

PENGARUH PANAS TERHADAP BLOK SEMEN HASIL PEMADATAN LIMBAH CHROM DAN STRONSIUM YANG DIPERKUAT DENGAN FIBER ALAMI

Susetyo Hario Putero, Nunung Prabaningrum *)

ABSTRACT

*Cementation of hazardous liquid waste is one of the methods to minimize its detrimental effect on the environmental quality and human health. This research purpose was to study the effect of temperature on the cement block reinforced by coconut (*Cocos nucifera*) fiber and bamboo (*Bambusa vulgaris*) fiber.*

This research was pursued by adsorbing stronsium waste and chrom using zeolite. 13% v/o of zeolite was mixed with 0,3 of water/cement ratio and 0,5% v/o of natural fiber. The cement blocks produced were heated at 27°C, 50°C, 100°C, 150°C, 200°C and 250°C for 10 minutes and then investigated their compressive strength and leaching rate.

*The hydration reaction completely works when cement block is heated until certain temperature that results in the increasing of its compressive strength. Over heated results in the decreasing of compressive strength due to the enlarging of pores between cement matrix and fiber. However, the compressive strength of cement block heated up to 250°C is still beyond the standard. Based on its compressive strength, the bamboo (*Bambusa vulgaris*) fiber is more feasible than coconut (*Cocos nucifera*) fiber for reinforcing cement block. Heating just influences on the physics properties of cement block. But, the ability of block cement to immobilize a matter is affected by properties of matters.*

LATAR BELAKANG MASALAH

Dengan semakin berkembangnya industri, maka masalah pencemaran lingkungan yang ditimbulkan dari bahan beracun dan berbahaya yang dikeluarkan dari suatu industri menjadi semakin besar dan kompleks pula. Terutama yang berjangka panjang seperti limbah radioaktif. Sehingga masalah pencemaran lingkungan sedang menjadi perhatian serius dari masyarakat.

Pada dasarnya limbah bahan beracun dan berbahaya, khususnya yang berjangka panjang, sulit dihilangkan dengan pengolahan biasa. Untuk menangani limbah seperti itu, hal yang dapat dilakukan adalah dengan memadatkan dan menyimpannya sampai aktivitasnya meluruh ke tingkat yang aman untuk dibuang ke lingkungan. Pemadatan

ini dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa macam bahan, yaitu semen (sementasi), aspal (bitumenisasi) dan gelas (vitrifikasi) (Tang and Saling, 1990).

Teknik sementasi yang digunakan harus mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi dan laju pelindian yang rendah. Sifat-sifat fisik dari semen dapat ditingkatkan dengan memasukkan fiber ke dalam semen. Fiber dapat diklasifikasikan menjadi : fiber metalik, fiber polimerik, fiber mineral dan fiber alami murah (Balaguru, and Shah, 1992). Fiber alami relatif lebih mudah didapat dan secara ekonomis lebih murah. Penambahan fiber dari sabut kelapa (*Cocos nucifera*) ke dalam semen dapat meningkatkan kuat tekan blok semen (Putero dan Rosita, 2001). Berdasarkan aspek kemudahan didapat tersebut, maka sabut kelapa (*Cocos nucifera*) dan bambu (*Bambusa vulgaris*) menjadi prioritas untuk digunakan.

Selain kekuatan mekanik, juga diperlukan ketahanan terhadap panas baik yang ditimbulkan secara eksternal maupun internal. Sumber panas eksternal adalah lingkungan dimana padatan hasil sementasi tersebut ditempatkan. Sedang sumber internalnya adalah energi yang ditimbulkan oleh adanya bahan beracun dan berbahaya tersebut di dalam semen.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis fiber alami yang dapat memberikan ketahanan panas terbesar. Selain itu juga akan diketahui kekuatan mekanik padatan yang telah diuji thermal serta kemampuan imobilisasi beberapa unsur.

CARA PENELITIAN

Zeolit alam yang telah diaktivasi dengan pemanasan 250°C dan penambahan HF 0.1 N dibasahi dengan air sampai jenuh dan kemudian ditiriskan. Jumlah zeolit dan faktor air semen (fas) yang digunakan sebesar 13% dan 0.3 (Sugiman, 1997). Penelitian ini menggunakan semen dengan komposisi SiO₂ (20.8%), Al₂O₃ (6.9%), Fe₂O₃ (3.0%), CaO (63.7%), MgO (2.0%), SO₃ (1.6%), *loss on ignition* (1.5%) dan *insoluble residue* (0.5%).

Sebelum di sementasi, zeolit digunakan untuk menyerap ion Sr²⁺ dan Cr³⁺ dalam 200 ppm larutan Sr(NO₃)₂ dan Cr(NO₃)₃. Komposisi tersebut dicampur serat dari serabut kelapa (*Cocos nucifera*) dan bambu (*Bambusa vulgaris*) dengan panjang 3 cm dan komposisi serat 0.50% v/o. Selanjutnya diaduk, dicetak dan diperam selama 30 hari. Blok semen hasil pemeraman kemudian dipanaskan dengan variasi suhu 27°, 50°, 100°, 150°, 200° dan 250° C. Selanjutnya blok semen diuji tekan dan lindi. Uji lindi dilaksanakan dengan memasukkan blok ke dalam bejana yang berisi air dengan volume 10 kali luas permukaan blok. Air dicuplik dalam waktu 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18 dan 21 hari untuk mengetahui waktu dimana laju lindi mulai konstan. Analisa cuplikan dilaksanakan dengan Spektroskopi Serapan Atom. Laju lindi dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Laju lindi} = \frac{A_t}{A_0} \times \frac{W_0}{S \times t}$$

- A_t = Konsentrasi terlindi dalam waktu t (ppm)
 A₀ = Konsentrasi awal (ppm)
 W₀ = Berat blok semen (gr)
 S = Luas permukaan blok semen (cm²)
 t = Waktu lindi (hari)
 D = Diameter blok semen (2,2 cm)
 h = Tinggi blok semen (4,4 cm)

Perbandingan hasil antara imobilisasi limbah chrom dengan stronsium dilakukan untuk mengetahui ketahanan padatan untuk mengungkung limbah yang mengandung unsur yang berbeda.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil uji panas (*thermal*) blok semen setelah pemeraman selama 30 hari adalah sebagai berikut:

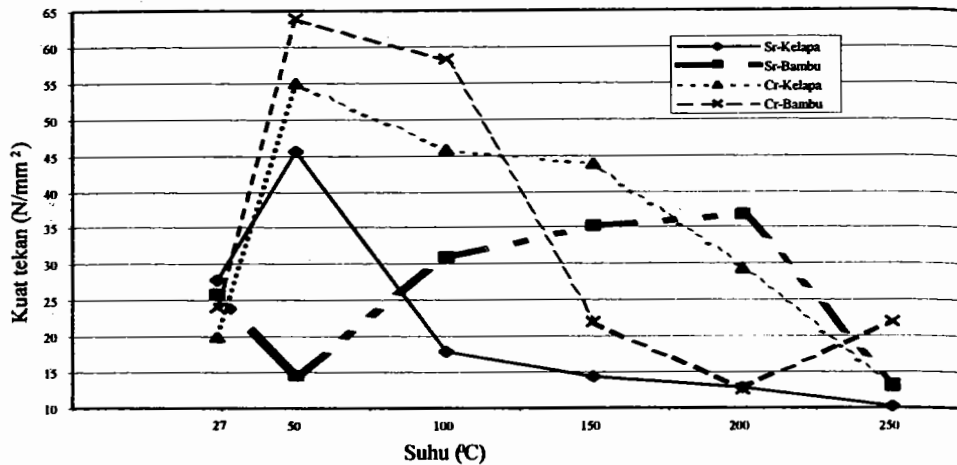
Tabel 1. Data hasil uji panas (*thermal*).

Suhu (°C)	Kuat Tekan (N/mm ²)			
	Sr-Kelapa	Sr-Bambu	Cr-Kelapa	Cr-Bambu
27	27,62	25,65	19,84	23,99
50	45,57	14,56	55,02	63,93
100	17,91	30,87	45,81	58,20
150	14,40	35,34	43,93	22,09
200	12,80	36,89	29,37	12,61
250	10,31	13,33	13,09	22,01

Keterangan : Sr : Stronsium
 Kelapa : serabut kelapa
 Cr : Chrom
 Bambu : serat bambu

Menurut Zange (1983) kuat tekan minimal adalah 2,5 N/mm² (Suryati,1992). Dari hasil terlihat bahwa kuat tekan blok semen yang dihasilkan jauh diatas syarat minimal tersebut, sehingga memadai untuk digunakan sebagai bahan pematat limbah bahan beracun dan berbahaya.

Reaksi hidrasi antara semen dan air membentuk gel-gel. Air yang dibutuhkan untuk proses ini hanya sekitar 25% dari berat semen. Jumlah air yang melebihi 25% akan menyebabkan jarak antar gel menjadi lebar, sehingga ukuran pori akan menjadi lebih besar pula. Pelebaran pori-pori ini menyebabkan kuat tekan menurun. Zeolit yang basah juga menyebabkan penambahan jumlah air. Pada saat blok dipanaskan sisa air yang masih berada di dalam blok akan menguap. Penguapan tersebut mengakibatkan fasa air semen (fas) menjadi tepat 25%. Pemanasan yang berlebihan akan mengakibatkan terbakarnya fiber yang akan memunculkan rongga di antara matriks semen dan fiber. Rongga yang berisi udara tersebut akan menurunkan kuat tekan dari blok. Meskipun demikian sampai dengan suhu 250°C, kekuatan tekan blok semen masih



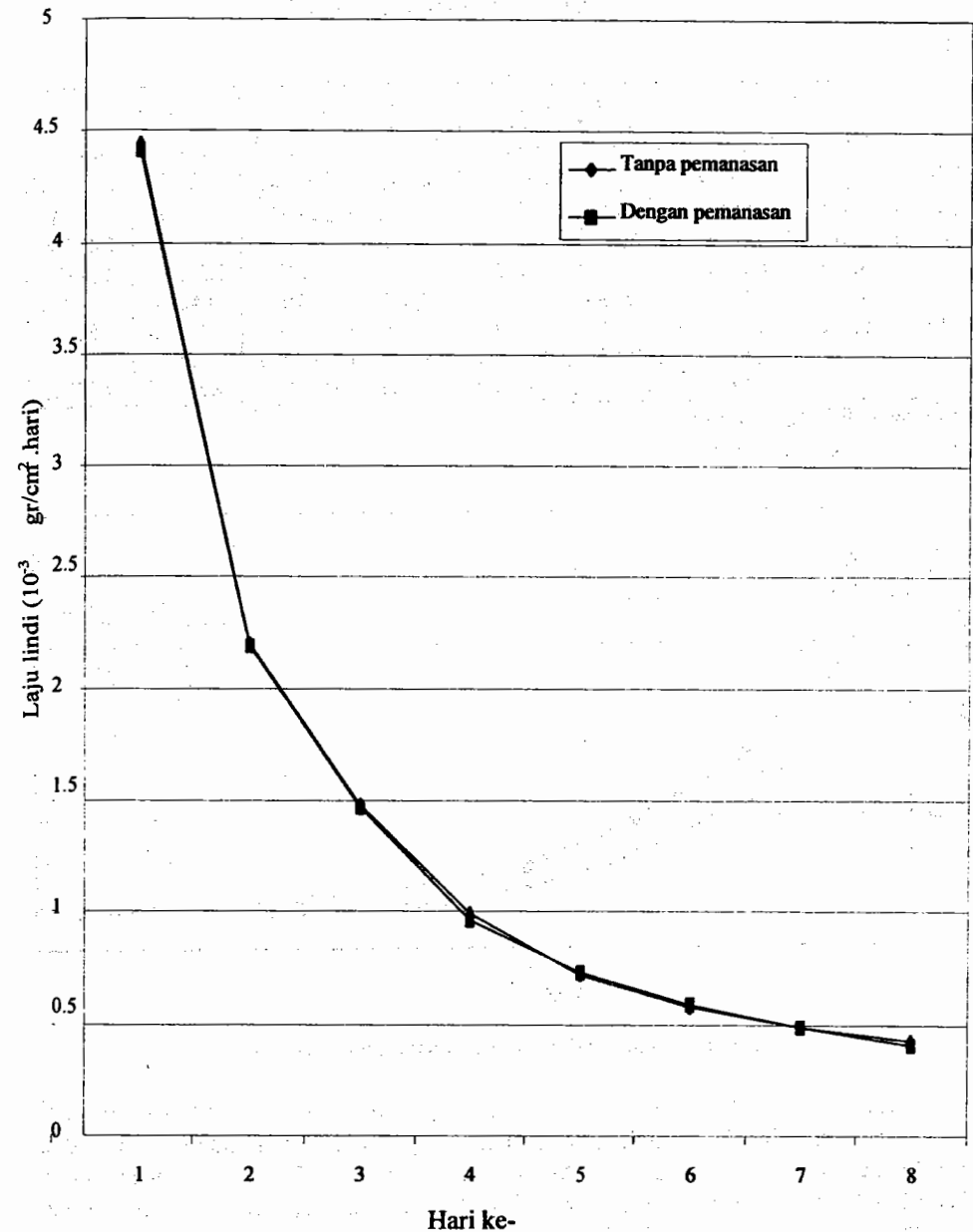
Gambar 1. Kuat tekan pada berbagai suhu

Blok semen yang digunakan untuk mengungkung chrom rata-rata mempunyai kuat tekan lebih besar daripada blok untuk mengungkung stronsium. Hal ini disebabkan karena densitas chrom (718 kg/m^3) lebih besar daripada stronsium (254 kg/m^3), sehingga blok yang dihasilkan akan memiliki kerapatan yang lebih tinggi dan massa yang lebih besar. Suatu bahan yang mempunyai luas yang sama dengan bahan lain, namun memiliki massa yang lebih besar akan mempunyai kekuatan tekan yang lebih besar pula.

Modulus elastisitas dari bambu sebesar 33~40 Gpa, sedangkan serat dari serabut kelapa sebesar 19~26 GPa. Hal ini menyebabkan bambu lebih mampu menahan beban daripada serabut kelapa. Sifat higroskopis dari serabut kelapa yang lebih besar daripada bambu akan menyebabkan lebih banyak air yang diserap di dalamnya. Seperti disebutkan di atas bahwa kebutuhan fasa air semen yang optimum untuk reaksi hidrasi adalah 25%, di atas nilai tersebut akan mengakibatkan munculnya rongga-rongga yang berisi air.

Pemanasan tidak mengakibatkan perubahan laju lindi, hal tersebut ditunjukkan dalam gambar 2. Ini berarti bahwa pemanasan hanya mempengaruhi sifat fisik dari blok semen, namun tidak mempengaruhi kekuatan penyerapan unsur-unsur oleh zeolit maupun pengungkungan oleh semen.

Hasil uji lindi yang dilaksanakan terhadap komposisi blok semen yang mempunyai kuat tekan terbaik selama 21 hari menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan di antara keempat sampel. Hasil selengkapnya ditunjukkan dalam tabel 2 dan gambar 3.



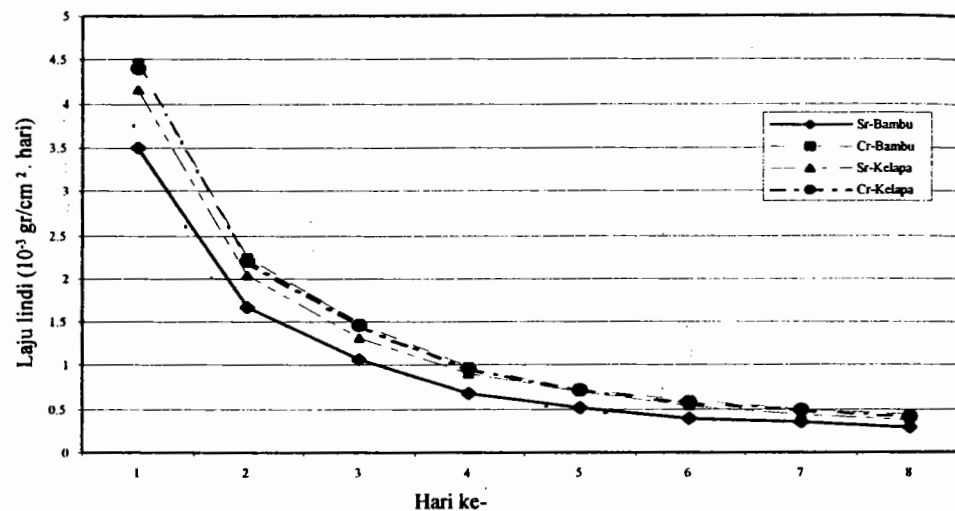
Gambar 2. Laju lindi blok semen yang tidak dipanaskan dan yang dipanaskan

Tabel 2. Laju Lindi (gram/(cm². hari))

Hari	Sr-Bambu		Cr-Bambu		Sr-Kelapa		Cr-Kelapa	
	FTx10 ⁻³	LLx10 ⁻³	FTx10 ⁻³	LLx10 ⁻³	FTx10 ⁻³	LLx10 ⁻³	FTx10 ⁻³	LLx10 ⁻³
2	7,52	3,49616	9,54905	4,45508	8,822	4,14862	9,5	4,41207
4	7,148	1,66161	9,5981	2,23898	8,636	2,03058	9,45095	2,19465
6	6,962	1,0789	9,5	1,4774	8,45	1,32456	9,5	1,47069
9	6,59	0,6808	9,5981	0,9951	8,636	0,9025	9,35285	0,9653
12	6,59	0,51063	9,35285	0,72726	9,008	0,706	9,4019	0,72775
15	6,218	0,38545	9,5981	0,59706	8,45	0,5298	9,45095	0,58524
18	6,59	0,34042	9,45095	0,48992	8,078	0,42208	9,45095	0,4877
21	6,59	0,29179	9,54905	0,42429	8,264	0,37012	9,25475	0,40935

Keterangan: FT : fraksi terlindi

LL : Laju lindi



Gambar 3. Laju lindi blok semen pada suhu optimum.

Menurut IAEA laju lindi dengan waktu pelindian 91 hari adalah 10^{-2} – 10^{-3} gr/cm².hari (Supardi, 1997). Dalam penelitian ini laju lindi blok semen dengan waktu lindi 21 hari untuk Sr-Bambu, Cr-Bambu, Sr-Kelapa dan Cr-Kelapa berturut-turut adalah $2,9179 \times 10^{-4}$ gr/cm².hari, $4,2429 \times 10^{-4}$ gr/cm².hari, $3,7012 \times 10^{-4}$ gr/cm².hari dan $4,0935 \times 10^{-4}$ gr/cm².hari. Hasil tersebut diperkirakan akan semakin kecil pada hari ke-91. Hal ini menunjukkan bahwa sementasi dengan adanya fiber alami dalam blok semen akan meningkatkan integritas padatan. Fiber alami tersebut akan mengisi rongga-rongga di dalam semen, sehingga pori-pori dalam semen menjadi lebih kecil.

Rumus umum zeolit adalah $M_{x/n}\{(AlO_2)_x(SiO_2)_y\}zH_2O$. Ion logam yang dijerap oleh zeolit akan menggantikan $M_{x/n}$ (*exchangeable cation*) dalam struktur zeolit atau terjebak dalam rongga. Kecenderungan ion-ion logam monovalen dan divalen menggantikan *exchangeable cation* lebih besar daripada ion trivalen, tetravalen, dsb. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil uji lindi dimana laju lindi stronsium lebih kecil daripada laju lindi chrom. Hal lain yang menyebabkannya adalah adanya sifat *isomorf replacement* antara unsur Ca dengan Sr yang berarti kedua unsur tersebut dapat saling menggantikan. Stronsium akan menggantikan kalsium di dalam semen, sehingga stronsium akan terikat lebih kuat di dalam blok semen.

KESIMPULAN

Pemanasan blok semen sampai pada suhu tertentu mengakibatkan reaksi hidrasi berjalan sempurna, sehingga ikatan antara matrik semen dengan fiber lebih kuat. Hasilnya adalah blok semen yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi. Di atas suhu tersebut akan mengakibatkan munculnya rongga di antara matriks semen dan fiber. Meskipun demikian sampai dengan suhu 250°C, blok semen masih mempunyai kuat tekan di atas syarat minimal. Ditinjau dari aspek fisik, maka serat dari bambu (*Bambusa vulgaris*) lebih layak digunakan sebagai penguat daripada serat dari serabut kelapa (*Cocos nucifera*).

Pemanasan hanya berpengaruh terhadap sifat fisik blok semen, namun tidak mempengaruhi kekuatan penyerapan dan pengungkungan suatu unsur. Kemampuan blok semen yang diperkuat dengan fiber alami untuk mengungkung unsur-unsur yang berbeda dipengaruhi oleh sifat-sifat dari unsur-unsur tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, Dr-Ing. Kusnanto, Kepala Laboratorium Teknologi Kimia Nuklir, Jurusan Teknik Fisika, Universitas Gadjah Mada dan Pimpinan LAKFIP-Universitas Gadjah Mada sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Balaguru, P.N., and Shah, S., 1992, *Fiber-Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill International Editions, New York.
- Putero, S. H. dan Rosita, W., 2001, *Imobilisasi Sr-90 dalam Zeolit dengan Proses Pemadatan Semen-Serat Kelapa*, Forum Teknik Jilid 25 No. 1., Fakultas Teknik-UGM, Yogyakarta.
- Sugiman, 1997, *Sementasi Zeolit Cipatujah Hasil Proses Penyerapan Limbah Cair Stronsium-90*, Skripsi, Jurusan Teknik Nuklir, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Supardi, 1997, *Optimalisasi Pengungkungan Lumpur Beraktivitas Rendah*, Jurnal Ilmiah STTL, Vol. 5 No. 1, hal. 68, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan Yogyakarta, Yogyakarta.
- Suryati, 1992. *Pengaruh Penambahan Aditif Zeolit, Diatomea Terhadap Kualitas Hasil Sementasi Limbah Laboratorium*, Skripsi, Jurusan Teknik Nuklir, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tang, Y.S. and Saling, J.H., 1990, *Radioactive Waste Management*, Hemisphere Pub. Co., New York.