

KINETIKA DAN KESEIMBANGAN ADSORPSI ION KROMIUM (III) DALAM LARUTAN PADA SENYAWA SILIKA DAN MODIFIKASI SILIKA HASIL SINTESIS DARI ABU SEKAM PADI

Siti Sulastri, Nuryono, Indriana Kartini, Eko Sri Kunarti

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta
Jln Colombo No. 1, Yogyakarta
email: sulastrisunarto@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji sifat beberapa adsorben senyawa silika dan modifikasi silika dalam interaksinya dengan suatu adsorbat yaitu ion Cr(III). Kajian diawali dengan menentukan keberadaan ion Cr(III) dalam larutan pada berbagai harga pH dan keberadaan adsorben pada berbagai harga pH, proses adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan oleh berbagai adsorben tersebut pada harga pH yang bervariasi. Berdasarkan data yang diperoleh beserta beberapa perhitungan dapat dinyatakan bahwa berbagai adsorben mempunyai langgam protonasi – de protonasi yang berlainan. Keberadaan ion logam Cr(III) secara teoretis terdiri atas berbagai spesies yang jumlahnya tergantung pH larutan, dan dalam faktanya ion kromium hanya ada pada pH yang lebih rendah dari 5. Adsorpsi untuk mengkaji kinetika maupun keseimbangan dilakukan pada pH 5. Masing-masing adsorben mempunyai model kinetika yang berbeda. Semua adsorben mempunyai kesesuaian dengan model isoterm Langmuir 2, dan pada kondisi tersebut mengalami adsorpsi ion Cr(III) yang bersifat favorabel. Harga Q_{maks} tertinggi adalah pada HSSN. Pada model isoterm Freundlich dapat dinyatakan bahwa semua adsorben bersifat favorabel untuk proses adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan.

Kata kunci adsorpsi, favorabel, silika, ion kromium (III)

Abstract

This study will examine the nature of silica and modified silica in the interaction with Cr (III) ion as an adsorbate. Properties that will be studied are kinetics and equilibrium of Cr (III) adsorption in solution. Studies begins with determining the existence of Cr (III) ion in solution at various pH values, the presence of adsorbent at various pH values, and the adsorption of Cr (III) ion in solution by the adsorbent at various pH values. Based on this data set also can determined some values, e.g the maximum adsorption capacity (notated as Q_{max}), and the equilibrium constant, the RL value that determined the nature of adsorption were favorable or not favorable. Similarly to the Freundlich isotherm. Adsorption kinetic and equilibrium were performed at pH 5. Each adsorbent has a different kinetic model. All of adsorbents has compatibility with Langmuir 2 isotherm model, and on these condition had favorable adsorption of Cr (III) ion. The highest Q_{max} value is at HSSN. In the Freundlich isotherm model can be stated that all of the adsorbent is favorable for the adsorption process of Cr (III) ion in solution.

Keywords: adsorption, chromium (III) ion, favorable, silica

PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah industri tidak hanya memberikan dampak positif, tetapi juga akan memberikan dampak negatif,

misalnya pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah industri, yang dapat menyebabkan pencemaran yang mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan,

Pencemaran lingkungan mempunyai hubungan yang erat dengan kegiatan manusia. Oleh karena itu selama dua abad terakhir ini telah terjadi peningkatan kerusakan lingkungan secara keseluruhan di permukaan bumi ini, sebagai hasil dari kegiatan manusia. Pencemaran yang diakibatkan oleh dampak perkembangan industri harus dapat dikendalikan sejak dini agar tidak menimbulkan permasalahan yang serius bagi kelangsungan hidup manusia maupun alam sekitarnya. Peningkatan jumlah industri di dunia ini selalu diikuti oleh penambahan jumlah limbah, baik berupa limbah padat, cair maupun gas. Limbah tersebut mengandung bahan kimia yang beracun dan berbahaya, yang kemudian dikenal sebagai limbah B3. Salah satu dari limbah B3 tersebut adalah logam berat. Kehadiran logam berat tetap mengkhawatirkan, terutama yang bersumber dari industri, dimana logam berat banyak digunakan sebagai bahan baku maupun sebagai bahan penolong.

Berdasarkan aspek toksikologi, logam berat dapat dibagi menjadi dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, yaitu jenis logam berat yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup, namun jika jumlahnya berlebih dapat menimbulkan efek racun. Contoh jenis logam berat ini, antara lain Zn, Cu, Fe, dan Mn. Jenis ke dua adalah logam berat non esensial, yaitu jenis logam berat yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan dapat bersifat racun. Contoh jenis

logam berat ini, antara lain Pb, Cr, Cd dan Hg. Logam berat jenis ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh menjadi terganggu. Logam Pb, terutama sebagai ionnya merupakan salah satu jenis logam yang menjadi limbah dari berbagai industri (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 1999)

Tingginya resiko pencemaran lingkungan oleh ion logam berat seperti Cr(III), memberikan konsekuensi perlunya sistem pengelolaan limbah yang baik. Sistem pengelolaan limbah harus dapat menurunkan kadar polutan seperti ion logam berat hingga batas aman. Teknik pengelolaan limbah ion logam berat yang telah digunakan secara luas, antara lain osmose balik, elektrodialisis, ultra filtrasi, proses pertukaran ion dan adsorpsi. Adsorpsi adalah teknik yang paling banyak dilakukan untuk pengelolaan limbah ion logam berat karena adanya berbagai kelebihan. Dapat disebutkan, antara lain biaya ekonomi rendah dan tidak ada akibat samping yang beracun.

Adsorpsi adalah proses terikatnya suatu zat yang berada sebagai fasa gas atau fasa cair atau dalam larutan pada permukaan suatu padatan. Zat yang terikat pada permukaan padatan disebut adsorbat, sedangkan padatan yang menahan atau mengikat disebut adsorben (Massel, 1996). Menurut Kolanski (2002) ketika suatu zat tertahan

pada permukaan, interaksi yang terjadi dapat berupa interaksi kimia (kemisorpsi) atau interaksi fisika (fisorpsi). Kemisorpsi melibatkan pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dengan adsorben. Fisorpsi hanya melibatkan interaksi yang lebih lemah, misalnya berupa polarisasi adsorbat dengan adsorben. Secara eksperimen, proses adsorpsi zat yang berada dalam larutan relatif lebih sederhana jika dibandingkan adsorpsi pada fase gas. Namun demikian, dalam teorinya adsorpsi zat yang berada dalam larutan bersifat kompleks atau rumit. Hal ini dikarenakan pada adsorpsi zat dalam larutan terjadi kompetisi antara zat pelarut dan zat terlarut (sebagai adsorbat) untuk berinteraksi dengan padatan adsorben (Shaw, 1999).

Situs-situs aktif pada permukaan adsorben dapat digolongkan sebagai ligan, yang diharapkan dapat mengikat ion-ion logam. Berdasarkan prinsip *Hard and Soft Acids and Bases (HSAB)* yang dikemukakan oleh Pearson, ligan-ligan dengan atom yang sangat elektronegatif dan berukuran kecil adalah basa keras, sedangkan ligan-ligan dengan atom yang elektron valensinya mudah terpolarisasi akibat pengaruh ion luar adalah basa lemah. Ion-ion logam yang berukuran kecil dan bermuatan positif besar dan elektron valensinya tidak mudah terpengaruh oleh ion luar diklasifikasikan sebagai asam keras. Ion logam yang tergolong asam lunak adalah ion berukuran besar dan bermuatan kecil serta elektron terluarnya mudah terpengaruh pada ion lain.

Asam keras akan berinteraksi dengan basa keras dan merupakan interaksi ionik. Asam lunak akan berinteraksi dengan basa lunak dan merupakan interaksi kovalen (Amri, dkk, 2004).

Penelitian ini mengkaji tentang kinetika dan kesetimbangan pada adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan pada senyawa silika dan modifikasi silika yang disintesis dari abu sekam padi. Senyawa silika yang dimaksud adalah silika gel (selanjutnya diberi notasi SG). Senyawa modifikasi silika yang dimaksud adalah silika termodifikasi merkapto (selanjutnya diberi notasi HMS) dan dua macam silika termodifikasi sulfonat. Silika termodifikasi sulfonat ini merupakan hasil oksidasi HMS. Silika termodifikasi sulfonat yang disintesis dengan bahan oksidator hidrogen peroksida (selanjutnya diberi notasi HSSP) dan yang disintesis dengan bahan oksidator asam nitrat (selanjutnya diberi notasi HSSN).

Kinetika adsorpsi menggambarkan laju pengambilan adsorbat oleh adsorben pada bertambahnya waktu kontak merupakan salah satu parameter yang menggambarkan efisiensi adsorpsi. Model kinetika orde 1, orde 2, pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 digunakan untuk menguji data hasil penelitian. Model kinetika orde 1 dan orde 2 dinyatakan oleh persamaan:

$$\ln C_t = -k_1 t + \ln C_0$$
$$(1/C_t) = k_2 t + (1/C_0)$$

Sedangkan model kinetika pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 dinyatakan oleh persamaan:

$$\log (q_{eq} - q_t) = \log q_{eq} - (k_3/2,303)t$$

$$t/q_t = (1/k_4 q_{eq}^2) + (1/q_{eq})t$$

Notasi C_t adalah konsentrasi setelah adsorpsi selama t menit, C_0 adalah konsentrasi awal, q_{eq} dan q_t adalah jumlah ion teradsorpsi setelah setimbang dan pada saat t , k_1, k_2 adalah konstanta laju reaksi orde 1 dan reaksi orde 2, sedangkan k_3 dan k_4 adalah konstanta laju reaksi pseudo orde 1 dan reaksi pseudo orde 2.

Model kinetika reaksi orde 1, orde 2, pseudo orde 1 dan pseudo orde 2. Masing masing parameter dihitung dengan menggunakan grafik $\ln (C_0/C_t)$ terhadap t , $(1/C_t)$ terhadap t , $\log (q_{eq} - q_t)$ terhadap t dan (t/q_t) terhadap t , Model yang sesuai dengan hasil penelitian ini adalah model kinetika dengan harga r^2 paling tinggi.

Isoterm Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan dan setiap situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul. Isoterm Langmuir dapat dinyatakan dengan 4 macam persamaan linier (Nemr *et al.*, 2008), yaitu:

Langmuir 1:

$$C_{eq}/q_{eq} = 1/(K_a Q_{maks}) + (1/Q_{maks}) C_{eq}$$

Langmuir 2:

$$1/q_{eq} = (1/K_a Q_{maks}) 1/C_{eq} + 1/Q_{maks}$$

Langmuir 3:

$$q_{eq} = Q_{maks} - (1/K_a) q_{eq}/C_{eq}$$

Langmuir 4: $q_{eq}/C_{eq} = K_a Q_{maks} - K_{aeq}$

Notasi C_{eq} adalah konsentrasi kesetimbangan, q_{eq} adalah jumlah zat yang

teradsorpsi per gram adsorben, Q_{maks} adalah kapasitas adsorpsi maksimum dan K_a adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi. Dari berbagai kurva linear maka dapat ditentukan nilai Q_{maks} dari kemiringan dan K_a dari intersep kurva. Persamaan isoterm Langmuir di atas mengasumsikan bahwa: (1) permukaan adsorben homogen, (2) molekul adsorbat tidak berinteraksi satu dengan yang lain, (3) semua proses adsorpsi berlangsung dengan mekanisme yang sama, (4) adsorpsi hanya terjadi satu lapis.

Berbeda dengan persamaan isoterm Langmuir yang mengasumsikan adsorpsi hanya terjadi satu lapis, Freundlich digunakan untuk menjelaskan proses adsorpsi nonideal pada permukaan yang heterogen. Persamaan isoterm Freundlich dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$\ln q_{eq} = \ln K_f + (\ln C_{eq})^{1/n}$$

Notasi q_{eq} adalah jumlah ion logam teradsorpsi (mmol/g), C_{eq} adalah konsentrasi pada saat kesetimbangan (mmol/ml), n adalah konstanta Freundlich dan K_f adalah konstanta energi ikat yang menunjukkan afinitas atau kapasitas adsorpsi adsorben terhadap adsorbat. Model yang sesuai adalah model kinetika dengan harga r^2 paling tinggi. Pada penelitian ini data dikonsultasikan dengan 4 macam model isotherm Langmuir, kemudian dipilih yang mempunyai harga r^2 paling tinggi.

Dihitung harga R_L Liu *et al.*, 2011, Kul dan Koyuncu, 2010) dengan rumus berikut:

$$R_L = 1/(1 + K_a C_0)$$

C_0 adalah konsentrasi awal paling tinggi. Dinyatakan juga (Liu *et al*, 2011, Kul dan Hulya 2010) bahwa apabila $0 < R_L < 1$ maka dapat dinyatakan bahwa adsorpsi bersifat favorabel, $R_L > 1$ tidak favorabel, $R_L = 1$ adsorpsi linier dan $R_L = 0$ berarti ireversibel.

Selanjutnya juga dikonsultasikan dengan model isoterm Freundlich. Apabila harga $0 < 1/n < 1$ maka dapat dinyatakan bahwa adsorpsi bersifat favorabel dan menandakan adsorpsi yang kooperatif.

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: akua terdemineralisasi, kertas indikator pH universal dan kertas saring Whatman no. 42 (Whatman) Bahan-bahan untuk proses adsorpsi dalam sistem batch meliputi: Larutan standar Cr(III) 1000 ppm dalam asam nitrat, larutan NaOH, larutan HCl, dan adsorben, yaitu: SG, HMS, HSSP dan HSSN.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: spektrofotometer serapan atom (GBC AAS 932 AA), pH meter dan Peralatan penunjang meliputi: ayakan (Retsch AS 200 Basic), tungku pemanas (Nabertherm L3/R), oven (Heraeus B5050), pengaduk mekanik (Marius) pengaduk magnetik (Thermolyne Cimarec 2), timbangan analitik, sentrifuge (Kokusen Ensiki Ltd tipe H-107), lumpang atau mortar serta peralatan gelas dan plastik.

Adsorpsi ion Cr(III) oleh adsorben. Mempelajari pengaruh pH pada larutan ion

logam Cr(III) teoretis dan secara eksperimen. Secara teoretis pengaruh pH pada larutan ion logam dikaji dengan menelusuri berbagai pustaka tentang keberadaan ion logam Cr(III) dalam larutan. Secara eksperimen dilakukan dengan meneteskan larutan berisi ion logam Cr(III) pada beberapa wadah berisi larutan basa/asam dengan pH yang bervariasi. Mempelajari pengaruh pH larutan pada berbagai adsorben, yaitu SG, HMS, HSSP dan HSSN.

Sebanyak 50mg adsorben dimasukkan dalam 50mL larutan dengan pH yang bervariasi. Dilakukan penggojogan dengan shaker selama 1 jam. Selanjutnya padatan dipisahkan. Cairan hasil pemisahan diukur pH nya. Terhadap larutan awal juga diukur pH nya dengan cara yang sama. Berdasarkan hasil perhitungan akan diperoleh jumlah proton yang lepas/terikat oleh adsorben hasil sintesis.

Sebanyak 50mg adsorben dimasukkan dalam 50mL larutan ion logam dengan konsentrasi tertentu dan lingkungan pH yang bervariasi. Dilakukan penggojogan dengan shaker selama 1 jam. Selanjutnya padatan dipisahkan. Cairan hasil pemisahan dianalisis kandungan ion logamnya secara spektrofotometri serapan atomik. Terhadap larutan ion logam awal juga dilakukan analisis dengan cara yang sama. Berdasarkan hasil perhitungan akan diperoleh jumlah ion logam teradsorpsi (dinyatakan dalam %).

Sebanyak 20mg adsorben dimasukkan dalam 20mL larutan ion logam dengan

konsentrasi dan lingkungan pH yang tertentu. Dilakukan penggojogan dengan *shaker* dengan waktu yang bervariasi. Selanjutnya padatan dipisahkan. Cairan hasil pemisahan dianalisis kandungan ion logamnya secara spektrofotometri serapan atomik. Larutan ion logam awal juga dilakukan analisis dengan cara yang sama. Berdasarkan hasil perhitungan akan diperoleh jumlah ion logam teradsorpsi dinyatakan dalam mg/g. Data ini dipakai untuk menentukan kinetika reaksi.

Sebanyak 20mg adsorben dimasukkan dalam 20mL larutan ion logam dengan konsentrasi bervariasi dan lingkungan pH buffer tertentu. Dilakukan penggojogan dengan *shaker* selama 1 jam. Selanjutnya padatan dipisahkan. Cairan hasil pemisahan dianalisis kandungan ion logamnya secara spektrofotometri serapan atomik. Terhadap larutan ion logam awal juga dilakukan analisis dengan cara yang sama. Berdasarkan hasil perhitungan akan diperoleh jumlah ion logam teradsorpsi (dinyatakan sebagai mg/g). Data ini dapat dipakai untuk menentukan model isoterm adsorpsi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Adsorben

Adsorben yang dipakai sudah dikarakterisasi dengan berbagai metode analisis. Karakterisasi untuk mengetahui jenis gugus fungsi dilakukan dengan metode spektrofotometri FTIR. Hasilnya, untuk SG ditengarai adanya puncak-puncak serapan

yang menunjukkan adanya gugus fungsi silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) dan siloksan ($=\text{Si-O-Si}=\text{}$). Pada senyawa HMS timbul puncak baru yang menunjukkan adanya gugus fungsi metilen ($=\text{CH}_2$) dan gugus fungsi merkaptol atau tiol ($-\text{SH}$). Pada senyawa HSSN maupun HSSP, tetap ada gugus metilen, silanol dan siloksan, tetapi disertai menurunnya intensitas serapan pada puncak yang menunjukkan gugus tiol. Hal ini adalah oleh karena gugus tiol telah teroksidasi menjadi gugus sulfonat ($-\text{SO}_3\text{H}$). Karakterisasi dengan metoda difraksi sinar X menunjukkan bahwa keempat adsorben mempunyai kristalinitas yang rendah. Penentuan komposisi unsur dilakukan dengan metode *energy dispersive X ray* atau EDX, hasilnya seperti Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Unsur Berbagai Adsorben Berdasarkan EDX Dinyatakan dalam %

| Adsorben | Si | C | O | S |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| HSSN | 34,67 | 16,77 | 38,00 | 10,56 |
| HSSP | 30,17 | 26,32 | 31,75 | 11,75 |
| HMS | 32,44 | 25,60 | 30,39 | 11,57 |
| SG | 44,08 | 10,18 | 45,75 | - |

Penentuan porositas dan luas permukaan dilakukan dengan metode *surface area analysis*, dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Pengaruh pH pada Larutan Ion Logam Cr(III)

Ion logam Cr(III) dalam air akan ber-interaksi dan menghasilkan beberapa spesies. Interaksi pembentukan spesies Cr(III) ini merupakan reaksi keseimbangan.

Tabel 2. Porositas dan Luas Permukaan Adsorben

| Nama adsorben | Luas perm. BET m ² /g | Luas perm. BJH m ² /g | Vol. Pori cc/g | Jejari Pori A |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| ASP | 46,538 | 24,461 | 0,146 | 76,606 |
| SG | 285,555 | 299,855 | 0,661 | 38,347 |
| HMS | 387,307 | 262,770 | 0,377 | 21,461 |
| HSSP | 462,614 | 278,230 | 0,472 | 24,423 |
| HSSN | 13,381 | 11,260 | 0,020 | 15,271 |

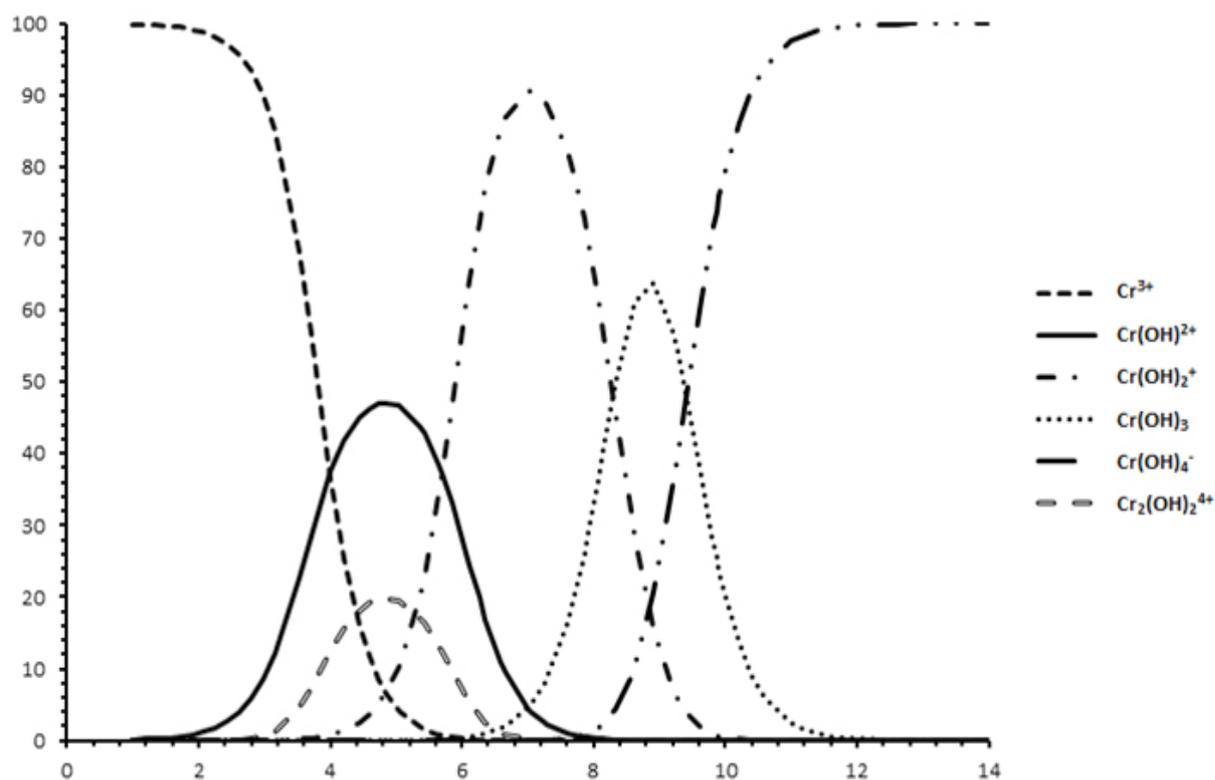
Berdasarkan atas harga konstante keseimbangan, maka dengan perhitungan dapat ditentukan jumlah masing-masing spesies pada harga pH yang tertentu. Apabila perhitungan tersebut dilakukan untuk berbagai harga pH, maka akan diperoleh distribusi spesies sebagai fungsi pH. Pada

larutan ion Cr(III), distribusi spesies sebagai fungsi pH dapat dilihat pada Gambar 1.

Secara eksperimen, ternyata bahwa pada larutan dengan pH yang rendah, ion Cr(III) dalam keadaan terlarut, dan akan mengalami kekeruhan pada larutan dengan pH 5. Data ini juga diperoleh pada penelitian terdahulu (Bakhti, 2001).

Pengaruh pH larutan pada Berbagai Adsorben

Berdasarkan hasil eksperimen terdahulu (Bakhti, 2001), kisaran variasi pH yang dipakai adalah 1-5. Hasilnya ternyata interaksi dengan larutan antara adsorben yang satu dengan yang lain tidak sama. Secara lengkap disajikan pada Tabel 3.



Gambar 1. Distribusi Spesies Ion Cr(III) dalam Larutan sebagai Fungsi pH

Tabel 3. Protonasi - de Protonasi Adsorben (mol/g) sebagai Fungsi pH

| pH | HSSN | HSSP | HMS | SG |
|----|--------|---------|---------|---------|
| 1 | +10,3 | +10,3 | +10,3 | +10,3 |
| 2 | +2,0 | +1,03 | +1,03 | +1,03 |
| 3 | +0,013 | +0,24 | +0,375 | +0,42 |
| 4 | -0,016 | +0,046 | +0,048 | +0,049 |
| 5 | -0,045 | +0,0045 | +0,0045 | +0,0049 |

Keterangan : notasi (+) : protonasi, (-) : de protonasi harga = angka x 10⁻³

Pengaruh pH Larutan pada Adsorpsi Ion Cr(III) dalam Larutan oleh Berbagai Adsorben

Sesuai dengan hasil langkah sebelumnya, eksperimen dilakukan pada pH 1-5. Jumlah ion Cr(III) teradsorpsi pada beberapa adsorben, ternyata jumlahnya bervariasi. Secara lengkap disajikan pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil pada Gambar 2 dapat dinyatakan bahwa untuk semua adsorben memberikan jumlah ion Cr(III) yang tertinggi pada pH 5. Oleh karena itu, untuk mengetahui sifat adsorptif dari aspek kinetika serta

keseimbangan adsorpsi dilakukan dengan larutan Cr(III) pada pH 5.

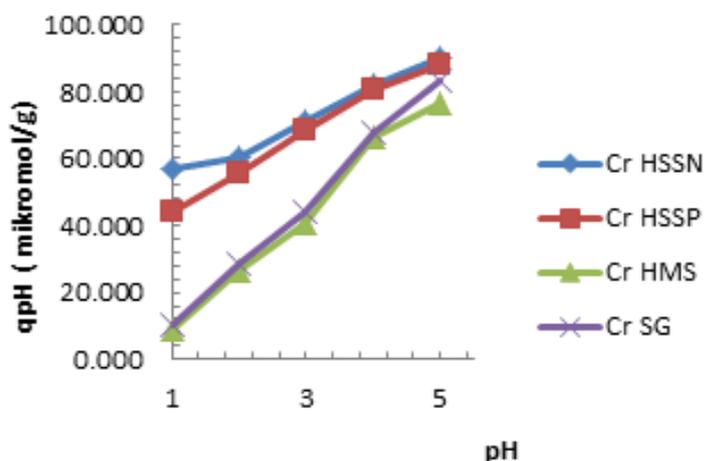
Kinetika Adsorpsi Ion Cr(III) pada Berbagai Adsorben

Berdasarkan hasil pada langkah sebelumnya, penentuan sifat adsorptif dari aspek kinetika ini dilakukan pada pH 5. Diperoleh hasil pengamatan, dan dapat ditentukan jumlah ion Cr(III) teradsorpsi tiap waktu adsorpsi yang tertentu. Data tersebut dikonsultasikan dengan berbagai model kinetika. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 dapat dinyatakan bahwa ke empat adsorben pada proses adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan sesuai dengan model kinetika yang berbeda satu dengan yang lain.

Keseimbangan Adsorpsi ion Cr(III) dalam Larutan pada Berbagai Adsorben

Berdasarkan hasil pada langkah sebelumnya, diketahui bahwa waktu adsorpsi



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Ion Cr(III) pada Berbagai Adsorben

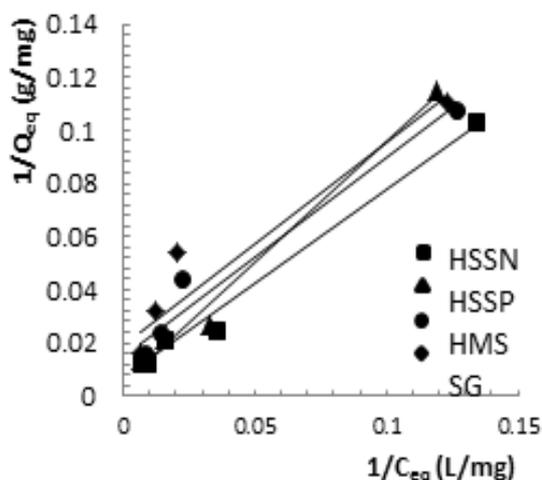
Tabel 4. Model kinetika Adsorpsi Berbagai Adsorben pada Cr(III)

| Model kinetika | Parameter | Jenis adsorben | | | |
|----------------|---------------------------|----------------|-------------|-------------|------------|
| | | SG | HMS | HSSP | HSSN |
| Orde 1 | k [menit] ⁻¹ | 0,78 | 4,84 | 1,75 | 1,51 |
| | R ² | 0,95539 | 0,94838 | 0,91194* | 0,72999 |
| Orde 2 | k [mMmenit] ⁻¹ | 0,45 | 3,89 | 1,22 | 1,22 |
| | R ² | 0,96029* | 0,92836 | 0,89348 | 0,74735 |
| Orde 1 | k [menit] ⁻¹ | 98,31507 | 184,17091 | 378,31381 | 151,92891 |
| | R ² | 0,94056 | 0,95703* | 0,73587 | 0,89602 |
| Orde 2 | k [mMmenit] ⁻¹ | 12,803226 | 6,314077741 | 6,649886071 | 134,004397 |
| | R ² | 0,50399 | 0,60570 | 0,22642 | 0,97043* |

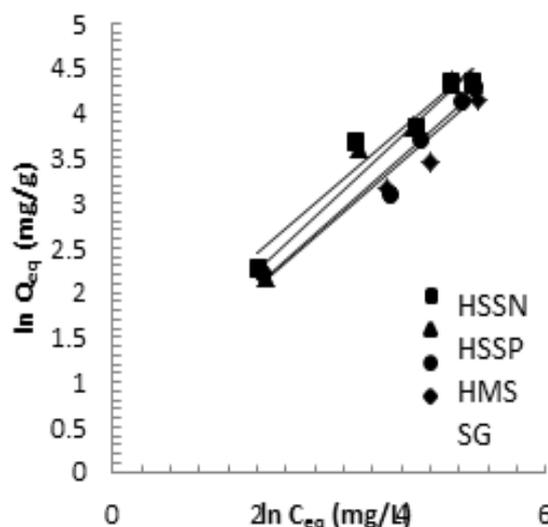
Keterangan: k = bilangan x 10⁻³

ion Cr(III) dalam larutan pada beberapa adsorben adalah 60 menit. Oleh karena itu aspek keseimbangan adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan ini dilakukan pada pH 5 dan waktu adsorpsi 60 menit. Berdasarkan hasil pengamatan dapat dihitung jumlah ion Cr(III) yang teradsorpsi (dinyatakan dalam mg/g). data ini selanjutnya dikonsultasikan dengan beberapa model isoterm, yaitu 4 model isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich.

Parameter untuk penentuan model isoterm Langmuir yang sesuai adalah yang dalam perhitungan memberikan harga r² paling tinggi. Berdasarkan hasil perhitungan, dapat dinyatakan bahwa model isoterm Langmuir 2 sesuai diterapkan untuk adsorpsi ion logam Cr(III) dalam larutan pada berbagai adsorben tersebut. Gambar 3 dan Gambar 4 adalah kurva isoterm Langmuir 2 dan kurva isoterm Freundlich untuk adsorpsi ion Cr(III) dalam



Gambar 3. Kurva Isoterm Langmuir 2 Adsorpsi Ion Cr(III) pada Berbagai Adsorben



Gambar 4. Kurva Isoterm Freundlich Adsorpsi Ion Cr(III) pada Berbagai Adsorben

larutan pada ke empat adsorben yang dikaji. Selanjutnya dihitung Q_{maks} , K_a dan R_L -nya.

Berdasarkan hasil perhitungan R_L dapat ditentukan proses adsorpsi tersebut favorabel atau tidak. Juga dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter isotherm Freundlich, yaitu K_f dan $1/n$. Berdasarkan harga $1/n$ juga ditentukan proses adsorpsi tersebut favorabel atau tidak. Hasil perhitungan secara keseluruhan untuk penentuan parameter

isotherm adsorpsi Langmuir dan isotherm adsorpsi Freundlich disajikan pada Tabel 5. Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa ditinjau dari isotherm Langmuir 2, adsorben yang mempunyai harga Q_{maks} paling tinggi adalah HSSN, diikuti HMS, HSSP dan SG. Harga R_L untuk HSSN, HSSP dan HMS maupun SG lebih kecil dari 1, berarti proses adsorpsi pada kondisi tersebut adalah favorabel.

Tabel 5. Parameter Isotherm Langmuir dan Freundlich Adsorpsi Ion Cr(III) pada Berbagai Adsorben

| Isoterm | Parameter | Satuan | HSSN | HSSP | HMS | SG |
|------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Langmuir 1 | Q_{maks} | mg/g | 125 | 111,11 | 166,66 | 166,66 |
| | K_a | L/mg | 0,01222 | 0,0076 | 0,00497 | 0,00398 |
| | r^2 | - | 0,892 | 0,136 | 0,527 | 0,196 |
| | R_L | - | 0,267 | 0,371 | 0,474 | 0,529 |
| | Rekom | - | favorabel | favorabel | favorabel | favorabel |
| Langmuir 2 | Q_{maks} | mg/g | 166,66 | 71,4 | 71,43 | 55,55 |
| | K_a | L/mg | 0,00842 | 0,0165 | 0,0186 | 0,0235 |
| | r^2 | - | 0,989 | 0,903 | 0,961 | 0,901 |
| | R_L | - | 0,347 | 0,212 | 0,194 | 0,19 |
| | Rekom | - | favorabel | favorabel | favorabel | favorabel |
| Langmuir 3 | Q_{maks} | mg/g | 105,4 | 69,57 | 84,26 | 53,9 |
| | K_a | L/mg | 0,017 | 0,034 | 0,0155 | 0,0429 |
| | r^2 | - | 0,638 | 0,112 | 0,474 | 0,064 |
| | R_L | - | 0,208 | 0,116 | 0,224 | 0,094 |
| | Rekom | - | favorabel | favorabel | favorabel | favorabel |
| Langmuir 4 | Q_{maks} | mg/g | 148,7 | 175 | 138,142 | 354 |
| | K_a | L/mg | 0,01 | 0,007 | 0,007 | 0,002 |
| | r^2 | - | 0,638 | 0,621 | 0,474 | 0,064 |
| | R_L | - | 0,309 | 0,39 | 0,39 | 0,69 |
| | Rekom | - | favorabel | favorabel | favorabel | favorabel |
| Freundlich | K_F | | 2,823 | 1,925 | 1,923 | 1,925 |
| | $1/n$ | | 0,694 | 0,718 | 0,714 | 0,699 |
| | r^2 | | 0,943 | 0,725 | 0,969 | 0,902 |
| | Rekom | | favorabel | favorabel | favorabel | favorabel |

Ditinjau dari parameter Freundlich ternyata semua adsorben, yaitu HSSN, HSSP, HMS serta SG mempunyai harga $1/n$ yang lebih kecil dari 1. Ini Berarti bahwa proses adsorpsi pada kondisi tersebut adalah favorabel. Selanjutnya dapat dinyatakan bahwa pada semua adsorben yang diteliti yaitu HSSN, HSSP, HMS serta SG proses adsorpsi terjadi pada permukaan yang heterogen dan merupakan adsorpsi lapis tunggal.

Apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu, ternyata harga Q_{maks} yang diperoleh lebih tinggi. Adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan oleh adsorben montmorilonit dan dan montmorilonit terpillar yang memberikan harga Q_{maks} berturut-turut: 13,09mg/g dan 10,35mg/g (Bakhti, dkk, 2001). Peneliti lain menemukan harga Q_{maks} untuk adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan oleh lignin sebesar 17,97mg/g (Wu, 2008) Hal ini menunjukkan bahwa adsorben yang disintesis dari abu sekam padi, yaitu HSSN, HSSP, HMS serta SG cukup efektif untuk adsorpsi ion logam Cr(III) dalam larutan. Bagi semua adsorben perlu kiranya dikonsultasikan dengan model isotherm lain yang kemungkinan memberikan harga r^2 yang lebih tinggi. Juga perlu dikaji adsorpsi ion logam yang lain pada berbagai adsorben tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat dikemukakan kesimpulan bahwa proses adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan pada HSSN, HSSP, HMS

dan SG sesuai dengan model kinetika yang berbeda satu sama lain. Kecuali itu, juga dapat dinyatakan bahwa proses adsorpsi ion Cr(III) dalam larutan pada HSSN, HSSP dan HMS dan SG dapat dinyatakan adsorpsi lapis tunggal (*monolayer adsorption*) dan permukaan heterogen dengan urutan besarnya Q_{maks} HSSN>HSSP>HMS>SG.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, A., Supranto, dan Fahrurrozi, M. 2004. Kesetimbangan adsorpsi optional campuran biner Cd(II) dan Cr(III) dengan zeolit alam terimpregnasi 2 merkaptobenzotiazol, *J.Natur Indonesia*, p. 112.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1999. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 18 Tahun 1999* tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Jakarta, Sekretariat Badan Pengendalian dampak Lingkungan, 65-80.
- Bakhti, A. Derriche, Z., Iddou, A., dan Larid, M. 2001. A study of the factor controlling the adsorption of Cr(III) on montmorillonites, *European Journal of Soil Science*, Vol. 52, p. 683-692.
- Kul, A.R., Koyuncu, H. 2010. Adsorption of Pb(II) ions from aqueous solution by native and activated bentonite: Kinetic, equilibrium and thermodynamic study, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 179, p. 332-339.
- Kalapathy, U., Proctor, A., dan Shultz, J. 2000. Production and properties of flexible sodium silicate films from Rice Hull Ash Silica, *Bioresource Technology* Vol. 73, p. 257-262.

- Kolanski, K.W. 2002. *Surface science: Foundation of catalysis and nano science*. Inggris: John wiley and Sons Ltd, 85.
- Liu, Y., Liu, Z., Gao, J., Dai, J., Han, J., Wang, Y., Xie, J., Yan, Y. 2011. Selective adsorption behavior of Pb(II) by mesoporous silica SBA-15-supported Pb(II)-imprinted polymer based on surface molecularly imprinting technique, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 186, p. 197-205.
- Massel, R.I. 1996. *Principle of Adsorption and Reaction in Solid Surface*. Kanada: John Wiley and Sons Ltd, 108.
- Nemr, A.El., Khaled, A., Abdelwahab, O. Sikaily, A.El. 2008. Treatment of wastewater containing toxic chromium using new activated carbon developed from date palm seed, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 152, p. 263-275.
- Shaw, D.J. 1999. *Colloid and surface chemistry*. Inggris: Butterworth-Heinemann, 169 - 170.
- Wu, Y., Zhang, S., Guo, X., Huang, H. 2008 Adsorption of chromium(III) on lignin, *Bioresource Technology*, Vol. 99, p. 7709-7715.