

## MEMPELAJARI SIFAT PENUKAR ION DARI BENTONIT TERHADAP NUKLIDA STRONSIUM SEBAGAI BAHAN ISI

M. Eko Budiyo, Sukarman Aminjoyo, Djoko Sardjono, Raharjo, Supardi.  
Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

MEMPELAJARI SIFAT PENUKAR ION DARI BENTONIT TERHADAP NUKLIDA STRONSIUM SEBAGAI BAHAN ISI. Telah dilakukan penelitian penukaran ion dari bentonit terhadap limbah radioaktif cair yang mengandung nuklida Sr-90 aktivitas awal  $0,14 \times 10^{-4}$   $\mu\text{Ci/ml}$ , yang akan diaplikasikan sebagai bahan isi, agar radionuklida Sr-90 tersebut tidak mudah tersebar ke lingkungan. Percobaan ini dilakukan dengan cara memvariasikan pH, waktu aktivasi dan waktu penukaran ion. Waktu aktivasi divariasi dari 10, 30 dan 60 menit, pH divariasi dari 4 sampai dengan 11, sedangkan waktu penukaran ion divariasi dari 30 sampai dengan 150 menit. Ke dalam setiap 2 g mineral Bentonit yang telah diaktivasi ditambahkan 50 ml limbah cair yang mengandung nuklida Sr-90, diaduk dengan kecepatan konstan (200 rpm) dengan waktu penukaran ion divariasi seperti di atas, kemudian dindapkan selama 24 jam. Beningan dianalisis menggunakan alat cacah  $\alpha/\beta$  latar rendah buatan Canberra, aktivitas beningan  $0,84 \times 10^{-7}$   $\mu\text{Ci/ml}$ . Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan, bahwa waktu aktivasi mineral bentonit selama 30 menit, pH 9 dan waktu penukaran ion 90 menit, menghasilkan faktor dekontaminasi (FD) 179,48 dan efisiensi 99,44 %. Sedangkan batas yang diizinkan menurut SK Dirjen BATAN No. PN 03/180/DJ/89, tentang ketentuan keselamatan kerja radiasi adalah  $2,7 \times 10^{-6}$   $\mu\text{Ci/ml}$  (Stronsium terlarut untuk umum). Dengan demikian hasil yang diperoleh masih dalam batas yang aman.

### ABSTRACT

THE ION EXCHANGE CHARACTERISTICS OF BENTONIT AS A FILLER FOR STRONTIUM NUCLIDE. The experimental investigation of the liquid radioactive waste ion exchange containing radionuclide of Sr-90 with the activity of  $0.14 \times 10^{-4}$   $\mu\text{Ci/ml}$  has been done. This experiment was conducted in order the radionuclide of Sr-90 to be uneasily dispersed to the environment. The experiment was conducted by means varying of pH, activated time and ion exchange time. The activation time was varied from 10, 30 and 60 minutes, pH was varied from 4 to 11, where as the ion exchange time was varied from 30 to 150 minutes. Each of 2 grams of the activated Bentonite mineral was added by 50 ml of liquid waste containing radionuclide Sr-90, the it was stirred at a constant speed of 200 rpm, the ion exchange time was varied as above mentioned, then proceeded to settling for 24 hours. Which leads to the separation between supernatant and sludge of bentonite mineral. The supernatant was analyzed using a low level background  $\alpha/\beta$  counter made in Canberra. The conclusion that can be drawn from the experimental result that with the activated, the ion exchange pH about 9, time of bentonite mineral of 30 minute, and the ion exchange time of 90 minutes resulted in decontamination factor (DF) of 179.48 and the ion exchange efficiency of 99.44 %. The final activity of the treated waste (supernatant) was in the order of  $0.84 \times 10^{-7}$   $\mu\text{Ci/ml}$ , with which it sufficiently safe to be dispersed to the environment (refer to the radiation, in which the MPC for Sr-90 is  $2.7 \times 10^{-6}$   $\mu\text{Ci/ml}$ ) safety work regulation of SK Dirjen BATAN : No: PN/03/180/DJ 89, the result of the safety limit.

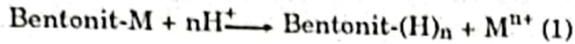
### PENDAHULUAN

Masalah utama yang dihadapi pada saat ini adalah timbulnya limbah radioaktif yang mengandung sejumlah radionuklida yang dapat membahayakan manusia bila tidak dikelola dengan baik. Salah satu nuklida yang perlu mendapat perhatian adalah nuklida Sr-90, yaitu isotop pemancar  $\beta$  murni dengan energi sebesar 195,8 keV dan waktu paruhnya sekitar 28,6

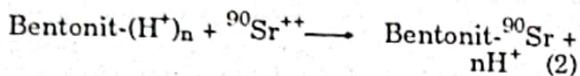
tahun yang berasal dari hasil fisi bahan bakar nuklir [1].

Limbah radioaktif tersebut dibuang perlu dikelola lebih dahulu agar tidak mudah tersebar ke lingkungan yaitu dengan metode penukaran ion. Dalam hal ini digunakan mineral lokal bentonit yang nantinya akan diaplikasikan sebagai bahan isi [2].

Aktivasi mineral bentonit dengan asam perlu dilakukan untuk membentuk ujung mineral menjadi lebih aktif karena adanya ion  $H^+$  yang terikat di ujung partikel mineral. Hal ini dapat dilihat pada persamaan reaksi di bawah ini [3,4].



Setelah proses aktivasi dilakukan maka ujung partikel bentonit menjadi relatif lebih mudah mengikat ion logam yang berada di sekelilingnya, atau dengan kata lain seandainya ion logam nuklida Sr-90, sehingga dengan demikian nuklida akan mudah terserap pada mineral bentonit seperti reaksi di bawah ini :



Sejauh mana pengaruh pengaturan pH aktivasi terhadap limbah cair yang mengandung nuklida Sr-90 dan penukaran ion, akan dipelajari untuk mengoptimasi perlakuan limbah cair. Efisiensi penukaran ion, dituliskan dengan satuan bilangan yaitu faktor dekontaminasi (FD) yang merupakan nisbah antara aktivitas awal dan aktivitas setelah dilakukan proses penukaran ion. Hal ini dapat diberikan dalam persamaan (1) sebagai berikut:

$$FD = A_o/A_t \quad (1)$$

FD adalah faktor dekontaminasi,  $A_o$  adalah aktivitas awal,  $A_t$  adalah aktivitas sesudah proses penukaran ion.

Atau dengan persamaan :

$$Ep = (A_o - A_t)/A_o \times 100 \% \quad (2)$$

Ep adalah efisiensi penukaran ion.

Sebagai akibat berubahnya pH aktivasi akan berpengaruh terhadap jumlah nuklida jumlah ion  $H^+$  dipermukaan molekul bentonit, seperti dapat dilihat pada reaksi (1) di atas. Juga pengaruh waktu penukaran ion dapat ditingkatkan dengan jumlah nuklida yang dapat diserap oleh mineral bentonit seperti terlihat pada reaksi (2). Dengan kata lain waktu penukaran ion akan mempengaruhi besar kecilnya hasil yang diperoleh.

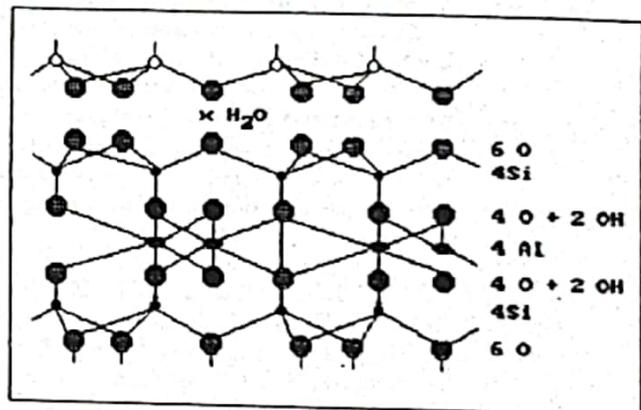
Pengertian bahan isi adalah suatu bahan yang dapat menyerap dan meredam pancaran energi radiasi yang dilepaskan oleh nuklida, yang lepas setelah limbah radioaktif dipadatkan dan disimpan. Kegunaan bahan isi dapat mengurangi atau menghambat dan menaikkan daya isolasi pengungkung radionuklida serta

dapat menjaga keutuhan bahan tersebut dari keretakan akibat perubahan cuaca.

Menurut Kanwar Raj, komposisi bahan isi an diterakan sebagai berikut [5].

Material	Komposisi % berat
Kuarsa	52
Montmorillonit	25
Vermikulit	14
Apatit	2
Magnetit	5
Antapulgit	2

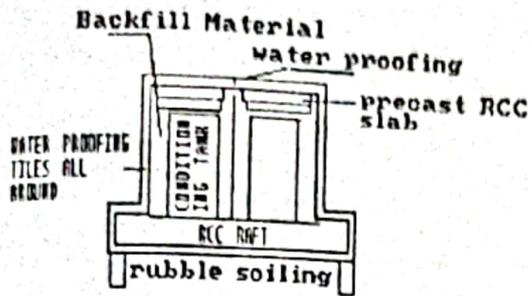
Unsur dominan bentonit adalah montmorillonit yang mempunyai bentuk struktur permukaan sebagai berikut :



Hasil analisis dari contoh kering bentonit ( $105^\circ C$ , % berat) yang diperoleh dari Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Bahan dan Barang Teknik Bandung, adalah sebagai berikut:

Mineral/senyawa	% berat
Silika ( $SiO_2$ )	64,4
Besi oksida ( $Fe_2O_3$ )	1,24
Alumunium oksida ( $Al_2O_3$ )	20,20
Kalsium oksida ( $CaO$ )	2,09
Magnesium oksida ( $MgO$ )	1,87
Kalium oksida ( $K_2O$ )	0,15
Hilang pijar, termasuk $CO_2$	8,27

Salah satu bentuk pemakaian bahan isi (backfill material) yang digunakan untuk meredam lindian radionuklida yang telah dipadatkan dengan bahan matriks semen atau yang lainnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



## BAHAN DAN PERALATAN

### Bahan

Bahan yang digunakan yaitu stronsium nitrat aktif ( $0,14 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$ ), bentonit (60/80 mesh), asam nitrat, akuades, NaOH.

### Peralatan

Alat-alat yang dipakai adalah pengaduk listrik, pH meter, alat pengukur waktu, peralatan gelas, timbangan analitik (Sartorius), alat cacah  $\alpha/\beta$ .

## TATA KERJA

### Proses aktivasi mineral bentonit

Satu kg bentonit yang telah diayak ukuran antara 60/80 mesh dimasukkan ke dalam tungku dan dipanaskan selama 3 jam pada suhu  $400^\circ\text{C}$ . 25 g bentonit yang telah dipanaskan ditambah larutan  $\text{HNO}_3$  0,15 N sampai pH 4 dan diaduk selama 10 menit dengan kecepatan pengadukan 200 rpm kemudian disaring dan dikeringkan dalam suhu kamar. Proses yang sama dilakukan untuk waktu pengadukan 30 dan 60 menit. Kemudian dilanjutkan ulangan untuk pH 5, 6, 7, 8, 9, 10 dan 11 dan diaduk selama 10, 30, dan 60 menit. Proses penukaran ion dengan bentonit yang telah diaktivasi terhadap nuklida Sr-90

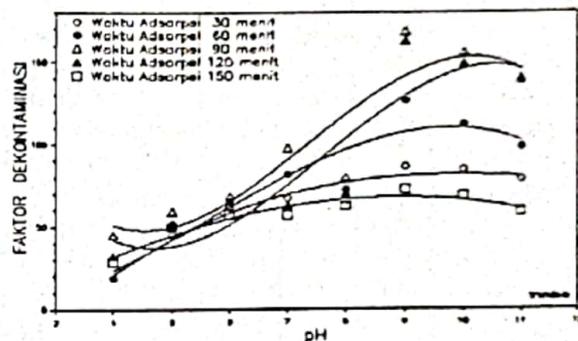
Dua gram bentonit dimasukkan ke dalam gelas kimia (100 ml), kemudian ditambahkan 50 ml  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  aktif (aktivitas awal  $0,14 \times 10^{-4} \text{mCi/ml}$ ) dan diaduk selama 30 menit. Kecepatan pengadukan 200 rpm, pada pH 4 dengan waktu aktivasi selama 10 menit. Selanjutnya endapkan selama 24 jam, kemudian beningan dianalisis dengan alat cacah  $\alpha/\beta$  latar rendah buatan Canberra. Dengan cara yang sama dilakukan untuk pH 5, 6, 7, 8, 9, 10 dan 11 dengan waktu aktivasi selama 10 menit. Pengulangan dilakukan setelah diperoleh pH optimal, dengan waktu pengadukan bervariasi selama

60, 90, 120 dan 150 menit, kemudian diendapkan selama 24 jam dan beningan dianalisis dengan alat cacah tersebut. Pada pH dan waktu pengadukan optimal, percobaan diulangi untuk waktu aktivasi 30 dan 60 menit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian setelah dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) ditampilkan pada beberapa gambar serta pada beberapa tabel pada lampiran.

Dari Gambar 1 dan Tabel 1 dapat dilihat bahwa pada waktu aktivasi selama 10 menit maka semakin tinggi pH dan waktu penukaran ion, semakin besar faktor dekontaminasi dan efisiensi.



Gambar 1. Faktor dekontaminasi vs. pH dengan waktu aktivasi 10 menit

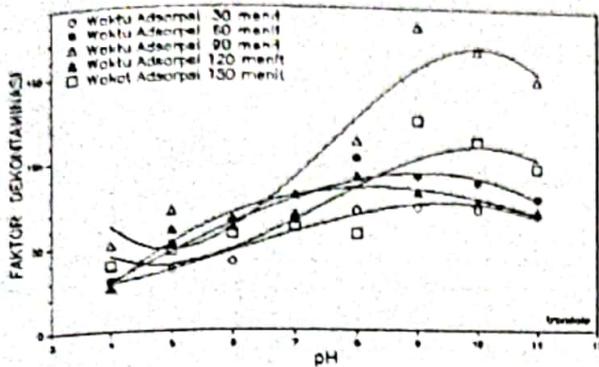
Pada pH 4 dan waktu penukaran ion 30 menit, faktor dekontaminasi 18,94 dan efisiensi 94,72% sedangkan pada pH 9 dengan waktu 90 menit, faktor dekontaminasi 168,67 dan efisiensi 99,41%. Hal ini disebabkan karena dengan naiknya pH, yang dominan adalah ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$ , sehingga ion tersebut akan relatif lebih sulit diikat dibandingkan dengan ion  $\text{H}^+$  yang terikat pada permukaan partikel mineral bentonit.

Di samping itu, waktu penukaran ion juga akan mempengaruhi waktu reaksi kesetimbangan penukaran ion tersebut. Di sini terlihat setelah waktu dinaikkan antara 120 - 150 menit maka faktor dekontaminasi semakin turun yaitu dari 168,67 menjadi 72,54 pada 150 menit.

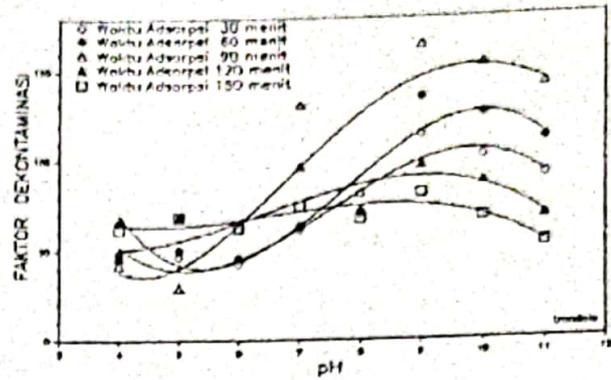
Pada Gambar 2 dan Tabel 2 perlakuan waktu aktivasi selama 30 menit dan waktu penukaran ion 90 menit serta pH 9 memberikan kenaikan FD dan efisiensi menjadi 179,48 dan

Tabel 1. Pengaruh perubahan pH dengan waktu aktivasi 10 menit, pH limbah 6, aktivitas awal ( $0,14 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/cc}$ ) dihubungkan dengan faktor dekontaminasi dan efisiensi.

No	pH	Waktu Proses	Aktivitas sesudah Proses ( $\times 10^{-6} \mu\text{i/cc}$ )	Faktor Dekontaminasi	Efisiensi (%)
1	4	30	0,739	18,94	94,72
2	5	30	0,311	45,02	97,78
3	6	30	0,225	62,22	98,39
4	7	30	0,208	67,31	98,51
5	8	30	0,203	68,97	98,55
6	9	30	0,162	86,42	98,84
7	10	30	0,166	84,22	98,81
8	11	30	0,178	78,45	98,72
9	4	60	0,739	18,94	94,72
10	5	60	0,278	50,36	98,01
11	6	60	0,214	65,42	98,47
12	7	60	0,171	81,87	98,78
13	8	60	0,192	72,92	98,63
14	9	60	0,111	12,13	99,21
15	10	60	0,125	11,92	99,91
16	11	60	0,142	98,30	98,98
17	4	90	0,310	45,16	97,78
18	5	90	0,236	59,32	98,31
19	6	90	0,204	68,63	98,54
20	7	90	0,143	97,90	98,98
21	8	90	0,182	79,92	98,70
22	9	90	0,083	168,67	99,41
23	10	90	0,089	155,70	99,36
24	11	90	0,099	140,30	99,29
25	4	120	0,428	32,71	97,78
26	5	120	0,268	52,24	98,08
27	6	120	0,214	65,42	98,47
28	7	120	0,224	62,50	98,40
29	8	120	0,203	68,97	98,55
30	9	120	0,086	162,79	99,38
31	10	120	0,094	148,71	99,32
32	11	120	0,100	139,21	99,28
33	4	150	0,482	20,06	96,56
34	5	150	0,278	59,04	98,01
35	6	150	0,243	57,61	98,26
36	7	150	0,246	56,91	98,24
37	8	150	0,224	62,50	98,40
38	9	150	0,193	72,54	98,62
39	10	150	0,204	68,55	98,54
40	11	150	0,238	58,72	98,30



Gambar 2. Faktor dekontaminasi vs. pH, waktu aktivasi 30 menit



Gambar 3. Faktor dekontaminasi vs. pH, waktu aktivasi 60 menit

99,44% bila dibanding bila waktu penukaran ion selama 15 menit pada Gambar 1, yaitu 168,76 dan 99,41%.

Hal ini bisa terjadi karena proses terjadinya bentonit H aktif lebih banyak sehingga, dapat menyerap kontaminan lebih banyak. Dengan kata lain bahwa variabel waktu aktivasi, penukaran ion dan pH sangat mempengaruhi proses ini.

Permasalahan seperti Gambar 1 menunjukkan pengertian bahwa kontaminan aktif yang sudah teradsorpsi menjadi labil dan mudah terdistribusi kembali ke dalam bentuk larutan.

Pada hasil akhir percobaan, bila waktu aktivasi dinaikkan menjadi 60 menit, dengan kata lain bahwa bentonit-H aktif yang terjadi lebih banyak, maka kontaminan aktif yang terserap ke dalam bentonit juga semakin banyak, namun kenyataannya dapat dilihat pada Gambar 3, dan Tabel 3.

Dinyatakan dalam teori bahwa semakin lama waktu aktivasi maka jumlah bentonit H<sup>+</sup> akan makin banyak, tetapi kenyataannya adalah bila waktu aktivasi dari 30 menit dinaikkan menjadi 60 menit, faktor dekontaminasi yang diperoleh malahan menjadi lebih kecil yaitu dari 179,48 menjadi 164,70.

Hal ini dapat terjadi karena bentonit-H yang terbentuk dipengaruhi dengan penambahan asam, kemudian bila waktu aktivasi terlalu lama, akan merusak kedudukan H<sup>+</sup> pada per-

mukaan dikarenakan adanya gesekan antar muka dari bahan penyerap tersebut. Waktu aktivasi optimal adalah selama 30 menit. Kenyataan ini dapat dibandingkan pada Gambar 1, 2 dan 3.

Dari ketiga gambar tersebut di atas, optimasi dari perubahan pH dan waktu penukaran ion serta hampir semua variabel menunjukkan bahwa, faktor dekontaminasi atau efisiensi yang optimal adalah pada pH 9 dan waktu penukaran ion selama 90 menit. Sedangkan waktu aktivasi bentonit yang optimum adalah selama 30 menit dan menghasilkan faktor dekontaminasi 179,48 serta efisiensi 99,94%. Agar jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1, 2 dan 3.

Variabel di atas menunjukkan bahwa, bentonit yang telah diaktifkan, dapat digunakan sebagai bahan isi atau bahan penyerap terhadap kontaminan yang telah lolos dari hasil pemadatan, sehingga kontaminan aktif terutama sejenis Sr-90 tidak mudah tersebar ke lingkungan, sebelum hasil pemadatan tersebut disimpan atau diproses lebih lanjut. Walaupun bahan bentonit tersebut dapat juga digunakan untuk perlakuan awal limbah Sr-90 sebelum diproses, karena hal ini dapat mengurangi kontaminan aktif yang ada di dalamnya, sehingga dengan demikian akan lebih mudah dalam pengolahan limbah yang mengandung Sr-90 pada proses selanjutnya. Hasil yang diperoleh masih dalam batas aman di bawah batas yang diinginkan.

Tabel 2. Pengaruh perubahan pH aktivasi dan waktu adsorpsi dengan waktu aktivasi 30 menit, pH limbah 6, aktivitas awal ( $0,14 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/cc}$ ) dibandingkan dengan faktor dekontaminasi dan efisiensi

No	pH	Waktu Proses	Aktivitas sesudah Proses ( $\times 10^{-6} \mu\text{i/cc}$ )	Faktor Dekontaminasi	Efisiensi (%)
1	4	30	0,471	29,72	96,64
2	5	30	0,392	35,71	97,20
3	6	30	0,349	40,11	97,51
4	7	30	0,219	63,93	98,44
5	8	30	0,198	70,71	98,58
6	9	30	0,193	72,54	98,62
7	10	30	0,196	71,20	98,60
8	11	30	0,204	68,30	98,54
9	4	60	0,493	28,40	96,48
10	5	60	0,278	50,36	98,01
11	6	60	0,218	64,22	98,44
12	7	60	0,214	65,42	98,47
13	8	60	0,139	100,72	98,01
14	9	60	0,155	90,32	98,89
15	10	60	0,160	87,22	98,85
16	11	60	0,178	78,33	98,73
17	4	90	0,278	50,36	98,01
18	5	90	0,246	59,91	98,24
19	6	90	0,214	65,42	98,47
20	7	90	0,205	68,29	98,54
21	8	90	0,078	111,11	98,10
22	9	90	0,084	179,48	99,44
23	10	90	0,085	165,45	99,40
24	11	90	0,094	148,35	99,32
25	4	120	0,546	25,64	96,10
26	5	120	0,278	50,35	98,01
27	6	120	0,236	59,32	98,31
28	7	120	0,232	60,34	98,34
29	8	120	0,182	76,92	98,70
30	9	120	0,155	90,32	98,89
31	10	120	0,172	81,39	98,77
32	11	120	0,186	75,26	98,67
33	4	150	0,364	38,46	97,40
34	5	150	0,299	46,82	97,86
35	6	150	0,248	56,45	98,23
36	7	150	0,230	60,87	98,36
37	8	150	0,246	56,91	98,24
38	9	150	0,123	123,82	99,12
39	10	150	0,126	111,25	99,10
40	11	150	0,146	96,20	98,45

Tabel 3. Pengaruh perubahan pH aktivasi, waktu dan adsorpsi dengan waktu aktivasi 60 menit, pH awal limbah 6, aktivitas awal ( $0,14 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/cc}$ ) yang dihubungkan dengan faktor dekontaminasi dan efisiensi

No	pH	Waktu Proses	Aktivitas sesudah Proses ( $\times 10^{-6} \mu\text{Ci/cc}$ )	Faktor Dekontaminasi	Efisiensi (%)
1	4	30	0,289	48,44	97,94
2	5	30	0,297	47,14	97,80
3	6	30	0,329	42,55	96,61
4	7	30	0,227	61,67	98,34
5	8	30	0,197	71,06	98,58
6	9	30	0,123	111,82	99,12
7	10	30	0,137	101,83	99,00
8	11	30	0,153	91,22	98,94
9	4	60	0,214	65,42	98,47
10	5	60	0,278	50,36	98,01
11	6	60	0,305	45,90	97,82
12	7	60	0,221	63,35	98,42
13	8	60	0,999	70,35	98,58
14	9	60	0,004	134,65	99,26
15	10	60	0,112	125,23	99,20
16	11	60	0,127	110,55	99,09
17	4	90	0,471	29,72	97,63
18	5	90	0,332	42,51	96,64
19	6	90	0,221	63,35	98,42
20	7	90	0,107	130,84	99,24
21	8	90	0,171	81,87	98,78
22	9	90	0,085	164,70	99,39
23	10	90	0,092	153,45	99,34
24	11	90	0,099	141,25	99,29
25	4	120	0,299	46,82	97,86
26	5	120	0,203	68,96	98,55
27	6	120	0,305	45,90	97,82
28	7	120	0,145	96,55	98,96
29	8	120	0,195	71,79	98,61
30	9	120	0,144	97,22	98,97
31	10	120	0,159	87,79	98,86
32	11	120	0,205	68,22	98,53
33	4	150	0,225	62,22	98,39
34	5	150	0,203	68,97	98,55
35	6	150	0,222	63,06	98,41
36	7	150	0,187	74,87	98,66
37	8	150	0,227	67,63	98,52
38	9	150	0,171	81,87	98,78
39	10	150	0,204	68,47	98,54
40	11	150	0,263	53,22	98,12

## KESIMPULAN

Dari permasalahan, percobaan dan hasil pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut, bahwa bentonit dapat digunakan untuk bahan isi (backfill material) apabila diaktifkan terlebih dahulu dengan asam nitrat 0,15 N, agar permukaan bentonit menjadi lebih aktif, atau dikenal dengan bentonit-H. Waktu aktivasi divariasasi dari 10 sampai 60 menit dan hasil yang paling baik adalah pada waktu 30 menit dengan pH aktivasi optimal pada pH 9. Waktu penukaran ion juga dipelajari untuk mengetahui kemampuan mineral bentonit yang digunakan menyerap kontaminan Sr-90 (aktivitas awal  $0,14 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$ ). Dari ketiga gambar dan tabel ditunjukkan bahwa waktu optimal

selama 90 menit, memberikan faktor dekontaminasi 179,48 dan efisiensi penukaran ion 99,44 %. Aktivitas Sr-90 setelah proses penukaran ion menjadi  $0,84 \times 10^{-7} \text{ mCi/ml}$ , sedangkan batas yang diijinkan menurut SK DIRJEN BATAN No: PN 03/180/DJ/89 tentang ketentuan keselamatan kerja radiasi untuk Sr terlarut sekitar  $2,7 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$ . Variabel yang optimal diharapkan dapat diaplikasikan pada penggunaan bahan isi, dengan demikian dapat diketahui sejauh mana sifat penyerapan terhadap kontaminan Sr-90 atau sejenisnya, sehingga dapat menambah cakrawala baru apakah bentonit dapat digunakan sebagai bahan isi (backfill material) atau sebagai bahan perlakuan sebelum limbah diproses selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Prout, W.E. Ion exchange of fision product by Savanah River Plant Soil, Separation Chemistry Devison, Savanah River Laboratory (July 1959).
2. IAEA., Use of local mineral in the treatment of radioactive waste, Technical Report Series No. 136, Vienna (1972).
3. Lacy, W.J., Radioactive waste disposal report on separation liquid waste shale column experiment, Oak Ride National Laboratory (1978).
4. Munir, Bambang Sadewa, Pengaktifan bentonit untuk lumpur bordan koagulan, Laporan Lengkap Laboratorium Penelitian Teknologi Kimia, Departeman Teknologi Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung (1988).
5. Kanwar, R., Wattal P.R., Conditioning of low heat generating radioactive waste by incorporating in barrier impregnated composite matrices, A review of experiences in Industrial scale operations, Proceedings of Symposium Utrecht 1982, IAEA (1983).