

SINTESIS SILIKA XEROGEL DARI ABU DAUN BAMBUR SEBAGAI ADSORBEN URANIUM

Kartini Megasari^{1*}, Hera Herdiyanti¹, Gustri Nurliati², Ambar Kadarwati¹, Deni Swantomo¹

¹STTN-BATAN, Kawasan BATAN Yogyakarta, Depok, Sleman, Yogyakarta

²PTLR-BATAN, Kawasan Puspiptek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten

*Email : kartinimega@batan.go.id

ABSTRAK

SINTESIS SILIKA XEROGEL DARI ABU DAUN BAMBUR SEBAGAI ADSORBEN URANIUM. Telah dilakukan penelitian tentang sintesis silika xerogel dari abu daun bambur dengan metode sol gel menggunakan prekursor natrium silikat untuk adsorpsi limbah simulasi uranium. Abu daun bambur mengandung sekitar 58% silika yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan silika xerogel. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pH dan waktu *aging* serta mengetahui karakter silika xerogel, model isoterm adsorpsi, dan termodinamika adsorpsi uranium oleh silika xerogel. Karakterisasi silika xerogel yang dilakukan adalah menentukan gugus fungsi, uji kristalinitas dan luas permukaannya. Identifikasi gugus fungsi dan struktur kristal menggunakan FTIR dan XRD. Luas permukaan silika xerogel ditentukan dengan metode metilen biru dan BET. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sintesis silika xerogel terjadi pada pH optimum 7 dengan waktu *aging* optimum 3 jam. Hasil karakterisasi silika xerogel pada keadaan optimum menunjukkan luas permukaan sebesar 177,2858 m²/g. Spektra *Infra Red* silika xerogel hasil sintesis mengandung gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) serta data XRD menunjukkan silika xerogel berstruktur amorf. Hasil percobaan menunjukkan bahwa adsorpsi uranium dengan silika xerogel mengikuti model isoterm Freundlich. Berdasarkan kajian termodinamika terhadap nilai ΔH , ΔS , dan ΔG , adsorpsi limbah uranium dengan adsorben silika xerogel dari abu daun bambur merupakan fisisorpsi yang berlangsung secara tidak spontan pada reaksi endoterm.

Kata kunci: adsorpsi, uranium, silika xerogel, abu daun bambur.

ABSTRACT

SYNTHESIS OF SILICA XEROGEL FROM BAMBOO LEAF ASH FOR URANIUM ADSORBEN. *Synthesis of xerogel silika from bamboo leaf ash by sol gel method using precursor sodium silicate has been conducted for uranium simulation waste adsorption. Bamboo leaf ash contains about 58% silika and can be used as raw material for synthesis silika xerogel. The influence of pH, aging time, characteristics, isotherm adsorption model and thermodynamics uranium adsorption using silika xerogel. Characterization of silika xerogel are identification of functional group, crystal structure, and determination of surface area. Identification of functional group and crystal structure were identified by FTIR and XRD. Surface area were determined by methylene blue method. Result showed that synthesis xerogel silika occurred optimum pH 7 and optimum aging time 3 hours. The optimum condition surface area was 177,2858 m²/g. Based on the IR spectra xerogel silika contained silanol (Si-OH) and siloxane (Si-O-Si) and XRD data showed that xerogel silika were amorphous. The results show that Langmuir model is more acceptable than Freundlich model. Based on the thermodynamic analysis on the values of ΔH , ΔS , and ΔG , the adsorption of uranium waste with adsorbent of silika xerogel from bamboo leaf ash is a physisorption type, non-spontaneous process, and endothermic reactions.*

Key words: Adsorption, uranium, silika xerogel, bamboo leaf ash.

PENDAHULUAN

Pada saat ini teknologi nuklir semakin banyak digunakan di berbagai bidang diantaranya untuk industri, kedokteran, pertanian dan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Konsekuensi dari pemanfaatan teknologi nuklir dalam berbagai bidang yaitu timbulnya limbah radioaktif yang perlu dikelola dengan baik agar aman bagi manusia dan lingkungan.

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) adalah salah satu instansi pemerintah yang memanfaatkan teknologi nuklir dalam berbagai bidang, diantaranya dalam bidang produksi radioisotop, produksi bahan bakar nuklir, pengujian bahan bakar paska iradiasi, dan proses pemurnian uranium dari *yellow cake*. Selain itu, sektor industri juga turut berperan menyumbang limbah radioaktif uranium seperti pada industri fosfat [1].

Limbah uranium yang dihasilkan biasanya berupa limbah radioaktif cair. Selain bersifat radioaktif, limbah tersebut juga memiliki toksisitas yang tinggi terhadap lingkungan maupun kesehatan. Hal ini dikarenakan uranium yang merupakan unsur alam bersifat radioaktif dengan waktu paruh panjang sekitar 4,46 miliar tahun, bersifat tidak stabil, dan dapat meluruh menjadi unsur lain dengan memancarkan partikel alpha. Radiasi yang berasal dari uranium dapat menyebabkan kerusakan ginjal, kanker (hati, paru-paru, tulang, dan darah), kerusakan genetik, gangguan hormon dan mengurangi jumlah sel darah [2].

Untuk meminimalisir dampak bahayanya, maka perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah radioaktif. Pengolahan limbah radioaktif cair yang paling sering dilakukan adalah dengan cara pengolahan kimia, salah satunya melalui proses koagulasi-flokulasi. Kelebihan dari pengolahan limbah radioaktif cair dengan metode koagulasi-flokulasi adalah biayanya yang lebih murah dan logam terlarut dalam limbah bisa ikut terendapkan. Namun demikian, metode ini masih memiliki beberapa kekurangan diantaranya volume limbah dan timbulnya endapan sebagai hasil akhir.

Metode pengolahan limbah radioaktif lainnya yang bisa digunakan untuk mengatasi kelemahan pengolahan limbah radioaktif cair

dengan cara pengolahan kimia adalah pertukaran ion dengan proses adsorpsi. Pada proses adsorpsi, tidak terjadi penambahan volume limbah dan tidak menghasilkan produk samping seperti endapan yang memerlukan pengolahan lebih lanjut. Proses adsorpsi limbah radioaktif cair melibatkan interaksi antara adsorben dan adsorbat secara fisika maupun kimia. Beberapa material yang bisa digunakan sebagai adsorben adalah karbon aktif, magnet, komposit magnet dan silika [3].

Silika xerogel adalah salah satu material yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki struktur polimer berbentuk amorf serta memiliki sisi aktif berupa gugus silanol dan siloksan. Silika xerogel biasanya memiliki porositas yang tinggi (15-50%) dan luas permukaan yang sangat besar (150-900 m²/g) dan ukuran pori yang sangat kecil (1-10 nm).

Sintesis silika xerogel bisa dilakukan dari bahan-bahan yang memiliki kandungan silika tinggi seperti abu daun bambu. Hasil analisis abu daun bambu menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan bahwa silika yang terkandung dalam abu daun bambu sebesar 58,3%. Hal tersebut memberikan informasi bahwa daun bambu berpotensi untuk dijadikan salah satu sumber silika [4].

DASAR TEORI

Sol Gel

Proses *sol-gel* merupakan proses pencampuran pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi secara kimia dalam larutan pada suhu rendah. Pada proses tersebut terjadi proses perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinu (gel). Sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk solid (padat) dan fasa pendispersinya berbentuk *liquid* (cairan). Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoksi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan. Proses sol-gel berlangsung melalui langkah-langkah sebagai berikut [5].

1. Hidrolisis dan kondensasi
2. *Gelation* (transisi sol-gel)
3. *Aging* (pertumbuhan gel)
4. *Drying* (pengeringan)

Metode sol gel mampu mendapatkan silika xerogel dari pasir kuarsa dengan kemurnian 99% dan hasil uji FTIR terhadap silika xerogel bahwa menunjukkan adanya gugus silanol dan siloksan [6]. Dengan menggunakan proses sol-gel ini dapat diperoleh material dengan pori seragam dan luas permukaan tinggi serta dapat berlangsung pada temperatur rendah sekaligus komposisi bahan dapat langsung dikontrol dengan mudah.

Silika Xerogel

Silika xerogel adalah hidrogel yang dihilangkan kandungan airnya secara konvensional untuk mendapatkan gel keringnya dengan menaikkan temperatur ataupun menaikkan tekanan sehingga air dapat keluar dan membentuk gel keringnya [5].

Silika xerogel biasanya memiliki porositas yang tinggi (15-50%) dan luas permukaan yang sangat besar (150-900 m²/g) dan ukuran pori yang sangat kecil (1-10 nm). Pemanasan silika xerogel pada suhu tinggi menghasilkan sintering kental dan efektif mengubah gel berpori menjadi gelas padat.

Silika xerogel memiliki banyak aplikasi antara lain yaitu sebagai adsorben, katalis, kromatografi kolom, pada kosmetik, dan juga pada bidang farmasi. Silika xerogel termasuk dalam jenis dari silika gel. Silika xerogel memiliki beberapa kelebihan, diantaranya [7]:

1. lebih mudah dibuat;
2. bahan-bahan dasar yang digunakan mudah diperoleh;
3. tidak menggunakan bahan-bahan organik sehingga tidak akan menimbulkan limbah dari hasil samping pembuatan;
4. tidak memakan biaya cukup banyak; dan
5. pengeringan dilakukan pada suhu yang tidak terlalu tinggi.

Struktur, kepadatan, dan kekuatan mekanik pada silika xerogel sangat dipengaruhi oleh pH gelasi dan konsentrasi silika [5]. Semakin besar pH yang digunakan akan menghasilkan luas permukaan silika xerogel yang lebih besar [8].

Sintesis Silika Xerogel

Pada proses pembuatan silika xerogel dengan metode sol-gel, akan melalui empat tahapan yaitu hidrolisis, kondensasi, *aging*,

dan pematangan. Proses pembuatan xerogel diawali dengan pengambilan silika dari abu daun bambu dengan cara dikalsinasi pada suhu 700°C. Silika yang didapatkan kemudian direaksikan dengan NaOH untuk mendapatkan natrium silikat sebagai prekursor sesuai dengan Persamaan (1).



Pada reaksi hidrolisis, akan terbentuk gugus aktif silanol (SiOH) akibat reaksi antara natrium silikat dengan air. Sebagai katalis digunakan larutan HCl 1N untuk mempercepat reaksi. Gugus silanol akan terpolimerasi menjadi gugus siloksan (Si-O-Si) selama tahapan kondensasi dan menghasilkan gel. Setelah terbentuk gel, pematangan gel dilakukan pada suhu 80°C selama 3 jam kemudian dikeringkan secara pemanasan pada suhu 100°C untuk mendapatkan xerogel.

Beberapa parameter yang berpengaruh pada sintesis silika xerogel adalah pH dan waktu *aging*. pH dan waktu *aging* dapat mempengaruhi luas permukaan dari silika xerogel yang dihasilkan [8].

Uranium

Uranium termasuk unsur dalam deret aktinida yang mempunyai lebih dari satu bilangan oksidasi. Isotop yang menyusun uranium alam, yaitu U²³⁵ sebanyak 0,7% dan U²³⁸ sebanyak 99,3%. Isotop U²³⁵ merupakan bahan bakar dapat belah yang bisa menghasilkan sejumlah energi dan hasil belah yang radioaktif. Isotop U²³⁸ apabila menangkap neutron dapat berubah menjadi Pu²³⁹ yang bisa digunakan sebagai bahan bakar nuklir yang baru [9].

Ion uranil adalah bentuk uranium yang paling umum ditemukan dalam limbah radioaktif yang berasal dari pertambangan, instalasi nuklir dan pemurnian uranium. Ion uranil dapat berinteraksi dengan gugus silika menghasilkan suatu kompleks uranil silika. Gugus silanol atau ≡Si(OH)₂ merupakan gugus aktif adsorpsi yang rentan kehilangan satu proton. Proton dari gugus silanol bisa berikatan dengan ion uranil membentuk kompleks ≡Si(OH)₂UO₂OH [10]. Reaksi yang terjadi adalah sesuai Persamaan (2).

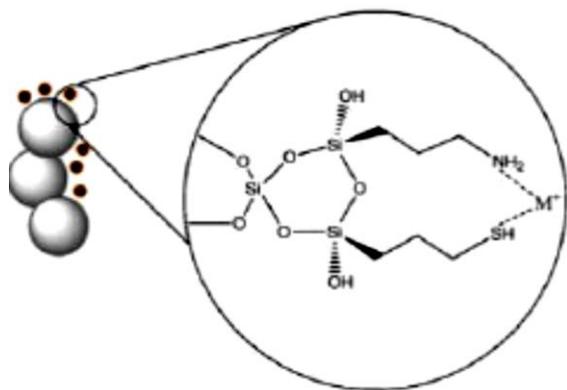


Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu gejala permukaan dengan penyerapan atau penarikan molekul-molekul gas atau cairan pada permukaan adsorben. Adsorben merupakan suatu bahan (padatan) yang dapat mengadsorpsi adsorbat.

Pada proses adsorpsi terjadi perpindahan massa dari fluida (dapat berupa fasa gas atau cairan) ke fasa padatan. Solut yang terserap pada permukaan padatan disebut dengan adsorbat sedangkan padatan penyerap disebut dengan adsorben. Dalam adsorpsi terjadi proses pengikatan oleh permukaan adsorben padatan terhadap atom-atom, ion-ion, atau molekul-molekul adsorbat dengan gaya intermolekular yang lemah.

Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar larutan ke permukaan interface, yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben atau eksternal. Molekul-molekul adsorbat dipindahkan dari permukaan luar adsorben menyebar menuju pori-pori adsorben dan molekul adsorbat akan menempel pada permukaan pori-pori adsorben. Proses adsorpsi dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar. 1. Skema Proses Adsorpsi [11]

Sifat ikatan antara adsorben dan adsorbat tergantung pada jenis adsorpsi yang terjadi. Jenis adsorpsi yang mungkin terjadi adalah adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika dipengaruhi oleh gaya Van der Waals, sedangkan adsorpsi kimia molekul adsorbat melekat pada adsorben melalui ikatan kimia yang kuat.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, *furnace*, neraca analitik, oven, spektrofotometer UV-VIS, *X-ray Diffraction (XRD)*, dan *Surface Area Analyzer (SAA)*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain daun bambu, HCl, NaOH, metilen biru, dan uranil nitrat.

Langkah Kerja

Preparasi Abu Daun Bambu

Abu daun bambu diperoleh dari daun bambu yang sudah direndam dengan HCl 0,1 N dicuci bersih dengan air mengalir, dikeringkan dalam oven kemudian disintering pada suhu 700°C selama 1 jam. Kalsinasi dimulai dari suhu 100°C selama 1 jam kemudian suhu dinaikkan dengan interval 50°C hingga suhu 400°C dan ditahan selama 1 jam. Suhu mulai dinaikkan kembali dengan interval 50°C hingga 600°C dan ditahan selama 1 jam kemudian dinaikkan hingga 700°C. Silika dari abu daun bambu akan berupa serbuk berwarna merah muda.

Abu daun bambu yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan Spektroskopi *X-Ray Fluorescence* untuk mengetahui komposisinya. Hasil analisis terhadap abu daun bambu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel. 1. Komposisi Abu Daun Bambu

Analit	Hasil (%)
Si	48,217
O	48,171
Ca	1,182
S	0,856
Al	0,797
Fe	0,290
K	0,240
P	0,080
Cu	0,045
Ti	0,045
Zn	0,023

Pembuatan Natrium Silikat

Natrium silikat dibuat dari abu daun bambu yang telah didinginkan selama 1 malam ditimbang sebanyak 1 gram kemudian ditambahkan 50 mL larutan NaOH 1 N,

dididihkan selama 1,5 jam kemudian dinginkan pada suhu ruang. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan adalah larutan natrium silikat atau Na_2SiO_3 .

Sintesis Silika Xerogel

Silika xerogel dibuat dengan metode sol-gel. Larutan natrium silikat ditambahkan HCl 1N hingga pH 1 kemudian didiamkan selama 30 menit (hidrolisis), lalu ditambahkan NaOH 1 N hingga pH 7, dan didiamkan selama 3 jam sebagai waktu pematangan pada suhu 80°C. Proses pengeringan gel dilakukan pada suhu 80°C selama 24 jam. Dengan proses yang sama, dilakukan dengan variasi pH yang berbeda yaitu 8, 9, dan 10 serta waktu pematangan 3, 4, 5, dan 6 jam untuk mengetahui pengaruh pH dan waktu pematangan terhadap silika xerogel yang dihasilkan.

Uji Adsorpsi

Uji adsorpsi dilakukan terhadap limbah uranium simulasi. Preparasi larutan standar uranium dilakukan dengan menimbang 0,26 gram Uranil Nitrat Heksahidrat kemudian dilarutkan dalam labu takar 250 mL sehingga didapatkan standar uranium 500 ppm. Larutan standar kemudian diencerkan menjadi 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm untuk penentuan kurva standar. Larutan standar ditambahkan HNO_3 1N hingga pH 2,5, ditambahkan 2 mL arsenazo III 0,05% kemudian ditanda bataskan dalam labu takar 25 mL. Larutan didiamkan selama 30 menit kemudian diukur konsentrasi uranium menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 651 nm.

Uji Luas Permukaan

Uji luas permukaan dilakukan menggunakan metilen biru untuk pengujian awal. Preparasi larutan standar metilen biru dilakukan dengan menimbang 100 mg metilen biru kemudian dilarutkan dalam labu takar 100 mL sehingga didapatkan standar metilen biru 100 ppm. Larutan standar kemudian diencerkan menjadi 10, 15, 25 dan 50 ppm untuk penentuan kurva standar. Sebagai larutan pengujian, digunakan larutan metilen biru 25 ppm yang kemudian ditambahkan 1 g silika xerogel. Campuran didiamkan selama 30 menit

kemudian diukur konsentrasi metilen biru menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 665 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Gugus Fungsi

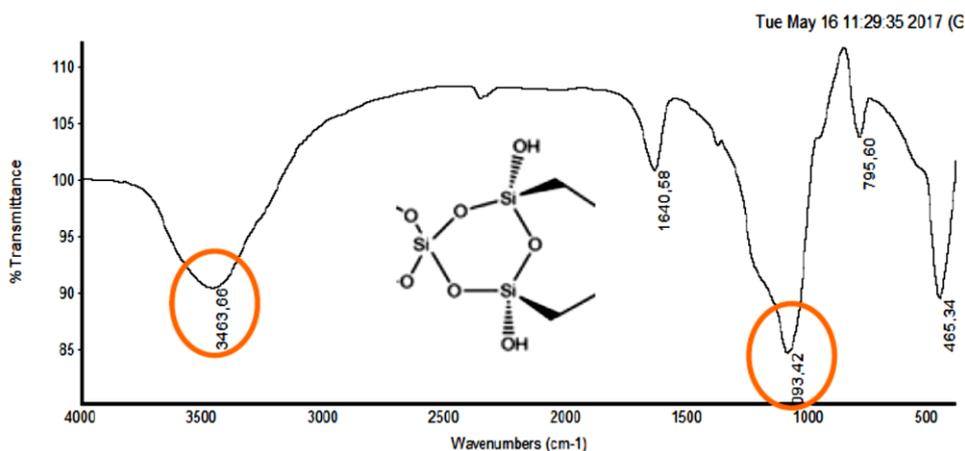
Gugus fungsi adalah kumpulan atom-atom yang berikatan yang memberi peran pada sifat fisikokimia senyawa seperti kelarutan, keasaman dan kereaktifan kimia. Penentuan gugus fungsi dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Hasil penentuan gugus fungsi silika xerogel menggunakan FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.

Serapan kecil muncul pada bilangan gelombang 3463,66 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya vibrasi ulur -OH dari Si-OH, serapan tajam muncul pada 1093,42 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi ulur Si-O dari gugus Si-O-Si, 795,60 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus Si-C, dan serapan di 465,34 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi dari Si-O-Si.

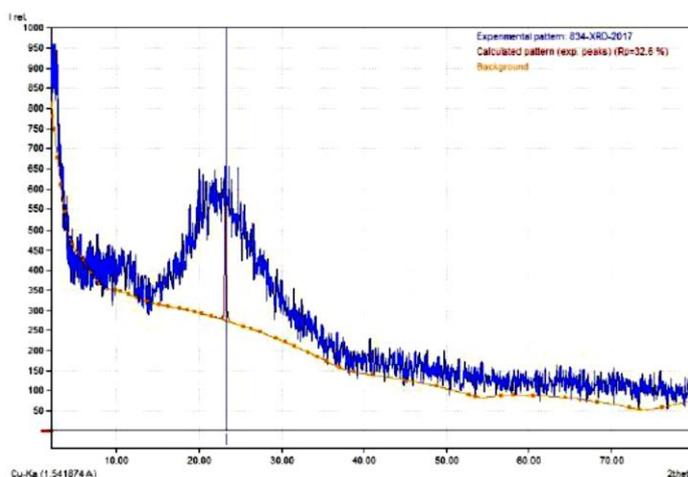
Hasil FTIR ini sesuai dengan hasil penelitian Ayu (2013). Pada penelitian Ayu (2013), gugus silanol ditandai dengan adanya vibrasi pada bilangan gelombang 3467,77 cm^{-1} dan gugus siloksan pada bilangan gelombang 1082,96 cm^{-1} . Karakterisasi dengan FTIR memperlihatkan munculnya puncak Si-OH dan Si-O-Si yang menunjukkan adanya gugus fungsi siloksan, yang mengindikasikan bahwa silika dari abu daun bambu merupakan silika reaktif.

Uji Kristalinitas

Silika yang dihasilkan dari abu daun bambu bisa bersifat amorf ataupun kristalin. Silika yang berbentuk kristalin cenderung memiliki atom-atom berikatan secara teratur. Silika yang terakumulasi di dalam makhluk hidup memiliki bentuk amorf, berbeda dengan silika yang tidak berasal dari makhluk hidup seperti batuan dan debu yang memiliki struktur silika kristalin [12]. Silika amorf dalam berbagai kondisi dianggap lebih reaktif dibanding silika kristalin dan memiliki struktur sferikal yang tidak beraturan yang menyebabkan luas area permukaan yang tinggi, biasanya di atas 3 m^2/g .



Gambar. 2. Spektrum FTIR Silika Xerogel dari Abu Daun Bambu



Gambar. 3. Spektrum Uji Kristalinitas Silka Xerogel

Uji kristalinitas dilakukan dengan menggunakan alat X-Ray Diffraction. Hasil uji kristalinitas silika xerogel dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Spektrum hasil analisa menggunakan *X-Ray Diffraction* menunjukkan bahwa silika xerogel yang dihasilkan berbentuk amorf dengan nilai kristalinitas 73,14% amorf. Sifat amorf inilah yang menyebabkan silika xerogel bersifat reaktif dan dapat digunakan sebagai adsorben.

Uji Luas Permukaan

Uji luas permukaan terhadap silika xerogel dilakukan dengan menggunakan metode metilen biru. Hasil analisa penentuan luas permukaan dengan metode metilen biru dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel. 2. Luas Permukaan Silika Xerogel Metode Metilen Biru pada Variasi pH dengan Waktu *Aging* 3 Jam

pH	Luas Permukaan (m ² /g)
7	177,2858
8	167,0689
9	166,3806
10	147,0600

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa pH dan waktu pematangan atau *aging* mempengaruhi luas permukaan xerogel. Semakin tinggi pH dan waktu pematangan maka luas permukaan xerogel semakin kecil. Kenaikan pH akan menyebabkan semakin

besarnya ukuran partikel xerogel sehingga luas permukaannya akan semakin berkurang.

Pada proses pembentukan gel terdapat beberapa tahapan reaksi yaitu hidrolisis, kondensasi dan pematangan atau *aging*. Pada proses *aging*, terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat, dan menyusut di dalam larutan. Waktu *aging* optimum ditentukan melalui parameter luas permukaan gel yang diperoleh [6].

Di sisi lain, berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa semakin lama waktu *aging* luas permukaan silika xerogel semakin menurun. Silika xerogel dengan waktu *aging* 3 jam memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan silika xerogel dengan waktu *aging* 4, 5 dan 6 jam. Hal ini sesuai dengan penelitian Meirawati (2013), yang melakukan penelitian pengaruh waktu *aging* terhadap luas permukaan silika xerogel.

Tabel 3. Luas Permukaan Silika Xerogel Metode Matilen Biru pada Variasi Waktu *Aging* pada pH 7

Waktu <i>Aging</i> (jam)	Luas Permukaan (m ² /g)
3	177,2858
4	156,0371
5	154,6451
6	152,6578

Menurut Meirawati (2013), semakin lama waktu *aging* semakin kecil luas permukaan. Semakin lama waktu pematangan maka kekuatan ikatan jaringan gel akan semakin kuat maka akan terjadi pengerutan, sehingga dalam kemampuannya untuk mengadsorp larutan metilen biru semakin berkurang.

Penentuan pH dan Waktu *Aging* Optimum

pH dan waktu *aging* merupakan dua parameter penting yang mempengaruhi pada proses sintesis silika xerogel. Berdasarkan hasil uji luas permukaan dengan metilen biru, diketahui bahwa semakin tinggi pH dan waktu *aging* maka luas permukaan xerogel akan semakin berkurang.

Penentuan pH dan waktu *aging* optimum dilakukan dengan melihat efektivitas adsorpsi antara limbah uranium dengan silika xerogel.

Tabel 4 menunjukkan nilai efektivitas adsorpsi uranium oleh silika xerogel.

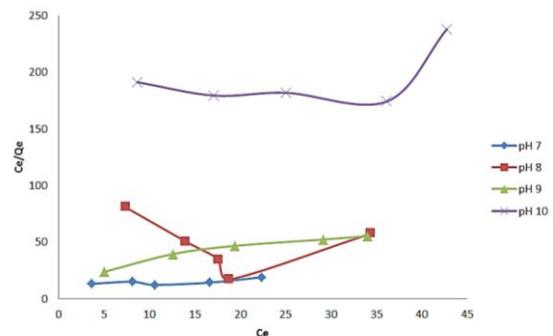
Tabel 4. Perhitungan Efektivitas Adsorpsi

Variasi sintesis Silika Xerogel	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	Efektifitas (%)
pH 7	50	27,2615	45,48
pH 8	50	28,0811	43,84
pH 9	50	40,6494	18,70
pH 10	50	42,5620	14,88
<i>Aging</i> 3 jam	50	27,2615	45,48
<i>Aging</i> 4 jam	50	27,4253	45,15
<i>Aging</i> 5 jam	50	28,9008	42,20
<i>Aging</i> 6 jam	50	34,3926	31,21

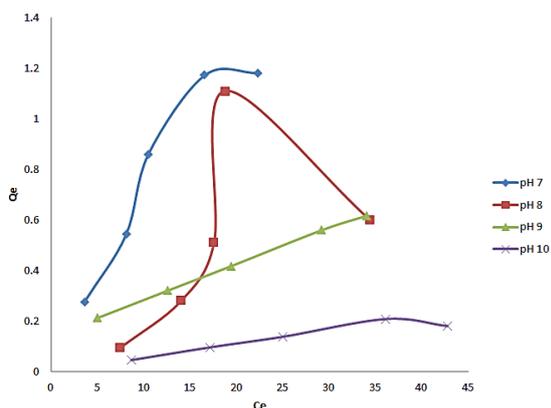
Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa nilai efektivitas adsorpsi semakin rendah ketika pH meningkat dan waktu *aging* semakin lama. Penurunan efektivitas adsorpsi ini berkaitan dengan nilai luas permukaan dari silika xerogel yang dihasilkan. Ketika luas permukaan semakin kecil, maka efektivitas adsorpsinya pun akan semakin berkurang. Silika xerogel dengan pH 7 dan waktu *aging* 3 jam menunjukkan nilai efektivitas adsorpsi yang paling tinggi, sehingga dapat diketahui bahwa kondisi tersebut merupakan pH dan waktu *aging* yang paling optimum untuk melakukan sintesis silika xerogel dari abu daun bambu.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi menggambarkan proses distribusi adsorbat di antara fase cair dan fase padat. Model isoterm adsorpsi yang paling umum adalah Langmuir dan Freundlich. Gambar 4 dan Gambar 5 menampilkan grafik isoterm persamaan Langmuir dan Freundlich.



Gambar 4. Grafik Model Isoterm Langmuir



Gambar. 5. Grafik Model Isoterm Freundlich

Berdasarkan grafik Model Isoterm Langmuir dan Freundlich maka diperoleh nilai konstanta yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel. 5. Konstanta Model Isoterm Langmuir dan Freundlich

Variasi Silika Xerogel	Konstanta Langmuir			Konstanta Freundlich		
	K	Qmax	R ²	Kf	1/n	R ²
pH 7	0,0231	3,7793	0,5609	0,0966	0,8547	0,9533
pH 8	-0,0009	-1,8285	0,0518	0,0085	1,3667	0,6466
pH 9	0,0442	0,9824	0,9174	0,082	0,5614	0,9881
pH 10	0,0056	1,055	0,2553	0,0064	0,9339	0,9622

Nilai R² yang semakin mendekati 1 menunjukkan model isoterm adsorpsi yang paling sesuai dan mendekati dengan hasil percobaan. Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai R² untuk persamaan Freundlich lebih besar dan seragam bila dibandingkan dengan persamaan Langmuir. Maka dari itu, adsorpsi limbah uranium menggunakan silika xerogel dari abu daun bambu sesuai dengan persamaan isoterm Freundlich yang berarti penyerapan limbah uranium yang terjadi adalah secara fisisorpsi. Pada fisisorpsi merupakan peristiwa adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya-gaya fisika, dimana ikatan antara adsorbat maupun ikatan antar adsorbat-adsorben bersifat lemah karena hanya melibatkan interaksi Van der Waals dengan nilai kalor adsorpsi yang kecil. Hal ini memungkinkan adsorbat leluasa bergerak hingga akhirnya berlangsung proses adsorpsi banyak lapisan [13].

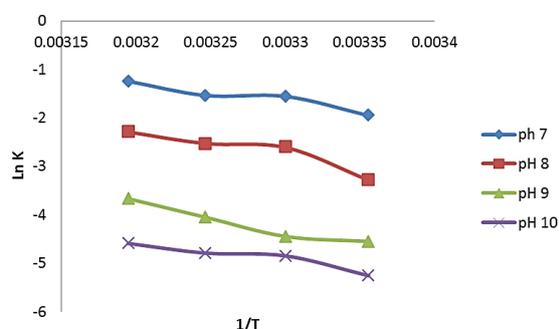
Pada persamaan isoterm Freundlich terdapat nilai Kf yang menunjukkan kapasitas adsorpsi dari adsorben dan n yang menggambarkan intensitas dari adsorpsi. Artinya jumlah limbah uranium yang dapat

terjerap akan semakin besar jika nilai konstanta n kecil dan nilai konstanta Kf besar.

Penentuan Termodinamika Adsorpsi

Penentuan termodinamika bertujuan untuk mengetahui nilai entalpi (ΔH), entropi (ΔS) dan energi bebas Gibbs (ΔG). Penentuan termodinamika dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara $1/T$ terhadap $\ln K$ seperti yang disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan grafik hubungan $1/T$ dan $\ln K$ maka didapatkan persamaan garis yang berbeda-beda untuk setiap variasi xerogel. Persamaan garis tersebut digunakan untuk penentuan nilai entalpi (ΔH), entropi (ΔS), dan energi bebas Gibbs (ΔG) yang disajikan pada Tabel 6.



Gambar. 6. Grafik Termodinamika Adsorpsi pada Berbagai pH

Tabel. 6. Nilai Parameter Termodinamika Adsorpsi

Variasi Xerogel	Suhu (K)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (kJ/Kmol)	ΔG (kJ/mol)
pH 7	298	33,2128	0,0957	4,7083
	303			4,2300
	308			3,7518
	313			3,2735
	298			7,7993
pH 8	298	47,6808	0,1338	7,1302
	303			6,4610
	308			5,7919
	313			11,4972
	298			10,9013
pH 9	298	47,0107	0,1192	10,3054
	303			9,7096
	308			12,8470
	313			12,5258
	298			12,8470
pH 10	298	31,9865	0,0642	12,5258
	303			12,2047
	313			11,8836

Entalpi atau ΔH yang bernilai positif menandakan reaksi yang berjalan bersifat endoterm, Pada reaksi endoterm, sejumlah

kalor akan diserap dari lingkungan ke dalam sistem, Proses adsorpsi yang berlangsung secara fisik (fisisorpsi) menyebabkan nilai ΔS positif dan menunjukkan tidak terjadi adsorpsi secara kimia, Nilai ΔS hasil penelitian bernilai positif menunjukkan bahwa proses adsorpsi melibatkan suatu mekanisme disosiatif, Energi Gibbs (ΔG) bernilai positif yang menandakan proses adsorpsi ini tidak dapat berjalan secara spontan dan memerlukan energi dari eksternal dalam mengikat adsorbat, Hal ini disebabkan laju perpindahan massa yang sangat kecil serta konsentrasi awal dan massa adsorben yang digunakan, Selain itu, nilai ΔG akan semakin menurun dengan adanya kenaikan temperatur sehingga proses adsorpsi ini lebih disukai untuk dilakukan pada suhu tinggi [13],

Berdasarkan nilai ΔH , ΔS , dan ΔG menunjukkan bahwa kajian termodinamika pada adsorpsi limbah uranium dengan adsorben silika xerogel dari abu daun bambu berlangsung secara tidak spontan, pada reaksi endoterm, terjadi mekanisme asosiatif, dan termasuk proses fisisorpsi,

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis silika xerogel optimum pada pH 7 dan waktu *aging* 3 jam,
2. Silika xerogel dihasilkan bersifat amorf dengan luas permukaan 177,2858 m²/g dan diameter pori 10,51 nm,
3. Silika xerogel dapat digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi limbah simulasi uranium mengikuti persamaan Freundlich,
4. Nilai ΔH , ΔS , dan ΔG menunjukkan bahwa adsorpsi limbah uranium dengan adsorben silika xerogel dari abu daun bambu berlangsung secara tidak spontan, pada reaksi endoterm, terjadi mekanisme asosiatif, dan termasuk proses fisisorpsi,

DAFTAR PUSTAKA

1. G, Gunandjar, T, Sundari, and Y, Purwanto, "Imobilisasi Limbah Radioaktif Uranium Menggunakan Abu Batubara Sebagai Bahan Matriks Synroc," in

Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan," UPN "Veteran" Yogyakarta, 2015, pp, I2,1-I2,9,

2. P, Prayitno, V, Ridantami, and I, Prayogo, "Reduksi Aktivitas Uranium Dalam Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Proses Elektrokoagulasi," *Urania J, Ilm, Daur Bahan Bakar Nukl,*, vol, 22, no, 3, pp, 189–202, Jan, 2017,
3. R, Langenati, R, Mardiono M., D, Mustika, B, Wasito, and R, Ridwan, "Pengaruh Jenis Adsorben Dan Konsentrasi Uranium Terhadap Pemungutan Uranium Dari Larutan Uranil Nitrat," *JTek Bhn Nukl,* vol, 8, no, 2, pp, 95–104, 2012,
4. A, Priyanto, "Sintesis Dan Aplikasi Silika Dari Abu Daun Bambu Petung (*Dendrocalamus Asper* (Schult,F.) Backer Ex Heyne) Untuk Mengurangi Kadar Ammonium Dan Nitrat Pada Limbah Cair Tahu," Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, 2015,
5. A, M, Ayu and S, Wardhani, "Studi Pengaruh Konsentrasi NaOH dan pH Terhadap Sintesis Silika Xerogel Berbahan Dasar Pasir Kuarsa," *Kim, Stud, J,*, vol, 2, no, 2, pp, 517–523, 2013,
6. D, Meirawati, S, Wardhani, and R, T, Tjahjanto, "Studi Pengaruh Konsentrasi HCl dan Waktu *Aging* (Pematangan Gel) Terhadap Sintesis Silika Xerogel Berbahan Dasar Pasir Kuarsa Bangka," *Kim, Stud, J,*, vol, 2, no, 2, pp, 524–531,
7. K, Oikawa, S, Sakatani, and K, Toyota, "Xerogel Production Method," EP 2 957 340 B1,
8. S, Affandi, H, Setyawan, S, Winardi, A, Purwanto, and R, Balgis, "A facile method for production of high-purity silica xerogels from bagasse ash," *Adv, Powder Technol,*, vol, 20, no, 5, pp, 468–472, Sep, 2009,
9. A, Aisyah, H, Martono, and W, Wati, "Pengolahan Limbah Uranium Menggunakan Alumino Siliko Fosfat," *J, ZEOLIT Indones,*, vol, 7, no, 2, pp, 69–77, 2008,
10. U, GABRIEL, L, Charlet, and C, W, SCHLAPFER, "In situ speciation of uranium(VI) at the silica-water interface: A combined TRLIFS and surface complexation study," *Water-Rock Interact, Ore Depos, Environ, Geochem, Tribute David Crerar,* no, 7, pp, 423–440, 2002,

11. L, Durães, S, Nogueira, A, Santos, C, Preciso, J, Hernandez, and A, Portugal, "Flexible silica based xerogels and aerogels for spatial applications," ,
12. A, Chandra, Y, I, P, A, Miryanty, L, Budyanto Widjaja, and A, Pramudita, "Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi," Universitas Katolik Prahayangan, 2012,
13. A, G, Kwenusland, A, Lasakar, C, Effendi, H, R, Priyantini, and L, Riadi, "Studi Termodinamika Pada Adsorpsi Direct Red 31 Dengan Adsorben Modified Rice Husk," in *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebaardjo Brotohardjono XIV*, Surabaya, 2018, p, C,3-1-C,3-8,