang sesuai untuk menentukan kapasitas maksimum adsorpsi zeolit terhadap limbah chrom (VI). Persamaan yang digunakan dalam proses adsorpsi adalah persamaan adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich. Alat yang digunakan dalam percobaan adalah Spektroskopi Serapan Atom (AAS). Hasil percobaan menunjukkan bahwa massa ion logam chrom (VI) terbesar yang teradsorpsi oleh zeolit adalah pada konsentrasi 20 ppm sebesar 7.71 mg / gram zeolit. Proses penyerapan limbah chrom (VI) oleh zeolit mengikuti persamaan Langmuir dan Freundlich dengan  $R^2 > 0,9$ . Persamaan yang cocok untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum zeolit pada proses penyerapan limbah chrom(VI) adalah persamaan Langmuir. Kapasitas adsorpsi maksimum adalah 52.25 mg/gram.

**Kata kunci:** persamaan Langmuir, persamaan Freundlich, zeolit, adsorpsi limbah chrom(VI)

### ABSTRACT.

**LANGMUIR AND FREUNDLICH ISOTHERM ADSORPTION EQUATIONS FOR CHROMIUM (VI) WASTE ADSORPTION BY ZEOLITE.** The research of chromium (VI) waste adsorption by zeolite has done. Wastes which are produced by Industries, both radioactive waste and heavy metal waste need done more processing so that they are not endanger environment and human health. Zeolite has very well-ordered crystal form with cavity each other to way entirely so that cause surface wide of zeolite become very big and very good as adsorbents. This research intends to know appropriate isotherm adsorption method to determine maximum capacity of zeolite to chromium (VI) waste. The equations which used in adsorption process are Langmuir dan Freundlich isotherm Adsorption equations. The instrument was used in adsorption process by using Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS). The experiment result showed that the biggest mass of chromium (VI) metal ion which was absorb by zeolite in 20 ppm concentration was 7.71 mg/gram zeolite. Adsorption process of Chromium (VI) waste by zeolite followed Langmuir and Freundlich isotherm equations with  $R^2 > 0,9$ . Appropriate equation to determine maximum adsorption capacity of zeolite for chromium (VI) waste adsorption is Langmuir equation. The maximum adsorption capacity of zeolite is 52.25 mg/gram.

**Key words:** Langmuir equation, Freundlich equation, zeolite, chromium (VI) metal ion adsorption

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini masih banyak industri yang membuang limbah baik limbah radioaktif maupun limbah logam berat yang mempunyai dampak berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Khusus limbah logam berat seperti chromium, cadmium, timbal dan air raksa yang dibuang ke perairan oleh pelaku industri disebabkan karena sulitnya proses pemisahan ion logam tersebut dengan menggunakan proses pengendapan / koagulasi. Industri yang berpotensi membuang limbah chromium dalam jumlah besar seperti industri electroplating, pemyamakan kulit dan industri kimia yang lainnya. Limbah tersebut perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan menggunakan teknik-teknik lain seperti pertukaran ion maupun menggunakan adsorben (zat penyerap).

Mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar banyak terdapat di daerah Indonesia yang tersebar di berbagai lokasi. Mineral zeolit di Indonesia pada umumnya dalam bentuk mineral zeolit murni dengan bahan pengotor berupa kalsium karbonat, senyawa silikat kompleks dan lain-lain. Hingga saat ini pemanfaatan zeolit hanya sebatas untuk keperluan pertanian dan perikanan sebagai bahan penyerap ammonia dalam perairan dan pengikat zat hara dalam tanaman. Sehingga zeolit memiliki nilai jual yang sangat murah jika hanya terbatas untuk dimanfaatkan sebagai bahan keperluan perikanan dan pertanian. Sebagai contoh adalah zeolit warna hijau yang banyak terdapat di daerah Cidadap, Kabupaten Tasikmalaya yang telah dimanfaatkan untuk keperluan pertanian dan perikanan dengan nilai jual yang rendah. Oleh karena itu untuk meningkatkan nilai jual dari zeolit hijau dilakukan serangkaian kegiatan penelitian adsorpsi zeolit hijau terhadap ion logam chrom.

Melalui tulisan ini akan dipaparkan daya adsorpsi zeolit dengan menggunakan persamaan Langmuir dan persamaan Freundlich. Ada tiga pola isotherm adsorpsi, yaitu isotherm adsorpsi Freundlich, Langmuir, dan BET (Brunauer, Emmet dan Teller). Akan tetapi, karena adsorpsi molekul atau ion pada permukaan padatan umumnya terbatas pada lapisan satu molekul (*monolayer*) maka adsorpsi tersebut mengikuti persamaan adsorpsi Freundlich dan atau Langmuir.

## 2. LANDASAN TEORI

Sorpsi adalah proses penyerapan ion oleh partikel penyerap (sorban). Proses sorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi dan absorpsi. Dinamakan proses adsorpsi jika ion tersebut tertahan dipermukaan partikel penyerap (sorban), sedangkan dinamakan absorpsi jika proses pengikatan ini berlangsung sampai di dalam partikel penyerap. Karena keduanya sering muncul bersamaan dalam suatu proses maka ada yang menyebut sorpsi, baik adsorpsi sebagai sorpsi yang terjadi pada zeolit maupun padatan lainnya. Dalam proses ini yang berperan sebagai zat penyerap adalah padatan zeolit sedangkan zat yang diserap adalah ion chrom dalam larutan [1].

Peristiwa adsorpsi yang terjadi antara zeolit dengan ion chrom dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain luas permukaan, sifat fisik dan sifat kimia adsorben. Luas permukaan zat padat dapat diperkirakan dengan menggunakan satandard tertentu tergantung sejauhmana proses adsorpsi berlangsung. Makna angka standart tertentu adalah jumlah milligram ion chrom dalam larutan yang mampu diserap oleh sejumlah miligram zeolit. Dengan demikian angka standart tertentu dapat dipandang sebagai kapasitas *monolayer* yang dapat digunakan untuk memperkirakan luas permukaan spesifik zeolit. Luas permukaan spesifik zeolit dapat dihitung dengan persamaan [3]:

$$S = (X_m / M) \cdot N \cdot A_m \cdot 10^{-20} \quad (1)$$

dimana:

- $S$  = luas permukaan spesifik ( $m^2/\text{gram}$ )
- $X_m$  = kapasitas *monolayer* per gram adsorben
- $M$  = massa molekul relatif adsorben ( $\text{gram}/\text{mol}$ )
- $N$  = bilangan Avogadro
- $A_m$  = luas yang tertutupi satu molekul adsorben pada lapisan *monolayer* sempurna

Dari persamaan tersebut diatas maka dapat diketahui bahwa pada proses adsorpsi jumlah zat yang dapat diserap oleh adsorben mempunyai perbandingan tertentu tergantung pada sifat zat yang diserap, jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Semakin besar konsentrasi larutan, semakin banyak jumlah zat terlarut yang dapat diadsorpsi sehingga tercapai keseimbangan tertentu, dimana laju zat yang diserap sama dengan zat yang dilepas dari adsorben pada suhu tertentu.

Dari variabel tersebut maka dapat dirunkan menjadi dua bentuk persamaan yang terkenal yaitu:

### 2.1. Persamaan Freundlich

Adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorben merupakan hal yang penting. Aplikasi penggunaan prinsip ini antara lain penghilangan warna larutan (*decolorizing*) dengan menggunakan batu apung (*charcoal*) dan proses pemisahan dengan menggunakan teknik kromatografi. Pendekatan isoterm adsorpsi yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Menurut Freundlich, jika  $y$  adalah berat zat terlarut per gram adsorben dan  $c$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan. Dari konsep tersebut dapat diturunkan persamaan sebagai berikut [3]:

$$X_m / m = k.C^{1/n} \quad (2)$$

$$\text{Log} ( X_m / m ) = \text{log} k + 1/n . \text{log} C \quad (3)$$

dimana:

- $X_m$  = berat zat yang diadsorpsi
- $m$  = berat adsorben (zeolit)
- $C$  = konsentrasi zat

Kemudian  $k$  dan  $n$  adalah konstanta adsorpsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Bila dibuat kurva  $\text{log} ( X_m / m )$  terhadap  $\text{log} C$  akan diperoleh persamaan linear dengan intersep  $\text{log} k$  dan kemiringan  $1/n$ , sehingga nilai  $k$  dan  $n$  dapat dihitung.

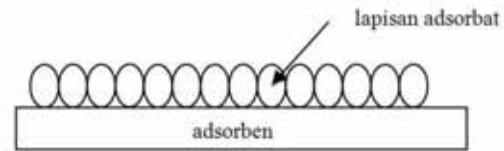
### 2.2. Persamaan Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben [3].

Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap.
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*.
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama.
4. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat.

5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan.



Gambar 1. Ilustrasi Adsorpsi dengan persamaan Langmuir

Dimana persamaan Langmuir ditulis sebagai berikut [3]:

$$X_m / m = \frac{a.C}{1 + b.c} \quad (4)$$

$$m.c / X_m = 1/a + (b/a) . C \quad (5)$$

Dengan membuat kurva  $m.c / X_m$  terhadap  $C$  akan diperoleh persamaan linear dengan intersep  $1/a$  dan kemiringan  $(b/a)$ , sehingga nilai  $a$  dan  $b$  dapat dihitung, dari besar kecilnya nilai  $a$  dan  $b$  menunjukkan daya adsorpsi.

## 3. TATA KERJA

Pada kegiatan ini dilakukan proses pengamatan adsorpsi zeolit dengan menggunakan persamaan Langmuir dan Freundlich untuk mengetahui bahwa zeolit mampu melakukan adsorpsi terhadap logam chrom. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

### 3.1. Penyiapan Zeolit

Pada penelitian ini zeolit yang digunakan untuk percobaan adalah zeolit yang diambil dari daerah Cidadap, Kecamatan Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya. Zeolit yang dipilih adalah zeolit warna hijau yang diambil dari beberapa titik penambangan. Pada penelitian ini dipilih zeolit hijau sebagai awal kegiatan penelitian karena zeolit tersebut terbukti memiliki kualitas bagus.

### 3.2. Preparasi Zeolit

Zeolit alam tidak dapat langsung digunakan karena pori-pori zeolit rapat sekali sehingga tidak dapat dimasuki ion yang lain,

oleh karena itu dilakukan proses preparasi. Preparasi zeolit alam dilakukan dengan pemanasan/aktivasi sehingga molekul air dapat keluar untuk menciptakan rongga antarmolekul. Preparasi dilakukan pada penelitian ini adalah sekitar 150°C dan ukuran butiran sampel zeolit adalah #50 mesh.

### 3.3. Pengukuran dengan AAS

Setelah diperoleh zeolit yang teraktivasi maka langkah berikutnya adalah pengukuran dengan peralatan AAS untuk melakukan analisis ion chrom VI dalam larutan. Dalam penyiapan AAS ini salah satunya adalah pembuatan larutan ion logam chrom VI dalam berbagai konsentrasi yaitu konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm sebanyak 4 buah larutan. Kemudian larutan tersebut masing-masing dianalisis dengan AAS sehingga diperoleh puncak-puncak data. Masing-masing larutan tersebut ditambahkan dengan zeolit sebanyak 0,5 gram dan diaduk dengan *stirer* selama 30 menit, kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh diukur dengan alat AAS model Analytik Jena novAA 300 pada panjang gelombang 357,9 nm, EHT 345 V, arus listrik 6,0 mA. Hasil pengukuran dalam satuan mg/L (ppm).

### 3.4. Pembuatan Grafik

Setelah dilakukan proses penyiapan bahan baku dengan mengukur larutan ion chrom hasil adsorpsi oleh zeolit maka dilakukan perhitungan dan memplotkan pada grafik dan akan diperoleh puncak-puncak data. Dari gambar grafik tersebut selanjutnya diperoleh garis ekstrapolasi berupa garis lurus dengan persamaan Freundlich dan Langmuir. Persamaan garis dihitung dengan menggunakan program Microsoft Excel diperoleh persamaan dengan *margin* penyimpangan pada angka tertentu yang dihitung berdasarkan dua persamaan yaitu Freundlich dan Langmuir. Dari kedua persamaan tersebut kemudian dilakukan pengkajian sehingga dapat disimpulkan.

### 3.5. Pembahasan dan Kesimpulan

Setelah diperoleh grafik tersebut diatas maka langkah percobaan berikutnya adalah pembahasan terhadap hasil kegiatan. Dalam penelitian ini, dilakukan kegiatan analisa data

dengan menggunakan perhitungan grafiks Freundlich dan Langmuir untuk mengolah puncak yang muncul dalam analisis AAS terhadap larutan uji yang telah diadsorpsi maupun sebelum diadsorpsi. Dengan menggunakan perhitungan berdasarkan persamaan Freundlich dan Langmuir diperoleh hasil maksimal adsorpsi.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

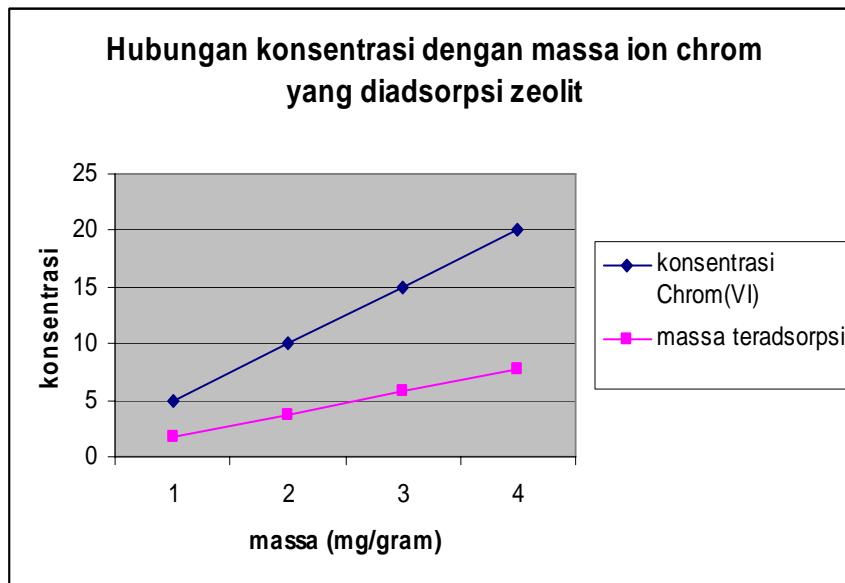
Proses penyerapan atau adsorpsi oleh suatu adsorben dipengaruhi banyak faktor dan juga memiliki pola isoterm adsorpsi tertentu yang spesifik. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses adsorpsi antara lain yaitu jenis adsorben, jenis zat yang diserap, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi dan suhu. Oleh karena faktor-faktor tersebut maka setiap adsorben yang menyerap suatu zat dengan zat lain tidak akan mempunyai pola isoterm adsorpsi yang sama. Diketahui bahwa terdapat dua jenis persamaan pola isoterm adsorpsi yang sering digunakan pada proses adsorpsi dalam larutan yaitu persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada proses penyerapan ion logam Chrom (VI) oleh Zeolit. Metode yang digunakan untuk mengukur proses adsorpsi logam Chrom (VI) adalah metode Spektroskopi Serapan Atom (AAS) tipe AnalytikaJena novAA 300. Hasil pengukuran dari AAS kemudian dianalisis lebih lanjut berdasarkan rumus empiris dari persamaan Langmuir dan Freundlich. Hasil perhitungan seperti terlihat pada Tabel 1 dan 2.

**Tabel 1. Jumlah Ion Chrom (VI) yang teradsorpsi oleh zeolit pada beberapa konsentrasi variasi**

No	Cr <sup>6+</sup> awal ( ppm )	Cr <sup>6+</sup> setimbang ( ppm )	Cr <sup>6+</sup> teradsorpsi ( ppm )	Xm/m (mg/gr)
1	5	4,11	0,89	1,78
2	10	8,15	1,85	3,70
3	15	12,13	2,87	5,74
4	20	16,14	3,86	7,17

Hubungan antara konsentrasi larutan terhadap massa ion logam chrom yang teradsorpsi per 1 gram zeolit ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah.



Gambar 1. Hubungan konsentrasi larutan dengan massa ion logam chrom yang diadsorpsi zeolit

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi dari ion logam chrom (VI) maka semakin besar pula massa ion logam chrom yang teradsorpsi oleh zeolit. Untuk konsentrasi 5 ppm dari larutan ion logam Cr, massa ion logam chrom (VI) yang teradsorpsi adalah 1,78 mg oleh 1 gram zeolit, untuk konsentrasi 10 ppm sebesar 3,70 mg/gram dan konsentrasi 15 ppm sebesar 5,74 mg/gram zeolit. Massa terbesar dari ion logam chrom teradsorpsi oleh zeolit adalah pada konsentrasi 20 ppm yaitu sebesar 7,71 mg ion logam chrom yang terserap oleh setiap 1 gram zeolit. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi larutan, semakin banyak jumlah zat terlarut yang dapat diadsorpsi sehingga tercapai keseimbangan tertentu, dimana laju zat yang diserap sama dengan zat yang dilepas dari adsorbent pada suhu tertentu [1].

Pengujian pola isoterm adsorpsi yang sesuai untuk proses penyerapan ion logam chrom (VI) oleh zeolit dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan Langmuir dan Freundlich. Uji persamaan Langmuir dilakukan dengan menggunakan persamaan 6 [3].

$$Ce/(x/m) = 1/ab + 1/a Ce \quad (6)$$

Sedangkan untuk uji persamaan Freundlich dilakukan pengujian menggunakan persamaan 7 [3].

$$\text{Log } (x/m) = \log k + 1/n \log Ce \quad (7)$$

dimana:

- $C_e$  = konsentrasi ion Cr (VI) dalam larutan setelah diadsorpsi
- $x/m$  = massa ion Cr (VI) yang diserap per gram zeolit
- $b$  = parameter afinitas atau konstanta Langmuir
- $a$  dan  $k$  = kapasitas / daya adsorpsi maksimum (mg/gram)

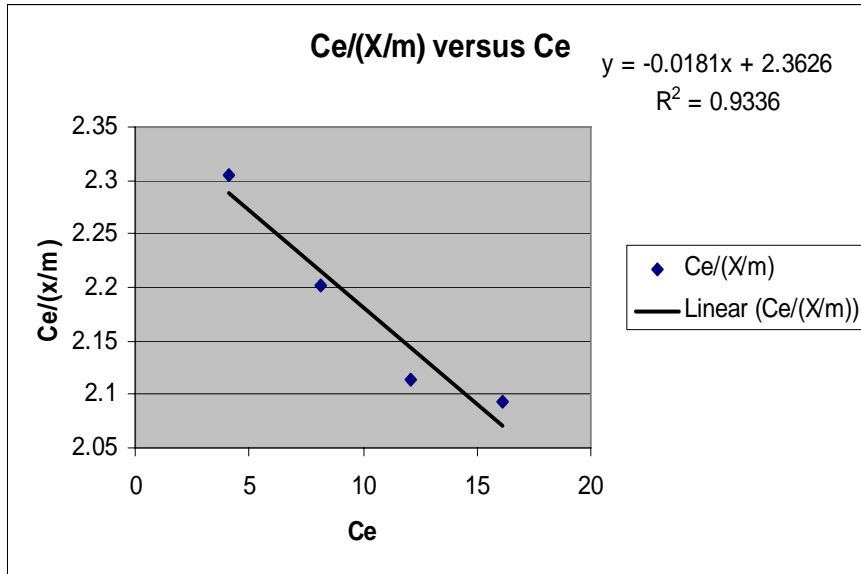
Nilai  $a$  dan  $k$  menunjukkan kapasitas dari adsorpsi ion logam chrom (VI) oleh zeolit, makin besar nilai  $a$  pada persamaan Langmuir Isoterm dan  $k$  pada persamaan Freundlich Isoterm menunjukkan kapasitas adsorpsi makin besar pula. Nilai  $1/ab$  dan  $\log k$  tentunya sangat dipengaruhi oleh temperatur sehingga mempengaruhi laju adsorpsi.

Untuk menentukan persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich maka dihitung harga  $x/m$ ,  $C_e/(x/m)$ ,  $\log C_e/(x/m)$  dan  $\log C_e$  seperti yang terlihat pada Tabel 2.

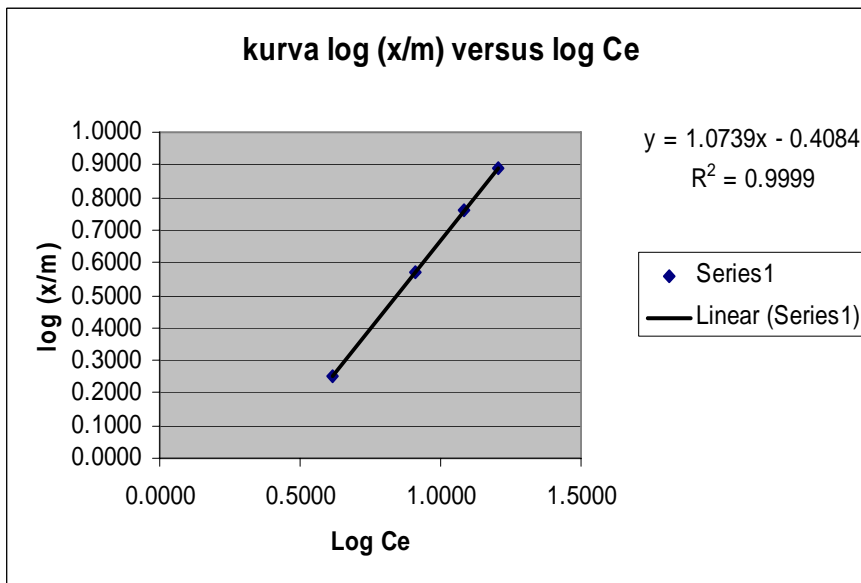
Dari Tabel 2 maka dilakukan pemetaan grafik menggunakan Excel dengan memplotkan harga  $C_e/(x/m)$  versus  $C_e$  untuk mendapatkan persamaan Langmuir dan memplotkan  $\log (x/m)$  versus  $\log C_e$  untuk mendapatkan persamaan Freundlich. Hasil pemetaan dengan grafik seperti terlihat pada Gambar 2 dan 3 di bawah ini.

Tabel 2. Perhitungan harga  $x/m$ ,  $Ce/(x/m)$ ,  $\log(x/m)$  dan  $\log Ce$

No	$C_{Cr(VI) \text{ awal}}$ (ppm)	$C_e$ (ppm)	$X/m$ (mg/gr)	$C_e/(X/m)$	$\log(x/m)$	$\log C_e$
1	5	4.11	1.78	2.3058	0.2509	0.2509
2	10	8.15	3.70	2.2027	0.5682	0.5682
3	15	12.13	5.74	2.1132	0.7589	0.7589
4	20	16.14	7.71	2.0934	0.8872	0.8872



Gambar 2. Persamaan adsorpsi isoterm Langmuir dari  $Ce/(x/m)$  versus  $C_e$



Gambar 3. Persamaan adsorpsi isoterm Freundlich dari  $\log(x/m)$  versus  $\log C_e$

Pengujian persamaan adsorpsi Langmuir dan juga persamaan adsorpsi Freundlich dibuktikan dengan grafik linierisasi yang baik dan mempunyai harga koefisien determinasi  $R^2 \geq 0.9$  (mendekati angka 1). Dari Gambar 1 dan 2 terlihat bahwa persamaan adsorpsi ion Cr (VI) oleh zeolit hijau memenuhi persamaan adsorpsi Langmuir dengan  $R^2 = 0,93$  dan juga persamaan adsorpsi Freundlich dengan  $R^2 = 0,99$ .

Hal ini menunjukkan bahwa persamaan Langmuir dan Freundlich dapat diterapkan pada proses adsorpsi ion logam chrom (VI) oleh zeolit. Diperoleh persamaan Langmuir  $Ce/(x/m) = -0,0181Ce + 2,3626$  dan persamaan Freundlich  $\log (x/m) = 1,0739\log Ce - 0,4084$  serta harga konstanta dari kedua persamaan tersebut seperti terlihat pada Tabel 3 di bawah ini.

**Tabel 3. Harga konstanta Langmuir dan Freundlich**

Isoterm	Konstanta	Harga
Langmuir	a	52,25
	b	0,0081
Freundlich	k	2,561
	n	0,9312

Model persamaan Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan sisi bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap sisi dimana proses adsorpsi di tiap-tiap sisi adsorpsi mengikuti isoterm Langmuir. Oleh karena itu penentuan daya adsorpsi maksimum zeolit pada proses penyerapan logam chrom (VI) dihitung dengan menggunakan persamaan adsorpsi Langmuir karena dilakukan terhadap lapisan tunggal zat yang teradsorpsi dari ion logam chrom (VI) pada setiap permukaan zeolit dalam satuan mg ion logam chrom yang teradsorp/gram zeolit. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya adsorpsi maksimum adalah 52,25 mg /gram.

## 5. KESIMPULAN

1. Semakin besar konsentrasi dari ion logam chrom (VI) maka semakin besar pula massa ion logam chrom yang teradsorpsi oleh zeolit. Massa terbesar dari ion logam chrom

teradsorpsi oleh zeolit adalah pada konsentrasi 20 ppm yaitu sebesar 7,71 mg ion logam chrom yang terserap oleh 1 gram zeolit.

2. Proses adsorpsi ion logam chrom (VI) oleh zeolit memenuhi persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.
3. Penentuan kapasitas adsorpsi zeolit terhadap limbah chrom (VI) yang paling sesuai adalah dengan menggunakan persamaan adsorpsi Langmuir dibandingkan dengan persamaan adsorpsi Freundlich. Daya adsorpsi maksimum zeolit terhadap penyerapan limbah chrom (VI) adalah 52,25 mg/gram.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. **MATTEL, C.L.**, "Adsorption", 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill Company Inc., New York (1991).
2. **MINCEVA, M., MARKOVSKA, L. and MESHKO, V.**, Removal of Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> from binary aqueous solution by natural zeolite and granulated activated carbon, *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 26:2 (2007) 125-134.
3. **MULYANA, L., PRADIKO, H. dan NASUTION, K.**, Pemilihan persamaan adsorpsi isotherm pada penentuan kapasitas adsorpsi kulit kacang tanah terhadap zat warna remazol golden yellow 6, *Infomatek Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik – Universitas Pasundan* (2003) 131-143.
4. **SUARDANA, I.N.**, Optimalisasi daya adsorpsi zeolit terhadap ion chrom (III), *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains dan Humaniora* 2:1 (2003) 17-33.
5. **AMRI, M., SUPRANTO dan FAHRUROZI, M.**, Keseimbangan adsorpsi optional campuran biner Cd(II) dan Cr (III) dengan zeolit alam terimpregnasi 2-merkaptobenzotiazol, *Jurnal Natur Indonesia*, 6:2 (2004) 111-117.
6. **AZIZAH, N., ASTUTI, E.D. dan HENY PUSPITA.** Uji kemampuan karbon aktif dari limbah kayu industri mebel kota semarang sebagai absorbent untuk penyisihan fenol, *PKMP Universitas Negeri Semarang* (2008).