

## **STUDI KINETIKA PENJERAPAN ION KHROMIUM DAN ION TEMBAGA MENGGUNAKAN KITOSAN PRODUK DARI CANGKANG KEPITING**

**Ajeng Tanindya A (L2C606004) dan Dina Fitriasti (L2C606016)**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058  
Pembimbing : Ir. Hargono, MT

### **Abstrak**

*Cangkang kulit kepiting yang banyak mengandung protein dan zat kitin dapat diolah menjadi kitosan yang memiliki banyak kegunaan. Kitosan adalah biopolimer alami yang dapat dirombak secara biologis. Tujuan penelitian ini adalah mencari data kinetika adsorpsi yaitu data tentang kapasitas kitosan dalam menyerap logam chromium dan tembaga sebagai fungsi waktu. Proses pembuatan kitosan meliputi empat tahap yaitu deproteinasi, demineralisasi, decolorisasi, dan deasetilasi. Hasil penelitian menunjukkan kualitas kitosan memiliki derajat deasetilasi sebesar 70,4 %. Variabel yang digunakan adalah penambahan (10 dan 20 gr kitosan) terhadap jenis logam berat (Cu, Cr, dan limbah gabungan Cu dan Cr). Hasil uji aplikasi kitosan sebagai adsorben ion Cu dan Cr menunjukkan bahwa pada larutan Cu (10 gr kitosan menyerap 99,81 % dan 20 gr kitosan menyerap 99,95 %) sedangkan pada larutan Cr (10 gr kitosan menyerap 99,44 % dan 20 gr kitosan menyerap 99,61 %). Setelah proses adsorpsi, dilakukan regenerasi kitosan agar kitosan yang telah digunakan untuk menyerap logam berat dapat digunakan kembali. Untuk proses regenerasi kitosan dilakukan dengan cara desorpsi menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dengan perbandingan kitosan dan  $H_2SO_4$  adalah 1:50 dengan pengadukan selama 24 jam. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan Langergen kinetika orde satu semu dan orde dua semu. Diperoleh hasil bahwa kinetika kitosan dalam menyerap logam lebih mendekati pada model persamaan orde dua semu.*

**Kata kunci** : adsorpsi, cangkang kepiting, kitin, kitosan, logam berat

### **Abstract**

*Skin crab which contains proteins and substances can be processed into chitin become chitosan has many uses. Chitosan is natural that can biopolymer biologically altered. The purpose of this research is to find the kinetics of adsorption data about the capacity of the chitosan adsorb lead and chroCu and Cr as a function of time. Chitosan making process includes four phases namely deproteination, demineralization, decolorization, and deacethylation. The results showed deasetylation degree of chitosan has 70.4%. Variable used is the number chitosan added (10 and 20 gr chitosan) of heavy metals (Cu, Cr, and multicomponent solution). Chitosan application of the test results as adsorbent, Cu and Cr ions shows that the Cu solution (10 gr chitosan can adsorb 99,81% and 20 gr chitosan can adsorb 99,95%), while in Cr solution (10 gr chitosan can adsorb 99,44% and 20 gr chitosan can adsorb 99,61%) After the adsorption process, this research processed chitosan regeneration so the chitosan after used to adsorb heavy metals can be used again. For the regeneration chitosan can be done desorb by using a solution of sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) with chitosan and  $H_2SO_4$  ratio is 1:50 with stirring for 24 hr. The test indicated by equation pseudo-order kinetics and pseudo second order and obtained the result that the kinetics of metal chitosan in closer to adsorb on model of pseudo second order equation.*

**.Key words** : adsorption, crab shell, chitin, chitosan, heavy metals

## 1. PENDAHULUAN

Selama ini pemanfaatan kepiting hanya terbatas sebagai kebutuhan pangan saja. Pemanfaatan limbah cangkang kepiting kurang begitu diperhatikan karena jumlah limbah yang cukup besar, maka perlu diupayakan pemanfaatan limbah kepiting secara non konvensional padahal cangkang kepiting dapat dibuat kitosan.

Beberapa negara mencoba mengatasi hal ini dengan memanfaatkannya sebagai bahan dasar pembuatan kitin dan kitosan. Kitosan dan turunannya dapat digunakan untuk berbagai keperluan dalam bidang medis, pangan ataupun lingkungan. Kitosan dihasilkan dari udang dan kepiting dengan melakukan deasetilasi (penghilangan gugus asetil) kitin menggunakan alkali kuat pada suhu tinggi dalam waktu lama kitosan dapat digunakan sebagai penjerap logam berat. Logam berat berasal dari limbah industri penyamakan kulit, pelapisan logam, fotografi, dan dapat membahayakan lingkungan. Limbah ini bersifat akumulatif dalam tubuh manusia, sehingga membahayakan kesehatan manusia.

Salah satu cara untuk mengurangi kadar limbah logam berat yaitu dengan adsorpsi, dengan cara limbah dilewatkan ke suatu media penjerap dan terjadi proses penjerapan logam berat di permukaan adsorben kitosan.

## 2. UJI DATA PERCOBAAN DENGAN MODEL MATEMATIS

1. Persamaan kecepatan reaksi orde satu semu Lagergren

Persamaan umum:

$$\frac{dq}{dt} = k_{s1} (q_{eq} - q)$$

Setelah dilakukan integrasi dengan kondisi batas, untuk  $t=0, q=0$  bentuknya menjadi:

$$\log (q_{eq} - q) = \log (q_{eq}) - \frac{k_{s1}}{2,303} t$$

2. Persamaan kecepatan orde dua semu

Jika kecepatan adsorpsi adalah mekanisme orde dua, maka persamaan kinetika kecepatan *chemisorptions* orde dua semu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{dq}{dt} = k (q_{eq} - q)^2$$

Pengintegrasian persamaan (6) dengan kondisi batas  $t=0, q=0$  didapat:

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{kq_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t$$

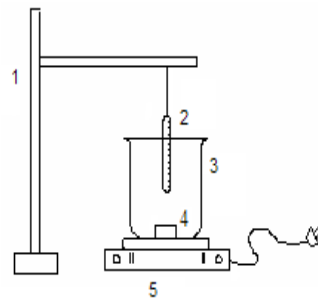
Intersept dari linearisasi persamaan kecepatan orde dua semu adalah konstanta kecepatan orde dua,  $k$ .

Untuk kedua persamaan orde reaksi data yang dibutuhkan adalah konsentrasi logam yang terserap ( $q$ ) dan konsentrasi logam yang terserap pada saat setimbang ( $q_{eq}$ ). Pada saat percobaan kitosan dimasukkan dalam larutan tembaga dan larutan khromium. Sebelum mengalami pengadukan, menghitung terlebih dahulu konsentrasi awal larutan dengan metode AAS. Setelah itu, menghitung konsentrasi larutan tiap rentang waktu 60 menit selama enam jam. Dari data konsentrasi larutan tersebut dapat diketahui besarnya konsentrasi logam yang terjerap oleh kitosan yaitu selisih antara konsentrasi awal dengan konsentrasi waktu yang diinginkan.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian adalah cangkang kepiting, limbah buatan berupa larutan Cr, limbah



Keterangan :

1. Statif dan klem
2. Termometer
3. Beaker glass
4. Magnetic Stirrer
5. Kompor listrik
6. Termostat

Gambar 1 Rangkaian Alat Proses Demineralisasi, Deproteinasi, Deasetalisasi dan Adsorpsi Logam Berat.

### 3.2 Cara Kerja

#### Tahap Isolasi kitin

Cangkang kepiting setelah dikeringkan, dihaluskan, dan disaring dengan ayakan. Cangkang kepiting dideproteinasi menggunakan larutan NaOH 10 % volume dengan perbandingan 1 :10 (gram/ml) dengan pengadukan konstan 700 rpm dan pemanasan pada suhu 60<sup>0</sup>C selama 120 menit. Setelah dipisahkan dari larutannya, cangkang dicuci hingga netral dan dikeringkan dalam oven. Padatan kering hasil deproteinasi selanjutnya didemineralisasi dengan larutan HCL 1 N dengan perbandingan 1:10 (gram/ml) pengadukan konstan 700 rpm pada suhu kamar selama 1 jam. Setelah disaring, padatan dicuci dengan air hingga netral dan dikeringkan dalam oven untuk mendapatkan kitin kering.

#### Tahap Deasetalisasi kitin menjadi kitosan

Kitin kering merupakan bahan baku pembuatan kitosan melalui proses deasetalisasi. Proses deasetalisasi dilakukan dengan cara pemanasan kitin dalam larutan NaOH 1 M dengan perbandingan 1 :15 (gram/ml) dengan pengadukan konstan 700 rpm dan pemanasan pada suhu 90<sup>0</sup>C selama 60 menit. Padatan hasil penyaringan dicuci dengan air hingga netral dan dikeringkan dalam oven. Produk yang diperoleh dari proses ini dinamakan kitosan dan selanjutnya diukur derajat deasetalisasinya dengan menggunakan FTIR.

#### Tahap adsorpsi

Serbuk kitosan sebanyak 10 gram ditambahkan dengan larutan logam berat sebanyak 1000 ml. Dalam penelitian ini logam berat yang kami gunakan ada 3 variabel yaitu larutan Cu, larutan Cr dan larutan gabungan Cu dan Cr. Campuran diaduk dengan kecepatan 700rpm, tiap 1 jamnya hingga 6 jam diambil filtratnya yang kemudian akan diukur kadar ion Cu nya dan ditentukan % penjerapannya. Pengukuran kadar logam berat dalam larutan sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometric ((AAS). Percobaan diulangi dengan penambahan kitosan sebanyak 20 gram.

#### Tahap desorpsi

Proses regenerasi chitosan untuk memperoleh kembali logam yang telah terjerap di dalam chitosan melalui proses desorpsi. Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali ion atau molekul yang telah berikatan dengan gugus aktif pada adsorben. Proses ini menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai zat pelarut. Kitosan yang telah digunakan dilarutkan kedalam 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selama 24 jam. Setelah itu hasil kitosan disaring dan filtratnya diuji kembali menggunakan AAS.

### 4. Cara Penelitian

Penerapan hasil penelitian terhadap dua persamaan kinetika dilakukan dengan metode Matlab. Untuk kedua persamaan orde reaksi data yang dibutuhkan adalah konsentrasi logam yang terserap (q) dan konsentrasi logam yang terserap pada saat setimbang (q<sub>eq</sub>). Pada saat percobaan kitosan dimasukkan dalam larutan Chromium dan tembaga. Sebelum mengalami pengadukan, menghitung terlebih dahulu konsentrasi awal larutan dengan metode AAS. Setelah itu, menghitung konsentrasi larutan tiap rentang

waktu 30 menit sampai mencapai kesetimbangan (kondisi konstan). Dari data konsentrasi larutan tersebut dapat diketahui besarnya konsentrasi logam yang terjerap oleh kitosan yaitu selisih antara konsentrasi awal dengan konsentrasi waktu yang diinginkan.

## 5. Hasil Penelitian dan Pembahasan

### 5.1 Kitin yang Diperoleh

Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa kitin yang dapat dihasilkan dari cangkang kepiting mempunyai spesifikasi kadar air 6,47 % ; kadar abu 3,37% ; dan kadar nitrogen 7,35%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kitin yang telah diperoleh dari penelitian memenuhi baku mutu standar kitin dan dapat diolah lebih lanjut menjadi kitosan.

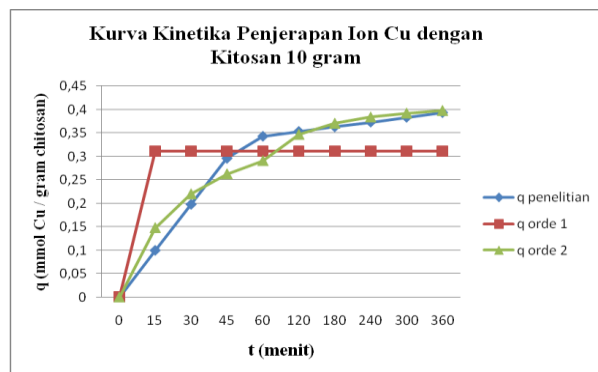
### 5.2 Kitosan yang Diperoleh

Hasil analisa kitosan, menunjukkan bahwa kitosan yang diperoleh dari hasil penelitian memiliki kadar air 3,52% ; kadar abu 1,92% ; kadar nitrogen 8,19% ; dan derajat deasetilasi sebesar 70,4%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kitosan yang telah diperoleh dari penelitian memenuhi baku mutu standar kitosan dan dapat digunakan pada proses selanjutnya. Kitosan yang telah dihasilkan digunakan sebagai adsorben untuk menjerap logam Cu dan Cr untuk kemudian dilakukan studi kinetika penjerapannya.

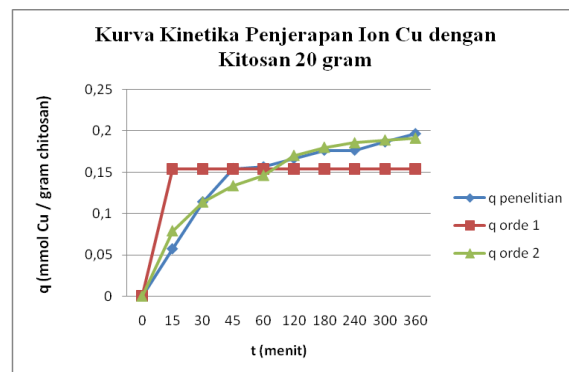
### 5.3 Pengaruh waktu adsorpsi, berat kitosan dan jenis logam terhadap penjerapan logam.

Tabel 1 Pengaruh waktu adsorpsi dan berat kitosan terhadap kadar tembaga untuk 10 gr kitosan/1liter larutan Cu dan 20 gr kitosan/1 liter larutan Cu

No.	Waktu adsorpsi (menit)	10 gram kitosan		20 gram kitosan	
		Kadar Cu (ppm)	% Penjerapan	Kadar Cu (ppm)	% Penjerapan
1.	0	250	0	250	0
2.	15	186,93	25,23	177,25	29,1
3.	30	124,62	50,15	104,83	58,07
4.	45	62,33	75,07	53,62	78,55
5.	60	0,77	99,69	0,34	99,86
6.	120	0,65	99,74	0,18	99,92
7.	180	0,63	99,75	0,17	99,93
8.	240	0,57	99,77	0,15	99,94
9.	300	0,53	99,78	0,13	99,95
10.	360	0,47	99,81	0,13	99,95



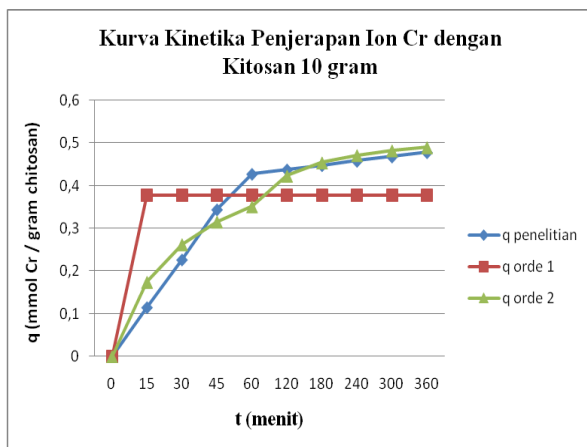
Gambar 2 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Cu menggunakan 10 gr Kitosan/1 lt larutan Cu



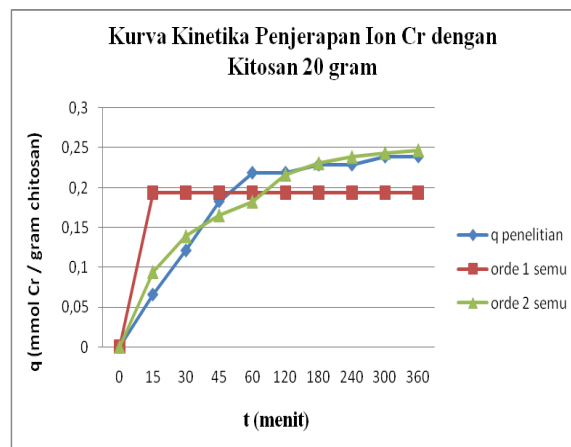
Gambar 3 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Cu menggunakan 20 gr Kitosan/1 lt larutan Cu

Tabel 2 Pengaruh waktu adsorpsi terhadap kadar khrom untuk 10 gr kitosan/1 liter larutan Cu dan 20 gr kitosan/1 liter larutan Cr

No.	Waktu adsorpsi (menit)	10 gram kitosan		20 gram kitosan	
		Kadar Cr (ppm)	% Penjerapan	Kadar Cr (ppm)	% Penjerapan
1.	0	250	0	250	0
2.	15	190,27	23,89	181,49	27,40
3.	30	132,15	47,14	123,85	50,46
4.	45	71,06	71,58	59,47	76,21
5.	60	1,77	99,29	1,34	99,46
6.	120	1,69	99,32	1,27	99,49
7.	180	1,63	99,35	1,25	99,50
8.	240	1,54	99,38	1,17	99,53
9.	300	1,49	99,40	1,06	99,58
10.	360	1,41	99,44	0,98	99,61



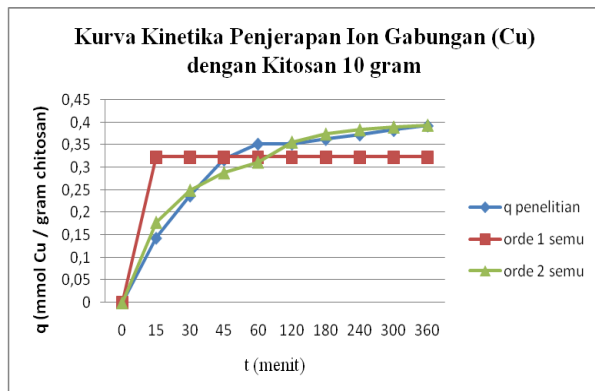
Gambar 4 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Cr menggunakan 10 gram Kitosan/1 liter larutan Cr.



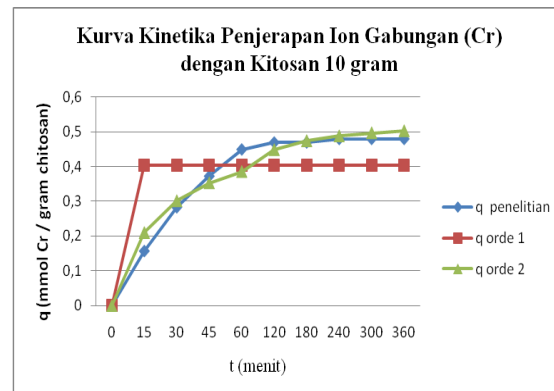
Gambar 5 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Cr menggunakan 20 gram Kitosan/1 liter larutan Cr.

Tabel 3 Pengaruh waktu adsorpsi terhadap kadar khrom dan tembaga untuk 10 gr kitosan/1 liter larutan Cu dan Cr

No.	Waktu Adsorpsi (menit)	Khrom		Tembaga	
		Kadar (ppm)	% Penjerapan	Kadar (ppm)	% Penjerapan
1.	0	250	0	250	0
2.	15	168,26	32,7	158,91	36,44
3.	30	102,73	58,91	99,42	60,23
4.	45	56,19	77,52	48,64	80,54
5.	60	0,66	99,74	0,55	99,78
6.	120	0,61	99,76	0,53	99,79
7.	180	0,54	99,78	0,47	99,81
8.	240	0,51	99,79	0,44	99,82
9.	300	0,45	99,82	0,39	99,84
10.	360	0,43	99,83	0,37	99,85



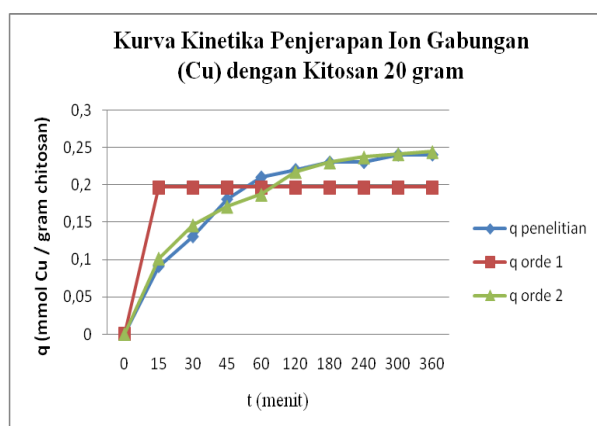
Gambar 6 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Limbah Gabungan (Cu) menggunakan 10 gram Kitosan/1 liter larutan Cu dan Cr.



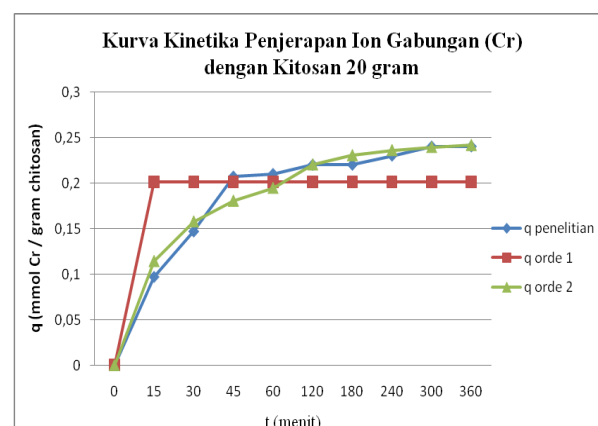
Gambar 7 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Limbah Gabungan (Cu) menggunakan 10 gram Kitosan/1 liter larutan Cu dan Cr.

Tabel 4 Pengaruh waktu adsorpsi terhadap kadar khrom dan tembaga untuk 20 gr kitosan/1 liter larutan Cu dan Cr

No.	Waktu Adsorpsi (menit)	Khrom		Tembaga	
		Kadar (ppm)	% Penjerapan	Kadar (ppm)	% Penjerapan
1.	0	250	0	250	0
2.	15	149,17	40,33	134,68	46,13
3.	30	97,28	61,09	83,86	66,46
4.	45	34,61	86,16	20,53	91,78
5.	60	0,37	99,85	0,26	99,89
6.	120	0,32	99,87	0,22	99,91
7.	180	0,28	99,89	0,19	99,92
8.	240	0,23	99,91	0,17	99,93
9.	300	0,21	99,92	0,13	99,95
10.	360	0,18	99,93	0,11	99,96



Gambar 8 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Limbah Gabungan (Cu) menggunakan 20 gram Kitosan/1 liter larutan Cu dan Cr



Gambar 9 Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Penjerapan Limbah Gabungan (Cr) menggunakan 20 gram Kitosan/1 liter larutan Cu dan Cr.

### Pengaruh Waktu terhadap Pejerapan Kitosan

Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa semakin lama waktu penjerapannya maka semakin banyak logam yang terjerap. Pada proses penjerapan logam baik logam Cu diperoleh besar prosentase penjerapan yang cenderung konstan setelah menit ke-60. Hal ini disebabkan hingga waktu adsorpsi 60 menit, kitosan masih aktif dan belum jenuh oleh logam Cu. Namun, setelah 60 menit, kitosan telah jenuh dan kemampuan mengikat logamnya pun berkurang. Setelah 60 menit, penurunan kadar Cu kecil sekali sehingga tidak efektif untuk dilakukan karena menjadi tidak ekonomis. Jadi waktu optimum adsorpsi larutan tembaga adalah 60 menit. Demikian pula dengan proses penjerapan logam Cr yang mencapai titik konstan setelah menit ke-60. Sehingga waktu optimum adsorpsi larutan khrom adalah 60 menit.

### Pengaruh Berat Kitosan terhadap Penjerapan Logam

Dengan menggunakan AAS sebagai analisa awal kandungan logam berat tembaga (Cu) adalah 250 ppm. Untuk variable 1 ditambahkan kitosan seberat 10 gram selama 6 jam, sehingga kandungan logam berat pada larutan tembaga menjadi 0,47 ppm dengan prosentase penjerapan 99,81 %. Sedangkan bila penambahkan kitosan seberta 20 gram sisa kandungan logam menjadi 0,13 ppm dengan prosentase penjerapan 99,95 %.

Untuk larutan chrom (Cr) analisa awal sebesar 250 ppm, pada variabel 1 diperoleh kandungan logam berat sebesar 1,41 ppm dengan prosentase penjerapan 99,44 %. Sedangkan bila penambahkan kitosan seberat 20 gram sisa kandungan logam menjadi 0,98 ppm dengan prosentase penjerapan 99,61 %.

Dari hasil tersebut, diperoleh hasil bahwa kandungan logam berat tembaga (Cu) dan chrom (Cr) untuk penambahan kitosan 20 gram lebih banyak terjerap dibandingkan dengan penambahan kitosan seberat 10 gram. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya jumlah kitosan maka semakin besar pula kemampuan mengikat ion-ion logam berat dan mengadsopsi bahan.

### Pengaruh Jenis Logam terhadap Penjerapan Kitosan

Dari hasil analisa menggunakan AAS terlihat bahwa jenis logam tembaga (Cu) lebih mudah terserap dibandingkan dengan jenis logam khrom (Cr). Hal ini disebabkan karena jari-jari atom Cu lebih kecil daripada chrom (Cr). Dimana jari-jari atom Cu adalah 1,17 Å dan jari-jari atom Cr sebesar 1,18 Å. Daya jerap kitosan lebih besar pada logam yang memiliki jari-jari ion lebih kecil. Dimana semakin besar jari-jari atomnya maka semakin kecil harga energi ionisasinya sehingga semakin mudah suatu unsur untuk melepaskan elektron. Jika suatu unsur mudah melepaskan elektron maka kekuatan ikatan logamnya semakin kuat.

Perbandingan antara Larutan logam Individu dan Gabungan terhadap Daya Jerap Kitosan

Dari grafik terlihat bahwa daya jerap kitosan terhadap logam Cr dan Cu pada limbah gabungan lebih besar daripada limbah simulasi. Hal ini disebabkan pada saat proses, terjadi tumbukan antarlogam yang membuat jari-jari atom logam menjadi lebih kecil. Semakin kecilnya jari-jari atom ini akan memperkecil ikatan logam sehingga kemampuan kitosan menjerap logam lebih besar.

## 5.4 Regenerasi Kitosan

**Tabel 5 Hasil penggunaan pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap ion logam berat (Cu dan Cr) selama 24 jam pengadukan**

No.	Jenis Logam	Kadar awal (ppm)	Kadar setelah regenerasi (ppm)	% Penjerapan desorpsi
1.	Khromium	250 ppm	206,2 ppm	82,48 %
2.	Tembaga	250 ppm	229,38 ppm	91,75 %
3.	Khromium dan Tembaga (Limbah Gabungan)			
	a. Khromium	119,87	96,57 ppm	80,56 %
	b. Tembaga	118,63	97,48 ppm	82,17 %

Proses regenerasi kitosan untuk memperoleh kembali logam yang telah terjerap di dalam kitosan melalui proses desorpsi. Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali ion atau molekul yang telah berikatan dengan gugus aktif pada adsorben. Proses ini menggunakan larutan  $H_2SO_4$  sebagai zat pelarut. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kemampuan  $H_2SO_4$  0,1 M sebagai zat pelarut mampu menyerap kembali ion logam Cu dan Cr dari kitosan. Untuk ion logam Cr sebesar 82,48 % penyerapan, ion logam Cu sebesar 91,75 % penyerapan dan ion logam gabungan Cu dan Cr sebesar 81,37 %

#### 5. 5 Model Matematika

Dalam penelitian ini menggunakan dua persamaan model kinetika yakni pengujian dengan persamaan orde satu semu dan persamaan orde dua semu. Pada hasil persamaan orde satu semu lebih menunjukkan kelinieran kinetika penyerapan kitosan. Sedangkan pada pengujian dengan persamaan orde dua semu, data yang dihasilkan lebih cenderung mendekati pada data hasil penelitian. Dari data hasil penelitian diperoleh bahwa  $SSE = 0.0011278$  pada persamaan orde dua semu cenderung lebih kecil dibanding pada orde satu semu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kinetika penyerapan kitosan lebih tepat dengan persamaan orde dua semu.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa:

1. Derajat deasetilasi yang dihasilkan kitosan sesuai dengan standar baku kitosan yaitu sebesar 70,4%
2. Semakin banyak jumlah kitosan yang digunakan maka konstanta kecepatan penyerapan logam semakin besar.
3. Dalam program matlab terlihat bahwa kinetika penyerapan kitosan cenderung mendekati persamaan kinetika orde dua semu

#### DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

$q_{eq}$  : jumlah material yang teradsorpsi per unit berat adsorban pada keseimbangan (mmol/g)

$q$  : jumlah material yang teradsorpsi per unit berat adsorban pada waktu  $t$  (mmol/g)

$k_{s1}$  : konstanta kecepatan adsorpsi orde satu semu (l/min)

$k$  : konstanta kecepatan adsorpsi orde dua semu (g / mmol min)

#### DAFTAR PUSTAKA

- Mencalf, Leonard, *“Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal”* In series *Water Resources and Environment Engineering*, Mc Graw Hill Book Inc, US of America, 1972
- Muzzarelli, R.A.A., *“Chitin in the Polysaccharides”* vol 3, p.147. Aspinall (ed) Academic press Inc., Orlando, San Diego, 1985.
- Purwanto dan Syamsul Huda, *“Teknologi Industri Elektroplating”*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang, 2005
- R Schmuhl, HM Krieg and Keizer, *“Adsorption of Cu(II) and Cr(VI) ions by chitosan: Kinetics and equilibrium studies”*, School for Chemistry and Biochemistry, Potchefstroom University for Christian Higher Education, Potchefstroom 2531, South Africa, 2001.
- R.S. Vieira, E. Guibal *Adsorption and desorption of binary mixtures of copper and mercury ions on natural and crosslinked chitosan membranes*. Springer Science Business Media, LLC 2007
- Sag. Yesim, Aktay Yucel, Kinetic studies on sorption of Cr(VI) and Cu(II) ions by *Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Hacettepe University, 06532 Beytepe, Ankara, Turkey* Received 17 July 2001; accepted after revision 16 May 2002
- Srijanto, Bambang, *“Kajian Pengembangan Teknologi Proses Produksi Kitin dan Kitosan secara Kimiawi”*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, 2003
- [www.wikipedia.com/sumber\\_kitosan](http://www.wikipedia.com/sumber_kitosan)
- [www.google.com/limbah\\_tembaga](http://www.google.com/limbah_tembaga)
- Zakaria, Zainoha, *“Lactic Acid Purification of Chitin from Prawn Waste Using a Horizontal Rotating Bioreactor”*, Doctoral Thesis, Loughborough University, 1997.