

PENGARUH PANAS TERHADAP FUNGSI ADITIF KALSIUM HIDROKSIDA PADA IMMOBILISASI LIMBAH RESIN

Isman M.T., Endro Kismolo, Sukarman A.
PPNY-BATAN, Jl. Babarsari, P.O. Box 1008, Yogyakarta 55010

ABSTRAK

PENGARUH PANAS TERHADAP FUNGSI ADITIF KALSIUM HIDROKSIDA PADA IMMOBILISASI LIMBAH RESIN. Telah dilakukan penelitian pengaruh panas terhadap fungsi aditif kalsium hidroksida pada immobilisasi limbah resin yang berasal dari Reaktor Kartini menggunakan semen portland type I merk Nusantara. Penelitian dilakukan dengan cara mencampur semen, air, limbah resin dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ke dalam suatu wadah yang diikuti dengan pengadukan memakai mixer sampai terbentuk adonan yang homogen. Adonan yang terjadi dimasukkan ke dalam tabung polietilen ukuran diameter 3 cm, tinggi 4 cm, untuk dilakukan pemeraman selama 28 hari. Blok monolit yang terjadi dipanaskan pada suhu kamar, 200 °C dan 400 °C menggunakan Furnace, dan dilanjutkan dengan uji kuat tekan dan uji lindi. Variasi limbah resin yang diteliti mulai dari 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, 21% dan 24% terhadap berat total. Perbandingan air terhadap semen yang diteliti adalah 0,28; 0,35; 0,4. Jumlah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang ditambahkan sebanyak 0% dan 0,5% dari berat total. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk sampel yang tidak diberi aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mempunyai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan sampel yang diberi aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$, tetapi lebih mudah retak pada uji panas dan uji lindi. Adanya aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebanyak 0,5% dengan perbandingan air terhadap semen sebesar 0,4 cukup baik untuk digunakan dalam sementasi limbah resin sebanyak 24%.

ABSTRACT

THE INFLUENCE CALCIUM HYDROXIDE ADDITION ON THE IMMOBILIZATION OF RESIN WASTES. The investigation of the influence calcium hydroxide addition on the immobilization of resin wastes which was coming from Reaktor Kartini used cement portland type I mark Nusantara was done. The experiment was conducted by mixing cement water, resin wastes and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with in container, followed by stirring the mixture up to homogen phase of paste was obtained. The homogen phase of paste was then put into polyethylene tube with the size of 3 cm in diameter and 4 cm in height and was cured for 28 days, so that the monolith block was formed. The monolith block was then heated at the ambient temperature, 200 °C, 400 °C used Furnace and was continued by compressively tested and leach tested. The variation resin wastes that experimented were 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, 21% and 24% from total weight. The ratio water to cements that experimented were 0,28; 0,35; 0,4. The number of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ that added were 0% and 0,5% from total weight. The result showed that sample without additives $\text{Ca}(\text{OH})_2$ had compressive strength higher than sample with additive $\text{Ca}(\text{OH})_2$, but the sample with additives easier cracking than sample without additives on heat tested and leach tested. Additives $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,5% with ratio water to cements 0,4 have good result to immobilization resin wastes up to 24%.

PENDAHULUAN

Bagian yang penting dalam pengoperasian fasilitas nuklir adalah penanganan keselamatan dan pengolahan limbah radioaktif yang ditimbulkan. Reduksi volume limbah dan kemudahan prosedur penanganan limbah harus dipikirkan untuk menurunkan biaya operasional, baik dalam pengolahan maupun dalam penyimpanan akhir. Salah satu macam limbah yang ditimbulkan dengan beroperasinya reaktor penelitian penelitian di PPNY-BATAN adalah

limbah resin organik dalam jumlah yang cukup banyak. Dalam operasi reaktor nuklir, butiran resin organik digunakan untuk sistem pembersih air pendingin reaktor.

Resin termasuk senyawa organik yang mempunyai sifat dapat bakar, untuk itu penanganan limbah resin organik dapat dilakukan dengan cara insenerasi (pembakaran) dan dilanjutkan dengan pemadatan abu hasil pembakaran. Cara lain untuk menangani limbah resin adalah dengan memadatkan secara langsung resin tersebut memakai bahan matrik semen. Pemadatan memakai bahan matrik semen (biasa disebut dengan

sementasi) merupakan cara yang sederhana, mudah dikerjakan, dapat dikerjakan dalam suhu kamar dan biaya operasional yang diperlukan relatif murah serta blok monolit yang dihasilkan dapat berfungsi sebagai tameng terhadap radiasi yang ditimbulkan. Kelemahan sementasi limbah radioaktif adalah adanya senyawa kimia dalam baik yang bersifat radioaktif maupun yang non radioaktif dalam jumlah tertentu akan mempengaruhi proses hidrasi semen. Hal ini akan mengakibatkan kekuatan mekanik blok semen menjadi berkurang, kekuatan tekan dan ketahanan pelindian terhadap blok semen menjadi rendah.

Dalam sementasi limbah resin akan dijumpai masalah yang cukup serius, yaitu blok monolit yang dihasilkan dapat mengalami keretakan sebagai akibat adanya *swelling*. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu dilakukan penambahan *additives* untuk memperbaiki kualitas hasil dari proses sementasi. Banyak macam *additives* yang dapat dipergunakan, yaitu kapur, pasir, vermikulit, silikat. Kapur atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ telah banyak digunakan sebagai bahan *additives* dalam proses sementasi, karena kemampuannya dalam memperbaiki kualitas produk yang dihasilkan. Bertitik tolak dari masalah ini, maka diduga kapur dapat juga dipergunakan sebagai *additives* dalam sementasi limbah resin dan diharapkan kualitas hasil sementasi menjadi lebih baik.

Pengujian hasil proses sementasi harus dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kualitas hasil sementasi. Pengujian tersebut diantaranya uji kuat tekan, uji lindi, uji panas. Persyaratan yang harus dipenuhi hasil proses sementasi diantaranya adalah bahwa kuat tekan yang dihasilkan minimum sebesar $2,5 \text{ N/mm}^2$ setelah dibebani limbah dan diperam selama 28 hari, laju lindi sebesar $10^{-3} \text{ gram/(cm}^2 \text{ hari)}$ pada hari ke 90. Adanya panas merupakan salah satu penyebab menurunnya kualitas monolit blok hasil proses sementasi, karena efek panas pada blok monolit dapat menyebabkan degradasi ikatan antar partikel dalam blok monolit semen yang sudah terbentuk dari hasil reaksi hidrasi semen. Hal ini terjadi karena reaksi hidrasi semen merupakan reaksi eksotermis, maka panas dari luar yang diterima oleh blok monolit menjadi kendala terbentuknya produk hidrasi yang sempurna.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui/mempelajari pengaruh panas terhadap kekuatan tekan dan ketahanan pelindian blok monolit hasil sementasi limbah resin dengan penambahan aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sejalan dengan ini,

akan dapat pula ditentukan kondisi terbaik proses sementasi limbah resin.

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Alat Yang Dipergunakan.

1. Pengaduk
2. Tabung polietilen
3. Alat uji tekan Paul Weber
4. Timbangan sartorius
5. Tungku pemanas
6. Gelas beker dan alat gelas yang lain.
7. Furnace Thermoline Sybron

Bahan Yang Digunakan

1. Semen *portland* merk Nusantara
2. Aquades
3. $\text{Ca}(\text{OH})_2$
4. Limbah resin

Cara Kerja.

1. Penentuan perbandingan air terhadap semen (A/S).

Untuk menentukan perbandingan air terhadap semen yang digunakan, dilakukan variasi perbandingan A/S sebesar 0,28; 0,3; 0,35; 0,40; 0,45 dan 0,5.

2. Perlakuan limbah resin.

Sebelum limbah resin dipadatkan, terlebih dahulu dilakukan penjenuhan resin menggunakan larutan $\text{Sr}(\text{NO})_2$. Penjenuhan dilakukan dengan cara merendam resin dalam larutan $\text{Sr}(\text{NO})_2$ selama 1 minggu.

3. Penentuan pengaruh limbah resin terhadap hasil sementasi.

Untuk mengetahui pengaruh limbah terhadap hasil sementasi, dilakukan pembuatan adonan yang terdiri semen, air dan resin. Perbandingan air/semen yang digunakan diambil dari hasil percobaan 1, dipilih yang paling baik. Jumlah resin yang ditambahkan dilakukan variasi, yaitu sebesar 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, 21%, 24% terhadap berat total. Pembuatan adonan dilakukan dengan menuangkan semen, resin dan air ke dalam wadah yang dilanjutkan dengan pengadukan memakai pengaduk (*mixer*) sampai terbentuk adonan yang homogen. Adonan yang terjadi dimasukkan ke dalam tabung polietilen ukuran diameter 3 cm, tinggi 4 cm, dilanjutkan dengan pemeraman selama 28 hari. Blok monolit

yang terjadi selanjutnya dilakukan uji tekan, uji lindi dan uji panas.

4. Pengaruh additives $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Untuk mengetahui pengaruh *additives* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada proses sementasi, maka dilakukan pembuatan adonan yang terdiri semen, air, resin dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebanyak 0,5% dari berat total. Selanjutnya dilakukan proses yang identik seperti pada butir 3 di atas.

5. Uji panas.

Untuk mengetahui ketahanan hasil proses sementasi, maka dilakukan uji panas, yaitu dengan cara memanaskan blok monolit yang dihasilkan pada suhu pemanasan 50°C, 100°C, 150°C, 200°C, 300°C, 350°C, 400°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Penentuan Perbandingan Air/Semen (A/S).

Hasil percobaan penentuan perbandingan A/S dapat dilihat pada tabel 1. Dari tabel 1 tersebut tampak bahwa pada A/S antara 0,28 sampai 0,35; kuat tekan yang dihasilkan semakin besar, selanjutnya kuat tekan yang dihasilkan menurun dengan naiknya harga A/S. Hal ini disebabkan karena reaksi hidrasi semen dipengaruhi oleh ketersediaan air yang ada. Semakin sedikit jumlah air yang tersedia maka reaksi hidrasi yang terjadi semakin tidak sempurna. Akan tetapi jika jumlah air yang tersedia berlebihan, maka akan mengakibatkan terjadi *bleeding* dan blok monolit yang terjadi menjadi *porous*. Hal ini akan menurunkan hasil kuat tekan.

Tabel 1. Hasil kuat tekan blok semen setelah pemeraman 28 hari.

No	Perbandingan air/semen	Kekuatan Tekan (N/mm ²)
1	0,28	30,575
2	0,30	31,705
3	0,35	40,764
4	0,40	36,234
5	0,45	31,705
6	0,50	27,176

Dari hasil pengujian statistik menunjukkan bahwa kuat tekan untuk A/S = 0,3 sampai 0,4 tidak menunjukkan adanya perbedaan perbedaan yang bermakna pada tingkat keyakinan 95% ataupun 95%. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa untuk

harga A/S yang dapat dipergunakan untuk penelitian selanjutnya adalah antara 0,3 sampai 0,4.

Pengaruh Panas Terhadap Hasil Sementasi Limbah Resin.

Hasil percobaan untuk mengetahui pengaruh panas terhadap kuat tekan blok monolit hasil proses sementasi dapat dilihat dalam tabel 2. Dari tabel tersebut tampak bahwa limbah resin sangat mempengaruhi hasil proses sementasi, adanya kandungan resin sebanyak 3% saja sudah mempengaruhi kuat tekan yang dihasilkan. Semakin tinggi kandungan limbah resin dalam monolit blok, maka semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan, baik setelah dilakukan pemanasan ataupun sebelum dilakukan pemanasan pada suhu 200°C dan 400°C. Penurunan ketahanan tekan blok monolit ini disebabkan karena adanya substansi limbah resin yang menyebabkan terjadinya *swelling*. Semakin banyak limbah resin yang dicampurkan dalam blok monolit, maka semakin besar *swelling* yang terjadi. Dengan adanya limbah resin yang semakin banyak akan memperbesar jarak antar partikel semen dalam blok monolit yang terjadi. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya monolitis semen, yang akhirnya akan menurunkan kuat tekan blok monolit.

Dari tabel 2. dapat diketahui bahwa variabel panas perlu diperhitungkan dalam proses sementasi limbah radioaktif. Dari tabel 2 juga dapat diperoleh informasi bahwa semakin tinggi suhu pemanasan hasil sementasi, maka kekuatan mekanik blok semen semakin rendah (kuat tekan yang dihasilkan semakin rendah). Walaupun demikian harga kuat tekan yang diperoleh semuanya masih memenuhi persyaratan hasil proses sementasi. Persyaratan hasil proses sementasi minimum mempunyai kuat tekan sebesar 2,5N/mm².

Penambahan aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada sementasi limbah resin ternyata juga menurunkan kekuatan mekanik blok semen. Tetapi penambahan aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mempunyai pengaruh positif terhadap ketahanan panas. Hal ini terbukti untuk sampel yang tidak diberi aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$, setelah dilakukan pemanasan kekuatan tekan blok monolit yang dihasilkan menjadi lebih rendah.

Pada pemanasan sebesar 200 °C, untuk sampel dengan beban limbah resin sebesar 30% sudah mengalami keretakan jika tidak diberi aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pada pemanasan sebesar 400 °C, untuk sampel dengan beban resin diatas 12% sudah mengalami keretakan jika tidak diberi aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Akan tetapi setelah sampel diberi aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebanyak 0,5% baru akan mengalami keretakan untuk beban limbah resin di atas 24%

pada pemanasan setinggi 400 °C. Dari keadaan yang demikian, maka dapat disimpulkan bahwa adanya aditif Ca(OH)₂ menyebabkan blok semen menjadi lebih tahan terhadap adanya panas.

Tabel 2. Pengaruh panas terhadap kuat tekan hasil sementasi limbah resin.

Jumlah Resin (%)	Kuat Tekan (N/mm ²)					
	Ca(OH) ₂ = 0 %			Ca(OH) ₂ = 0,5 %		
	t kamar	200 °C	400 °C	t kamar	200 °C	400 °C
0	33,291	15,204	10,402	26,726	22,646	16,434
3	27,176	14,208	7,504	22,049	12,929	7,241
6	22,873	12,741	5,842	21,137	9,424	6,208
9	23,779	12,250	7,282	21,741	12,740	5,242
12	22,647	11,412	5,282	16,909	10,117	7,202
15	18,344	11,241	Retak	14,192	6,808	5,248
18	15,399	7,504	Retak	14,786	6,429	4,274
21	11,963	5,542	Retak	14,192	5,424	4,121
24	9,963	5,282	Retak	12,984	5,742	4,015
30	8,606	Retak	Retak	12,078	4,241	Retak

Tabel 3. Pengaruh panas terhadap laju pelindian hasil proses sementasi limbah resin tanpa penambahan aditif Ca(OH)₂ dan dengan penambahan aditif Ca(OH)₂ = 5% (kondisi: perbandingan air/semen = 0,4; jumlah resin = 24%)

Jumlah Resin (%)	Laju Pelindian (x 10 ⁻³ Gram Cm ⁻² Hari ⁻¹)					
	Ca(OH) ₂ = 0 %			Ca(OH) ₂ = 0,5 %		
	t kamar	200 °C	400 °C	t kamar	200 °C	400 °C
1	9,03	1,22	1,30	1,02	1,16	1,35
2	1,93	2,92	3,41	2,15	3,41	3,94
3	2,59	2,84	hancur	2,64	2,95	3,41
4	hancur	hancur	hancur	1,90	2,17	2,44
5	hancur	hancur	hancur	1,61	1,74	1,95
7	hancur	hancur	hancur	1,29	1,24	1,40
14	hancur	hancur	hancur	0,70	0,66	0,69
21	hancur	hancur	hancur	0,52	0,47	0,46
28	hancur	hancur	hancur	0,37	0,33	0,34
64	hancur	hancur	hancur	0,17	0,14	0,15
71	hancur	hancur	hancur	0,14	0,14	0,14
78	hancur	hancur	hancur	0,13	0,14	0,14

Keterangan :

1. T=kamar : sampel tidak dilakukan pemanasan
2. T=200 °C: sampel dipanaskan sampai suhu 200 °C.
3. T=400 °C: sampel dipanaskan sampai suhu 400 °C.

Untuk mengetahui pengaruh panas dalam blok monolit hasil proses sementasi limbah resin terhadap laju pelindian, dapat dilihat dalam tabel 3.

Dari tabel 3 terlihat bahwa adanya Ca(OH)₂ sangat berpengaruh terhadap kualitas produk sementasi limbah resin. Untuk sampel yang tidak diberi tambahan aditif Ca(OH)₂ baik yang dilakukan pemanasan ataupun yang tidak dilakukan pemanasan, mengalami kehancuran dalam uji lindi. Hal ini tidak diperbolehkan dalam hasil proses sementasi, karena akan mengakibatkan radionuklida yang diikat menjadi terlepas lagi ke lingkungan. Hasil yang didapat dari uji lindi untuk sampel yang telah diberi aditif Ca(OH)₂, baik yang tidak dipanaskan ataupun yang dipanaskan sampai suhu 400 °C masih di bawah persyaratan hasil sementasi. Persyaratan hasil sementasi, kecepatan pelindian yang diperbolehkan minimum 10⁻³ gram cm⁻² hari⁻¹ pada hari ke 90. Kenyataan ini menunjukkan bahwa aditif Ca(OH)₂ cukup baik digunakan dalam sementasi limbah resin.

Dari data-data hasil uji lindi yang diperoleh, selanjutnya dapat digunakan untuk memperkirakan besar laju pelindian setelah hari ke 78. Besar laju lindi setelah hari ke 78, secara empiris dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut :

- a. Untuk sampel yang tidak dipanaskan

$$Y = \frac{[4,8198 - \ln(X - 3,956)]}{4,2} \text{ gram Cm}^{-2} \text{ hari}^{-1}$$

Y = Laju pelindian setelah hari ke X, untuk X ≥ 4

- b. Untuk sampel yang dipanaskan sampai suhu 200 °C

$$Y = \frac{[4,8977 - \ln(X - 4,521)]}{4,9} \text{ gram Cm}^{-2} \text{ hari}^{-1}$$

Y = Laju pelindian setelah hari ke X, untuk X ≥ 5

- c. Untuk sampel yang dipanaskan sampai suhu 400 °C

$$Y = \frac{[4,8605 - \ln(X - 4,100)]}{4,1} \text{ gram Cm}^{-2} \text{ hari}^{-1}$$

Y = Laju pelindian setelah hari ke X, untuk X ≥ 5

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Ca(OH)₂ dapat digunakan sebagai aditif dalam sementasi limbah resin.

2. Adanya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam sementasi limbah resin menurunkan hasil kuat tekan, tetapi blok monolit menjadi lebih tahan terhadap panas dan pelindian.
3. Jumlah limbah resin yang dapat dilakukan proses sementasi sebanyak 24 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA and NEA, Management of Radioactive Waste From The Nuclear Fuel Cycle, Proceeding of Symposium, Vienna, March 1976.
2. SUPARDI, Penelitian Fiksasi Resin Bekas Dengan Semen, prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, ISSN 0216-3128, PPNY-BATAN, 1988.
3. ANTONO, A., Teknologi Beton, Teknik Sipil F.T. UGM, Yogyakarta, 1980.
4. BROWNSTEIN, M., LEVESQUE, R. G., Experience With Cement Usage as The Binding Agent For Radwaste, ASME Publication, New York, 1979.
5. IAEA, Management of Radioactive Waste From Nuclear Fuel Cycle, Volume II, Vienna, 1976.

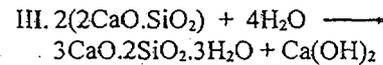
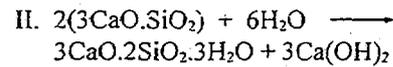
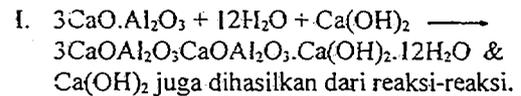
TANYA JAWAB

Bambang Guritno

Mengapa sampel yang tidak diberi aditif $\text{Ca}(\text{OH})_2$ memiliki kuat tekan yang lebih besar, padahal dalam reaksi pembentukan Tri kalsium silikat, kekuatan blok monolit semen terjadi karena reaksi antara SiO_2 dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$? Apakah ini tidak bertentangan dengan teori?

Isman Mulyadi

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam reaksi hidrasi semen digunakan untuk reaksi :



Kebutuhan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang digunakan untuk I, sebenarnya sudah cukup disubsidi dari reaksi II & III. Jika kebutuhan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang digunakan untuk reaksi I berlebihan (dengan tambahan dari luar), maka yang terjadi lebih sempurna. Kemungkinan hal ini menyebabkan blok monolit bersifat menjadi lebih plastis, tetapi disisi lain dengan adanya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang berlebihan mengakibatkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bersifat inert sehingga kekuatan tekan menjadi turun.

Bambang Suharto

Apakah limbah resin ini mengandung nuklida yang dalam peluruhannya menimbulkan panas tinggi sehingga perlu diteliti pengaruh panasnya, atau ada pertimbangan lain, misalnya pada saat penyimpanan limbah olahan tersebut terdapat kemungkinan resiko kebakaran?

Isman Mulyadi

Limbah resin yang dipakai hanya sebatas pada limbah resin dari sistem clean up pendingin primer reaktor nuklir. Akibatnya limbah resin termasuk jenis limbah aktivitas rendah. Walaupun limbah aktivitas rendah, tetapi peluruhan unsur radioaktif selalu menimbulkan panas (panas ekuivalen dengan energi). Bertitik tolak dari masalah ini, maka untuk mencapai kondisi ekstrim adanya pengaruh panas tetap harus diteliti, disamping untuk menjaga kalau terjadi keadaan darurat (kebakaran).