

# PERBANDINGAN ANTARA PENGARUH ADITIF ZEOLIT DAN Ca-BENTONIT PADA SEMENTASI LIMBAH BENTUK LUMPUR YANG MENGANDUNG RADIOSTRONSIUM DAN DIPERKUAT DENGAN SERAT BAMBU (*BAMBUSA VULGARIS*)

Widya Rosita<sup>1</sup>, Nunung Prabaningrum<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The research to compare between the effect of zeolite and Ca-bentonite additives on the cementation of sludge waste containing strontium nitrate and inforced by bamboo fibers had been done. The parameters which were observed were mechanical strength and strontium leaching rate from cement block which had been loaded by waste, additives and reinforced by bamboo fibers. The microstructure analysis of reactions between cement matrix and waste had been done by Scanning Electron Microscope (SEM).

The results showed that the increasing of waste added caused the decreasing of cement block mechanical strengths. If cement blocks contained more than 5 % Ca-bentonites, cement block mechanical strengths would be decreased. The high mechanical strength achieved on cement blocks which were loaded by 4 % sludge waste, 3 and 5 % Ca-bentonites, but both of leaching rates showed almost same results. Adding zeolites additives would increase mechanical strength until certain additives content, more than that content would decrease mechanical strength. The high mechanical strength achieved on cement blocks which were loaded by 5 % sludge waste, and 5 % zeolites. The increasing zeolites caused increasing leaching fraction. Microstructure analysis results showed that there were interaction between Sr which were contained in sludge waste and cements, both on zeolite and Ca-bentonite additives. These interaction could be physical adsorptions or cation exchanges.

## PENDAHULUAN

Penanganan limbah radioaktif dapat dilakukan dengan memadatkan dan menyimpannya sampai aktivitasnya meluruh ke tingkat yang aman untuk dibuang ke lingkungan. 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 dan bahan aditif. Penambahan aditif selain untuk menjerap logam dalam limbah, juga dapat menambah ketahanan blok semen terhadap pelindian.

Bentuk limbah dapat berpengaruh pada kekuatan mekanik dan ketahanan blok semen terhadap pelindian. Limbah radioaktif yang berbentuk lumpur atau konsentrat, karena konsentrasi zat terlarutnya tinggi, dapat menurunkan kuat tekan dan meningkatkan laju pelindian. Oleh karena itu ke dalam blok semen perlu ditambahkan suatu aditif yang diharapkan dapat memperbaiki kuat tekan dan laju pelindiannya.

## LANDASAN TEORI

Mekanisme penjerapan logam oleh zeolit adalah difusi eksternal. Sebagian logam kemudian diikat oleh sisi aktif zeolit atau terjebak dalam rongga sedang sebagian yang lain akan berdifusi internal menuju pori-pori zeolit yang kemudian juga akan diikat oleh sisi aktif atau terjebak dalam rongga. Kandungan silikat dan alumina dalam zeolit akan bereaksi secara

kimiawi dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  membentuk senyawa kalsium silikat hidrat yang disebut tobermorit.

Mineral bentonit mempunyai sifat yang unik yaitu partikelnya akan mengembang apabila dilarutkan dalam air. Pertukaran ion dalam bentonit dapat disebabkan oleh pemecahan ikatan pada permukaan dan ujung-ujung partikel silika alumina, ketidakseimbangan muatan yang disebabkan penggantian isomorf ion, misalnya substitusi  $\text{Al}^{3+}$  dengan  $\text{Si}^{4+}$ , dan disosiasi dari struktur OH.

Studi pendahuluan yang telah dilaksanakan menggunakan semen Portland tipe I, zeolit alam teraktivasi sebagai adsorben, larutan stronsium nitrat konsentrasi 200 ppm sebagai limbah simulasi, dan serat kelapa yaitu serat yang berasal dari sabut kelapa yang sudah tua dan kering. Pada penelitian tersebut limbah cair dijerap dengan zeolit dan kemudian diimobilisasi. Hasilnya adalah adanya peningkatan kuat tekan dan serat lebih mampu menahan gaya aksial daripada gaya radial. Penambahan serat kelapa (*Cocos nucifera*) tidak mempengaruhi laju lindi (Putero dan Rosita, 2001). Penelitian oleh Rosita (2000) menunjukkan bahwa laju lindi blok semen menurun dalam lingkungan basa.

Ditinjau dari aspek fisik, maka serat dari bambu (*Bambusa vulgaris*) lebih layak digunakan sebagai penguat daripada serat dari serabut kelapa (*Cocos nucifera*). Kemampuan blok semen yang diperkuat dengan serat alami untuk mengungkung unsur-unsur yang berbeda dipengaruhi oleh sifat-sifat dari unsur-unsur tersebut (Putero dan Prabaningrum, 2001).

<sup>1</sup> Widya Rosita, ST.,MT., Staf Pengajar Program Studi Teknik Nuklir, Jurusan Teknik Fisika FT-UGM

<sup>2</sup> Ir. Nunung Prabaningrum,MT., Staf Pengajar Program Studi Teknik Nuklir, Jurusan Teknik Fisika FT-UGM

Penambahan Ca-bentonit sebesar 5<sup>w</sup>/<sub>0</sub> sebagai aditif pada pengungkungan limbah konsentrat evaporator dari olah ulang bahan bakar nuklir yang mengandung natrium nitrat dengan matriks semen akan menurunkan kuat tekan blok semen sekitar 12% (dari 27,95 menjadi 24,64 N/mm<sup>2</sup>) tetapi dapat mengurangi laju lindi sekitar 22% sesudah 91 hari dalam media air destilat (Prabaningrum, 1991).

Fraksi limbah sebesar 6% dari berat blok semen sangat mengganggu proses sementasi. Penambahan zeolit sebesar 5<sup>w</sup>/<sub>0</sub> memberikan kuat tekan sebesar 23,26 N/mm<sup>2</sup> dan laju pelindian sebesar 0,7.10<sup>-4</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>(Suryati, 1992).

## PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan semen portland I, zeolit aktif berukuran 140 mesh, Ca-bentonit berukuran 140 mesh, aquades, larutan Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 200 ppm, larutan Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 200 ppm dan serat bambu yang sudah tua serta kering dengan panjang 3 cm dan diameter 0,3 mm.

Alat yang digunakan adalah pipa pralon PVC berdiameter 2,2 cm dan tinggi 4,4 cm, alat uji tekan, alat uji lindi, Spektrofotometer Serapan Atom dan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Limbah simulasi berbentuk lumpur dibuat dengan komposisi BaSO<sub>4</sub> (50%), FeSO<sub>4</sub> (5%), NaNO<sub>3</sub> (17%), NiSO<sub>4</sub> (2%), dan Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (200 ppm), lalu dicampur air dengan variasi fraksi limbah-air 4<sup>w</sup>/<sub>0</sub>, 5<sup>w</sup>/<sub>0</sub>, 6<sup>w</sup>/<sub>0</sub>. Campuran limbah dan air tersebut kemudian ditambah semen dengan fraksi air-semen 0,35. Selanjutnya ke dalam campuran air, semen, limbah ditambahkan aditif zeolit yang sudah diaktivasi dengan variasi berat 3, 5 dan 7<sup>w</sup>/<sub>0</sub>. Campuran dicetak dengan pralon PVC yang berdiameter 2,2 cm dan panjang 4,4 cm lalu serat bambu sebesar 1<sup>v</sup>/<sub>0</sub> dimasukkan dengan posisi vertikal (aksial). Kemudian hasil cetakan diperam selama 28 hari. Setelah pemeraman, dilakukan uji tekan, uji lindi dan analisis dengan SEM. Langkah – langkah ini diulang kembali tetapi aditif yang ditambahkan diganti dengan Ca-bentonit.

Uji lindi dilakukan dengan menempatkan blok semen ke dalam tabung plastik yang telah diisi dengan cairan pelindi (aquades). Pencuplikan cairan pelindi dilakukan pada hari ke- 1, 3, 5, 7, 14, dan 21 sebanyak 10 ml untuk selanjutnya dianalisis konsentrasi stronsium yang terlindi dengan AAS karena Sr yang digunakan pada penelitian ini adalah <sup>88</sup>Sr.

Besarnya kuat tekan ( $\sigma_t$ ) diperoleh dari beban yang memecahkan blok semen (F) dibagi dengan luas penampang silinder blok semen (A),

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

Adapun untuk mendapatkan laju lindi dapat digunakan persamaan berikut.

$$LP = \frac{A_t}{A_0} \times \frac{W_0}{S \times t}$$

$$S = (0,5\pi D^2) + (\pi D \times h)$$

dalam hal ini,

A<sub>t</sub> : konsentrasi Sr yang terlindi (ppm)

A<sub>0</sub> : konsentrasi awal Sr (ppm)

W<sub>0</sub> : berat blok semen semula (gram)

S : luas permukaan blok semen (cm<sup>2</sup>)

T : waktu pelindian (hari)

D : diameter blok semen (cm)

H : tinggi blok semen (cm)

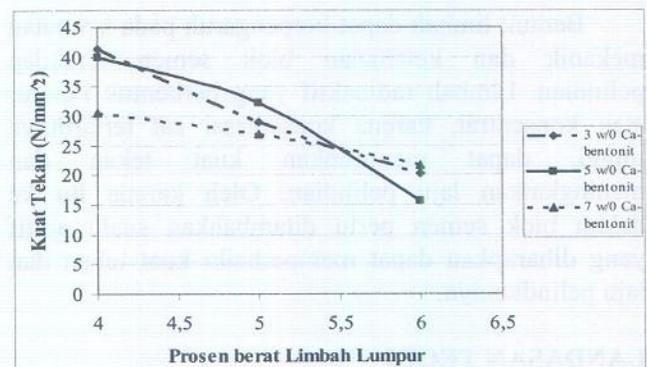
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Penambahan Limbah pada Blok Semen yang diberi aditif Ca-Bentonit

Hasil uji tekan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

**Tabel 1** Kuat Tekan Blok Semen yang dibebani limbah lumpur dengan aditif Ca-Bentonit (N/mm<sup>2</sup>)

Kadar Ca-Bentonit \ Kadar Limbah Lumpur	3 <sup>w</sup> / <sub>0</sub>	5 <sup>w</sup> / <sub>0</sub>	7 <sup>w</sup> / <sub>0</sub>
4 <sup>w</sup> / <sub>0</sub>	41,45	39,86	30,62
5 <sup>w</sup> / <sub>0</sub>	28,99	32,21	26,93
6 <sup>w</sup> / <sub>0</sub>	20,26	15,66	21,73



**Gambar 1** Pengaruh Kadar Ca-Bentonit dan Limbah terhadap Kuat Tekan Blok Semen

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin banyak limbah yang ditambahkan maka kuat tekan blok semen semakin turun, karena terlalu banyak sulfat dan nitrat yang terdapat di dalam blok semen tersebut sehingga mengganggu reaksi hidrasi semen. Akibatnya blok semen menjadi lebih rapuh. Selain itu dapat pula dilihat bahwa jika blok semen mengandung

lebih banyak aditif Ca-Bentonit (lebih dari 5 %) maka kuat tekan blok semen akan menurun pula. Ini disebabkan sifat bentonit yang mudah mengembang (*swelling*) jika menyerap air sehingga blok yang memiliki bentonit lebih banyak akan mengalami mekanisme *swelling* yang lebih besar pula. Akibatnya blok semen memiliki pori yang lebih banyak dan menjadi lebih rapuh. Dari hasil penelitian terlihat bahwa hasil uji tekan untuk semua varian telah memenuhi persyaratan minimal kuat tekan blok semen yang telah dibebani limbah yaitu sebesar 2,5 N/mm<sup>2</sup> (Suryati, 1992). Dari grafik dapat dilihat bahwa kuat tekan yang cukup besar diperoleh pada kadar limbah lumpur

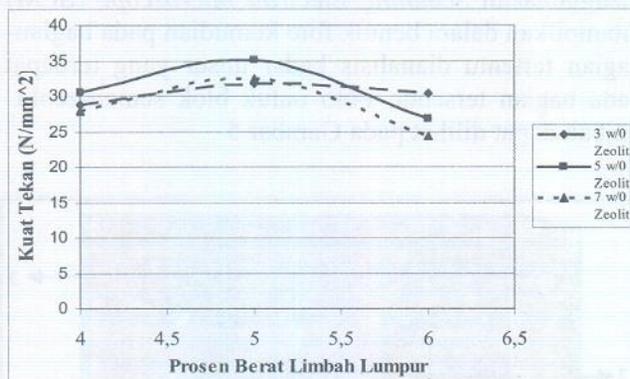
4 % serta kadar aditif Ca-bentonit 3 dan 5 %.

### Pengaruh Penambahan Limbah pada Blok Semen yang diberi aditif Zeolit

Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

**Tabel 2** Kuat tekan Blok Semen yang dibebani limbah lumpur dengan aditif zeolit (N/mm<sup>2</sup>)

Kadar Zeolit	Kadar Limbah Lumpur		
	3 %	5 %	7 %
4 %	28,8	30,59	27,97
5 %	31,7	35,09	32,38
6 %	30,42	26,86	24,42



**Gambar 2** Pengaruh Kadar Zeolit dan Limbah terhadap Kuat Tekan Blok Semen

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya kadar zeolit maka kuat tekan blok semen akan meningkat pula namun sampai kadar tertentu maka penambahan zeolit menurunkan kuat tekan blok.

Hal yang sama berlaku untuk hasil penelitian terhadap pengaruh penambahan limbah lumpur dimana dengan meningkatnya kadar limbah akan

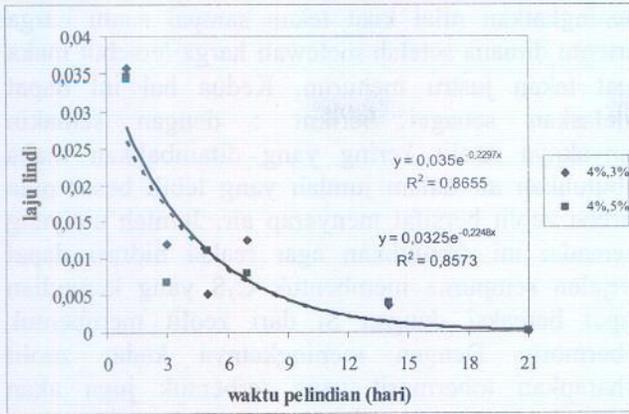
meningkatkan nilai kuat tekan sampai suatu harga tertentu dimana setelah melewati harga tersebut maka kuat tekan justru menurun. Kedua hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : dengan semakin banyaknya zeolit kering yang ditambahkan maka dibutuhkan air dalam jumlah yang lebih besar pula karena zeolit bersifat menyerap air. Jumlah air yang memadai ini dibutuhkan agar reaksi hidrasi dapat berjalan sempurna membentuk C<sub>3</sub>S yang kemudian dapat bereaksi dengan Si dari zeolit membentuk tobermorit. Dengan meningkatnya kadar zeolit diharapkan tobermorit yang terbentuk juga akan meningkat. Namun karena jumlah air yang ditambahkan pada saat pengadukan besarnya sama untuk semua varian, maka tambahan air yang diperlukan diperoleh dari limbah lumpur. Peningkatan kadar limbah lumpur akan memperbanyak jumlah air yang diperlukan sehingga mencukupi kebutuhan air yang meningkat akibat meningkatnya kadar zeolit. Namun perlu diingat bahwa lumpur ini juga mengandung sulfat dan nitrat yang dapat mengganggu reaksi hidrasi semen sehingga terlalu banyak lumpur dapat menurunkan kuat tekan blok, seperti tampak pada kadar lumpur yang lebih besar dari 5 %. Selain itu kemampuan pembentukan tobermorit dibatasi oleh jumlah pasta semen-air yang beraksi membentuk C<sub>3</sub>S sehingga penambahan zeolit yang berlebihan tidak akan meningkatkan jumlah tobermorit yang dapat terbentuk. Zeolit yang berlebihan ini hanya akan menyerap air yang seharusnya cukup untuk pembentukan pasta yang kemudian mengakibatkan reaksi semen-air tidak sempurna.

### Pengaruh penambahan limbah dan aditif Ca-Bentonit terhadap laju lindi blok semen

Hasil uji lindi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa pada minggu pertama laju lindi berlangsung cepat dan mendekati konstan pada minggu berikutnya. Hal ini dapat terjadi karena pada awal pelindian, Sr yang terdapat pada permukaan blok semen lebih cepat terlepas ke media lindi kemudian disusul oleh Sr yang terdapat dalam blok semen.

**Tabel 3** Laju pelindian Blok semen yang dibebani Limbah 4 % dan aditif Ca-Bentonit (x10<sup>3</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>)

Kadar Ca-Bentonit (w/o)	Laju lindi blok semen hari ke -					
	1	3	5	7	14	21
3	3,563	1,1877	0,5125	1,238	0,3587	0,0157
5	3,439	0,6772	1,1101	0,7929	0,3965	0,0151



**Gambar 3** Pengaruh penambahan limbah 4 % dan aditif Ca-Bentonit terhadap laju pelindian ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ )

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh IAEA, laju lindi terukur setelah 150 hari harus lebih kecil dari  $10^{-3} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Pada penelitian ini, nilai tersebut dapat dicapai pada hari ke 21. Apabila nilai-nilai tersebut diekstrapolasikan maka akan diperoleh nilai yang jauh lebih kecil dari  $10^{-3} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ .

Pada Gambar 3 terlihat bahwa laju lindi untuk blok semen dengan kadar Ca-bentonit 3 dan 5 % besarnya hampir sama. Ini disebabkan kapasitas pertukaran ion Ca-Bentonit terbatas sedangkan jumlah Sr yang tersedia besarnya sama untuk kedua varian tersebut sehingga tambahan bentonit tidak akan merubah jumlah jumlah Sr yang dapat terikat dalam bentonit. Oleh karena itu dipilih kadar Ca-Bentonit 3 w/o sebagai kadar optimum.

#### Pengaruh penambahan limbah dan aditif Zeolit terhadap laju lindi blok semen

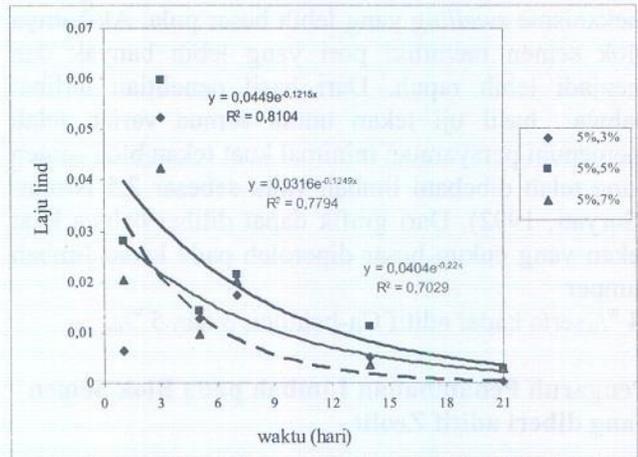
Hasil uji lindi dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4.

**Tabel 4** Laju lindi Blok Semen yang dibebani limbah 5 % dan aditif zeolit ( $\times 10^3 \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ )

Kadar Zeolit (w/o)	Laju lindi blok semen hari ke :					
	1	3	5	7	14	21
3	0,6378	5,2483	1,2786	1,7354	0,508	0,0155
5	2,8038	5,9845	1,4265	2,1525	1,1278	0,2862
7	2,0535	4,2414	0,9798	2,021	0,3499	0,2822

Dari grafik terlihat bahwa penambahan zeolit 3 % memberikan hasil terbaik. Peningkatan jumlah zeolit menyebabkan jumlah fraksi yang terlindi lebih besar karena kelebihan zeolit menyebabkan reaksi semen-air tidak berjalan sempurna akibat kurangnya jumlah air yang tersedia karena terserap oleh zeolit. Hal ini mengakibatkan blok semen jadi lebih

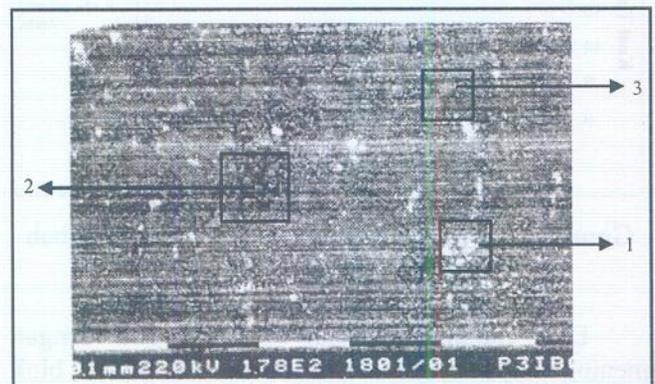
berongga sehingga Sr menjadi lebih mudah berdiffusi keluar blok. Walaupun demikian dari tabel dapat dilihat bahwa nilai laju lindi pada hari ke 21 untuk ketiga varian diatas sudah memenuhi standar IAEA.



**Gambar 4** Pengaruh penambahan limbah 5 % aditif Zeolit terhadap laju pelindian ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ ) blok semen

#### Hasil Analisis Mikrostruktur

Diambil beberapa sampel untuk dianalisis mikrostrukturnya untuk mengetahui interaksi Sr terhadap zeolit, bentonit maupun semen, dalam hal ini dipilih blok semen dengan kadar limbah 5 % dan zeolit 5 % serta blok semen dengan kadar limbah 4 % dan bentonit 5 %. Hasil analisis mikrostruktur menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) ditampilkan dalam bentuk foto kemudian pada bagian-bagian tertentu dianalisis kadar unsur yang terdapat pada bagian tersebut. Foto untuk blok semen-zeolit-limbah dapat dilihat pada Gambar 5



**Gambar 5** Hasil analisis mikrostruktur blok semen-zeolit-limbah dengan perbesaran 178 kali

**Tabel 5** Hasil analisis mikrostruktur terhadap blok mortar semen-zeolit-limbah

Komponen	Hasil Analisis (%)		
	1	2	3
Na	0,65	-	0,79
Al	4,16	6,36	5,46
Si	17,28	12,83	19,44
Sr	4,4	3,33	4,37
K	0,61	0,87	1,12
Ca	54,86	62,45	60,69
Ba	15,72	1,83	3,96
Fe	2,33	12,33	4,18

Keterangan : 1. Warna putih pada foto  
2. Warna hitam pada foto  
3. Warna abu-abu pada foto

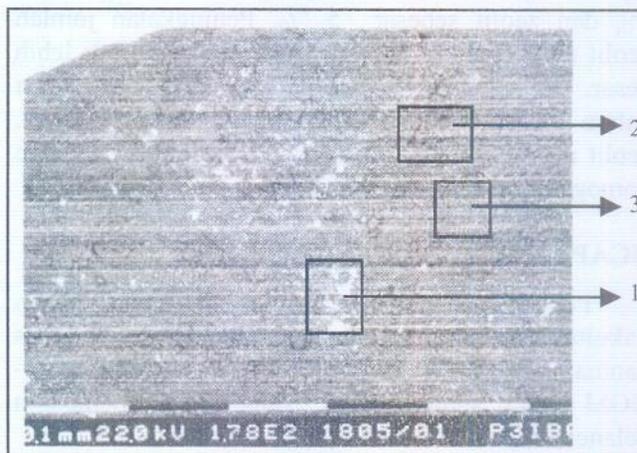
Analisis unsur pada bagian yang berwarna hitam, putih dan abu-abu dalam foto tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 untuk blok mortar semen-zeolit-limbah dan Tabel 6 untuk blok mortar semen-bentonit-limbah.

Warna putih yang ditunjukkan oleh foto SEM memiliki komposisi unsur seperti tampak pada kolom ke 2 Tabel 5. Pada kolom tersebut tertera kadar Na sebesar 0,65 %, maka dapat diperkirakan terjadi interaksi antara limbah lumpur dengan zeolit. Interaksi ini berupa terikatnya kation-kation limbah, termasuk Sr, oleh zeolit. Bagian putih ini didominasi oleh zeolit dan limbah, walau tidak tertutup kemungkinan terdapat sedikit semen. Selanjutnya dengan membandingkan kadar unsur pada lumpur, zeolit dan semen, warna hitam pada foto SEM diperkirakan didominasi oleh semen sehingga Sr yang terdapat pada bagian ini hanya terjebak didalam pasta semen. Warna abu-abu yang mendominasi foto SEM tersebut, menunjukkan kadar unsur yang lebih besar daripada warna putih sehingga diperkirakan bagian ini didominasi oleh zeolit dan limbah lumpur yang kadarnya lebih besar daripada yang terkandung pada warna putih. Oleh karena itu, Sr yang terikat pada bagian ini juga lebih besar.

Foto untuk blok semen-Ca-bentonit-limbah dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada kolom ke 2 dari Tabel 6 terdapat kadar Na sebesar 0,2 %, maka dapat diperkirakan terjadi interaksi antara limbah lumpur dengan bentonit. Interaksi ini berupa terikatnya kation-kation limbah, termasuk Sr, oleh bentonit. Bagian putih ini didominasi oleh bentonit dan limbah, walau tidak tertutup kemungkinan terdapat sedikit semen. Warna hitam yang tampak pada foto SEM diperkirakan didominasi oleh bentonit dan limbah lumpur namun interaksi antara limbah dan bentonit pada bagian ini lebih kecil daripada yang terjadi pada bagian putih. Hasil analisis pada bagian abu-abu yang mendominasi

foto SEM tersebut, tidak menunjukkan atau tidak dapat mendeteksi adanya unsur Na sehingga diperkirakan bagian ini didominasi oleh semen. Stronsium yang terdapat pada bagian ini diperkirakan hanya terjebak dalam pasta semen.



**Gambar 6** Hasil analisis mikrostruktur blok semen-Ca-Bentonit-limbah dengan perbesaran 178 kali

**Tabel 6** Hasil analisis mikrostruktur terhadap blok mortar semen - bentonit -limbah

Komponen	Hasil Analisis (%)		
	1	2	3
Na	0,2	0,29	-
Al	3,82	2,51	5,38
Si	12,03	9,48	19,16
Sr	2,97	2,00	3,81
K	1,01	0,99	1,45
Ca	69,47	83,04	62,01
Ba	3,34	-	3,39
Fe	7,16	1,69	4,8

Keterangan : 1. Warna putih pada foto  
2. Warna hitam pada foto  
3. Warna abu-abu pada foto

Jika dilihat dari distribusi ke tiga warna pada Gambar 5 dan 6, dapat dilihat bahwa Sr relatif tersebar merata DIKESELURUHAN blok semen yang menunjukkan proses pengadukan blok semen ini cukup baik.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa blok semen yang mengandung lebih banyak aditif Ca-bentonit (lebih dari 5 %) memiliki kuat tekan yang rendah. Kuat tekan yang cukup tinggi diperoleh pada blok semen yang dibebani Ca-bentonit sebesar 3 dan 5 % serta limbah 4 %, tetapi laju

