

KAJIAN SIFAT SERAP MINERAL MAGNETIT TERHADAP LIMBAH RADIOAKTIF URANIUM CAIR FASA AIR YANG DIGUNAKAN SEBAGAI BAHAN URUG

M.E. Budiyo dan Sukosrono

P3TM – BATAN

ABSTRAK

KAJIAN SIFAT SERAP MINERAL MAGNETIT TERHADAP LIMBAH URANIUM CAIR FASA AIR YANG DIGUNAKAN SEBAGAI BAHAN URUG. Telah dilakukan percobaan penentuan kapasitas serap mineral magnetit terhadap limbah uranium fase air. Percobaan ini dimaksudkan untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam suatu kegiatan penelitian bahan isi/urug pada penyimpanan limbah radioaktif. Percobaan dilakukan dengan cara memvariasi ukuran butir mineral magnetit dan pH. Ukuran butir divariasi dari 10/20 - 100/120 mesh, sedangkan pH limbah divariasi dari 4 - 10. Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan yaitu hasil, yang paling baik adalah magnetik dengan ukuran butir 100/120 mesh, pH 7 mempunyai kecepatan perembesan $2,73 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^3/\text{s}$, koefisien permeabilitas $3,89 \cdot 10^{-1} \text{ cm/s}$, porositas 17,21 faktor dekontaminasi 25,62, kapasitas serap 23,75 grek/g dan fraksi terserap 67,24 %.

ABSTRACT

STUDY OF CAPACITY OF SORPTION OF THE MAGNETITE MINERAL TO URANIUM LIQUID WASTES USING AS A LANDFILL MATERIAL. The experimental investigation on sorption capacity of magnetic mineral to uranium liquid wastes has been done. The aim of the experiment was to find data which was needed in the research of landfill material for storage of radioactive wastes. The investigated parameters were the grain size of magnetite and pH of uranium of radioactive wastes. The grain size was varied from 10/20 to 100/120 mesh and the pH was varied from 4 to 10. The conclusions that could be drawn from this research were that the best result of the grain size of magnetite was 100/120 mesh and the pH was 7, rate of diffusion was $2,73 \text{ cm}^3/\text{s}$, permeability coefficient was $3,89 \text{ cm/s}$, porosity was 17,21, decontamination factor 25,62 capacity of sorption was 23,75 grek/gram, fraction of sorption was 67,24 %.

PENDAHULUAN

Berbagai tahapan pengelolaan limbah radioaktif meliputi pengolahan awal, pengolahan, penyimpanan dan pemantauan. Pengolahan awal meliputi : perlakuan administrasi, pengumpulan /pengangkutan, sortir, pengelompokan, reduksi ukuran (untuk limbah padat), pewadahan, pemantauan dan pengolahan awal lainnya. Pengolahan limbah radioaktif dilakukan sesuai jenis limbahnya untuk limbah gas diolah ditempat proses dengan sistem ventilasi sedang untuk limbah cair dengan cara pengolahan kimia, evaporasi, penukar ion dan immobilisasi, untuk limbah padat dengan sistem kompaksi, insenerasi/pembakaran, distruksi kimia, metal melting proses, dekontaminasi, microwave melting proses, immobilisasi, dll⁽¹⁾. Untuk menanggulangi kemungkinan terjadinya pelindian radionuklida akibat kerusakan kemasan limbah dalam penyimpanan sementara atau pembuangan akhir perlu diberikan bahan

penahan atau bahan isi/urug (landfill material) diantara kemasan limbah^(2,3). Dengan demikian bahan isi akan menyerap nuklida bila terjadi pelindian sehingga tidak mencemari lingkungan. Sebagai bahan isi atau bahan urug dapat digunakan adalah bentonit, magnetit, pasir kuarsa dan lain-lainnya. Pada umumnya digunakan campuran dari bahan-bahan tersebut⁽⁴⁾.

Magnetit yang dikenal sebagai mineral alam yang mengandung unsur dominan Fe_3O_4 , merupakan sedimen lapukan dan letakan dari batuan induk yang bersifat granitik atau pun rombakan dari urat-urat kristal disebut kristalin. Tidak seperti bahan amorf yang lain, magnetit memiliki pore yang unik, seragam dengan ukuran celah sebesar (3-8 Å), yang dapat dimasuki ion atau molekul polar sekaligus secara selektif yang ada di sekitarnya. Adanya sangkar intrakristal dan struktur rongganya pada magnetit

menyebabkan magnetit banyak dipakai sebagai katalis heterogen.⁽⁵⁾

Mengingat fungsi bahan isi/urug adalah sebagai penyerap nuklida yang terlindi, maka bahan isi tersebut perlu diketahui permeabilitas, porositas, koefisien distribusi, kecepatan alir, kecepatan migrasi, kecepatan serap dan faktor dekontaminasi dari bahan isi/urug tersebut.

Ketentuan yang dapat digunakan sebagai bahan isi atau bahan urug antara lain adalah dapat mengurangi/menghambat radionuklida dan dapat menaikkan daya isolasi, dapat menjaga keutuhan bahan pengungkung akibat dari perubahan cuaca, benturan atau gempa dan lainnya.

Perlu diketahui bahwa limbah radioaktif cair yang mengandung unsur uranium berasal dari rangkaian pembuatan bahan bakar nuklir. Seperti misalnya uranium, yang mempunyai umur paro yang sangat panjang hingga 10^{10} tahun, Perbedaan energi ikatan antara 5f dan 6d adalah sangat kecil, dan U dengan konfigurasi elektron $5f^3 6s^2 6p^6 6d^1 7s^2$. Orbital elektron terluarnya terletak pada orbital 5f, hal ini sangat penting karena sangat mempengaruhi sifat kimianya dalam pembentukan kompleks. Jari-jari ion U^{3+} , U^{4+} , dan UO_2^{2+} adalah 1,05 Å, 0,93 Å dan 0,83 Å hal ini dikarenakan bertambahnya muatan. Sifat kimia Uranium secara mendasar adalah terhidrolisanya U^{4+} pada pH rendah. Membentuk senyawa kompleks ionik atau netral. Bilangan oksidasi VI lebih sering dalam bentuk UO_2^{2+} . Dismutasi U(V) terbentuk U(IV) dan U(VI). Kelarutan yang luar biasa dari uranil nitrat dalam beberapa senyawa organik.⁽⁴⁾

Magnetit dapat digunakan sebagai bahan isi atau bahan urug perlu diketahui harga koefisien permeabilitas yaitu kapasitas tanah untuk dilalui air. Nilai permeabilitas tanah dipengaruhi tingkat kebasahan, tekstur, struktur, bentuk dan susunan pori tanah, Untuk nilai koefisien permeabilitas yang besar maka nilai pelepasan spesifiknya juga besar, sedang untuk tanah liat mempunyai nilai sangat kecil^(5,6).

Dari data pustaka dan teori yang menyangkut bahan isi atau bahan urug, maka magnetit dapat digunakan untuk menyerap limbah uranium fase air yang nantinya bahwa magnetit dapat digunakan sebagai bahan isi atau bahan urug, sehingga keselamatan lingkungan dapat terjamin dari cemaran limbah radioaktif uranium fase air, yang mendukung tahapan pengelolaan limbah radioaktif secara keseluruhan.

TATA PERCOBAAN

Bahan Yang Digunakan

Limbah radioaktif uranium fase air, magnetit, aquades, dan lain-lain.

Peralatan Yang Digunakan

Kolom gelas, timbangan analitik, pompa dosis, piranti gelas, stop watch, alat cacah alpha "ORTEC", dan lain-lain.

Cara Kerja

Percobaan penentuan kapasitas manetit.

Mula-mula ditimbang 5 gram magnetit ukuran butir 100/120 mesh, kemudian disiapkan 2 kolom gelas, gelas 1 untuk tempat magnetit dan gelas 2 untuk tempat limbah. Selanjutnya dimasukkan magnetit pada kolom gelas 1, diukur diameter dan tinggi magnetit dalam kolom.

Percobaan selanjutnya dimasukkan limbah pada kolom gelas 2, diukur diameter dan tinggi limbah dalam kolom. Secara perlahan limbah uranium dialirkan ke dalam magnetit pada kolom gelas 1, diamati dan dicatat volume limbah dan waktu yang dibutuhkan untuk membasahi magnetit sampai batas bawah.

Limbah yang telah lewat magnetit pada tetesan pertama diambil dan dicacah dengan alat cacah alpha". Selanjutnya limbah ditampung sampai volume total 5 ml sambil diamati dan dicatat waktu yang diperlukan dan dianalisa. Percobaan diteruskan tiap pertambahan volume 5 ml diamati dan dicatat waktu dan volumenya serta sampel diambil dan dianalisa. Percobaan dihentikan setelah konsentrasi uranium dalam limbah pada volume tertampung tertentu sama dengan konsentrasi uranium dalam limbah awal.

Setelah percobaan selesai magnetit yang telah dipakai dikeluarkan bertahap dibagi tiga dimulai dari lapisan magnetit paling atas sampai magnetit paling bawah, kemudian dikeringkan dan dicacah. Dengan cara yang sama ukuran butir divarasi dari 10/20 -100/120 sedangkan pH limbah divarasi dari 4 - 10.

Dari data-data tersebut dihitung porositas, permeabilitas, kecepatan serap/perembesan, kecepatan lolos, faktor dekontaminasi dan kapasitas serapnya dengan rumus sbb. Penetapan permeabilitas menggunakan cara yang dikemukakan oleh De Boodt(1967) berdasarkan hukum Darcy⁽⁶⁾.

$$T_{li} = L/V \quad (1)$$

$$T_{li} = \text{waktu limbah lolos sampai batas bawah} \quad (s)$$

V = kecepatan perembesan (cm/s)
 L = panjang sampel (cm)
 $V_i = V_{Lt} / T_{Lt}$ (2)
 V_{Lt} = volume limbah tertampung pada waktu t (cm³)
 T_{Lt} = waktu limbah tertampung pada waktu t (s)
 V_i = kecepatan lolos (cm³/s)
 $K = Q.l / A.H$ (3)
 K = koefisien permeabilitas (cm/s)
 Q = debit aliran (cm³/s)
 H = tinggi limbah (cm)
 $F = K.H / V.L$ (4)
 F = porositas
 $FD = A_o / A_t$ (5)

FD = faktor dekontaminasi
 A_o = aktivitas awal
 A_t = aktivitas pada t tertentu
 $K_s = (C_a - C_t) / g$ (6)
 K_s = kapasitas serap (grek/gram)
 C_a = konsentrasi awal (gram/l)
 C_t = konsentrasi setelah perlakuan (gram/l)
 $F_s = (C_a - C_t) / C_a \times 100 \%$ (7)
 F_s = fraksi serap

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil percobaan dan pengamatan disajikan pada Tabel 1, 2, 3 dan 4

Tabel 1. Data pengaruh ukuran butir magnetit terhadap porositas, permeabilitas, kecepatan rap/perembesan, kecepatan lolos, faktor dekontaminasi, kapasitas serapnya dan fraksi serapnya.

No.	Ukuran butir (mesh)	$V.10^{-1}$ (cm ³ /dt)	$K.10^{-1}$ (cm/dt)	$f.10^{-1}$	FD	$K_s.10^{-12}$ (grek/g)	F_s (%)
1.	10/20	2,16	3,79	2,26	4,56	9,15	71,93
2.	20/40	1,77	4,71	4,51	11,10	12,53	77,95
3.	40/60	2,08	4,61	6,00	11,10	13,75	78,95
4.	60/80	1,87	6,42	9,71	10,09	14,34	84,84
5.	80/100	1,46	6,68	10,95	22,20	20,28	85,62
6.	100/120	0,97	5,51	15,14	25,62	23,75	87,24

Keterangan :

V = kecepatan perembesan(cm/s) FD = faktor dekontaminasi
 K = koefisien permeabilitas(cm/s) K_s = kapasitas serap(grek/gram)
 F = porositas F_s = fraksi serap

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa secara umum ukuran butir berpengaruh pada parameter yang diamati. Kecepatan perembesan dan permeabilitas menurun untuk ukuran butir mineral yang semakin kecil. Sedangkan untuk porositas, harga faktor dekontaminasi, kapasitas serap dan fraksi serap naik untuk ukuran butir yang semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin kecilnya ukuran butir total luas permukaan

semakin besar, sehingga luas permukaan untuk kontak antara mineral dengan limbah semakin besar yang selanjutnya akan mempengaruhi harga dari porositas, faktor dekontaminasi, kapasitas serap dan fraksi terserap. Semakin kecilnya ukuran butir juga mempersempit jarak antar mineral, sehingga lolosnya limbah semakin lambat.

Tabel 2. Data pengaruh pH limbah terhadap porositas, permeabilitas, kecepatan serap /perembesan, kecepatan lolos, faktor dekontaminasi, kapasitas serapnya dan fraksi serapnya(ukuran butir magnetik mesh 100/120 mesh)

No.	pH	$V.10^{-1}$ (cm ³ /dt)	$K.10^{-1}$ (cm/dt)	$f.10^{-1}$	FD	$K_s.10^{-12}$ (grek/g)	F_s (%)
1.	4	2,31	2,52	1,16	24,24	20,20	86,32
2.	5	1,87	3,31	1,54	25,22	23,54	88,48
3.	6	1,93	3,69	1,69	25,23	22,60	87,02
4.	7	2,73	3,89	1,78	25,62	23,75	87,24
5.	8	1,89	4,18	2,01	25,22	23,10	87,62
6.	9	2,28	4,66	2,13	24,88	22,46	86,74
7.	10	2,25	4,86	2,13	25,87	22,78	87,68

Keterangan :

V = kecepatan perembesan(cm/s) FD = faktor dekontaminasi
 K = koefisien permeabilitas(cm/s) K_s = kapasitas serap(grek/gram)
 F = porositas F_s = fraksi serap

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa secara umum pH limbah tidak banyak berpengaruh pada parameter yang diamati. Namun untuk pH 7 nilai parameter yang diamati agak tinggi dibanding yang lain. Hal ini dimungkinkan

adanya pH semakin rendah maupun semakin tinggi kerusakan terhadap mineral semakin tinggi sehingga akan menurunkan nilai parameter yang diamati.

Tabel 3. Data kapasitas serap dan fraksi serap magnetit untuk komposisi berbagai lapisan dengan ukuran butir yang bervariasi.

No.	Ukuran butir (mesh)	Tinggi Mineral (cm)	Lapisan ke 1 (atas)		Lapisan ke 2 (tengah)		Lapisan ke 3 (bawah)	
			Ks.10 ⁻¹² (grek/g)	Fs (%)	Ks.10 ⁻¹² (grek/g)	Fs (%)	Ks.10 ⁻¹² (grek/gr)	Fs (%)
1.	10/20	1,59	42,42	87,00	4,24	9,09	2,09	4,29
2.	20/40	1,41	39,78	86,17	4,32	33,86	2,06	4,46
3.	40/60	1,21	48,32	43,96	3,71	32,85	2,44	22,23
4.	60/80	1,12	33,35	41,44	2,64	33,86	2,07	25,70
5.	80/100	1,08	37,98	43,09	3,14	32,85	1,87	21,23
6.	100/120	1,02	33,37	55,17	1,39	35,67	1,32	21,23

Keterangan :

Ks = kapasitas serap(grek/gram)

Fs = fraksi serap

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa secara umum ukuran butir berpengaruh pada kapasitas serap dan fraksi serap lapisan mineral yang dilewati limbah uranium, semakin kecil ukuran butir uranium yang terserap semakin besar.

Untuk semua ukuran butir lapisan paling atas limbah uranium yang terserap lebih besar dibanding lapisan di bawahnya, semakin tinggi limbah uranium yang terserap semakin tinggi pula kapasitas serap dan fraksi serapnya.

Tabel 4. Data kapasitas serap dan fraksi serap magnetit untuk komposisi berbagai lapisan dengan pH limbah yang bervariasi.

No.	pH	Lapisan ke 1 (atas)		Lapisan ke 2 (tengah)		Lapisan ke 3 (bawah)	
		Ks.10 ⁻¹² (grek/g)	Fs (%)	Ks.10 ⁻¹² (grek/g)	Fs (%)	Ks.10 ⁻¹² (grek/g)	Fs (%)
1.	4	13,00	51,67	8,31	35,13	3,30	13,08
2.	5	6,80	54,58	3,54	28,29	2,14	17,15
3.	6	101,22	61,28	59,52	36,01	4,53	2,77
4.	7	8,40	54,95	5,40	35,03	1,51	9,86
5.	8	73,28	56,24	48,6	38,67	3,92	3,07
6.	9	5,24	45,55	2,8	24,92	3,42	29,86
7.	10	5,87	58,69	2,7	26,75	1,54	14,98

Keterangan :

Ks = kapasitas serap(grek/gram)

Fs = fraksi serap

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa seperti halnya data pada tabel 2 secara umum pH limbah tidak banyak berpengaruh pada parameter yang diamati. Namun untuk untuk pH 7 nilai parameter yang diamati paling tinggi dibanding yang lain. Lapisan paling atas limbah uranium yang terserap lebih besar dibanding lapisan di bawahnya, semakin tinggi limbah uranium yang terserap semakin tinggi pula kapasitas serap dan fraksi serapnya.

KESIMPULAN

Dari data percobaan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa kuran butir berpengaruh pada parameter yang diamati. Kecepatan perembesan dan permeabilitas menurun untuk ukuran butir mineral yang semakin besar. Sedang untuk porositas, harga faktor dekontaminasi, kapasitas serap dan fraksi serap meninggi untuk ukuran butir yang semakin kecil. Sedangkan pH limbah tidak banyak berpengaruh

pada parameter yang diamati, namun untuk untuk pH 7 nilai parameter yang diamati paling tinggi dibanding yang lain. Untuk semua ukuran butir lapisan paling atas limbah uranium yang terserap lebih besar dibanding lapisan di bawahnya. Hasil yang paling baik yang dicapai pada percobaan ini adalah pasir kuarsa ukuran butir 100/120 mesh, pH 7 mempunyai kecepatan perembesan $2,73 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^3/\text{s}$, koefisien permeabilitas $3,89 \cdot 10^{-1} \text{ cm/s}$, porositas 17,21 faktor dekontaminasi 25,62, kapasitas serap 23,75 grek/g dan fraksi terserap 67,24 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. WASITO, "Pengolahan Limbah Radioaktif Padat Aktivitas Rendah dan Sedang", PTPLR – BATAN, 1992.
2. SUKARMAN A., dkk. "Sementasi Hasil Olah Kimia Limbah Uranium", Prosiding PPI Penelitian Dasar Iptek Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta 1992.
3. SUPARDI, dkk., "Pengaruh Komposisi Bahan Isi Untuk Penyimpanan Limbah Radioaktif", Prosiding PPI Penelitian Dasar Iptek Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta 1992.
4. BUDIYONO, ME., dkk., "Mempelajari Sifat Sorpsi Campuran Pasir Kuarsa, Magnetik dan Bentonit Terhadap Nuklida Sr-90 Sebagai Back Fill Material". Prosiding PPI Penelitian Dasar Iptek Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta 1992.
5. MUHAMMAD YUSUF, "Mengenal Bentonit dan Kaolin", BEB, Januari/Februari 1992.
6. SOEKODARMODJO. S., dkk, "Panduan Analisis Fisika Tanah", Jurusan Tanah Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta. 1989.

TANYA JAWAB

Mulyono Daryoko

- *Mengapa Anda memakai mineral lokal magnetit untuk bahan urug terhadap limbah radioaktif uranium fase air, mohon dijelaskan!*
- *Mohon dapat dijelaskan bahwa ukuran butir dapat mempengaruhi kapasitas serapnya!*

M.E. Budiyo

- Mineral magnetit dapat digunakan sebagai bahan urug dikarenakan bahan mineral magnetit tersebut tahan terhadap panas, radiasi dan gempa dan mempunyai kapasitas serap yang relatif lebih baik.
- Memang benar bahwa ukuran butir dapat mempengaruhi kapasitas serapnya, dapat dilihat di dalam Tabel 1 dan 3.

Yusuf Nampira

- *Bagaimana cara menentukan kapasitas serap dari magnetit terhadap limbah radioaktif uranium?*
- *Bagaimana cara analisis limbah radioaktif uranium tersebut?*

M.E. Budiyo

- Dengan menggunakan persamaan (6) di dalam makalah yaitu $K_s = (C_a - C_t) / g$. C_a = konsentrasi awal, C_t = konsentrasi setelah lewat sampai jenuh, g = berat magnetit, K_s = kapasitas serap.
- Analisis limbah radioaktif uranium fase air menggunakan alat cacah alpha.