

PEMANFAATAN ABU KULIT KERANG (*ANADARA GRANDIS*) UNTUK PEMBUATAN EKOSEMEN

Nelvia Adi Syafpoetri¹⁾ Monita Olivia²⁾ Lita Darmayanti²⁾
¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293
E-mail : nelviaadisafpoetri0807135289@gmail.com,
monitawibisono@yahoo.com, litlit98@yahoo.com

Abstract

*This research aim was to made ecocement using ash shells as the main raw material. Ash shells derived from waste shells of sea shells (*Anadara grandis*) and were burnt at the temperature of 700⁰C. The contain of calcium oxide (CaO) was 55,10% expected to replace lime as the main raw material in the manufacture of cement. In this research, ecocement were made with variations A 100% ash shells and variations B 50% ash shells : 50% lime. The main raw material is mixed with other ecocement ingredients (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, and MgO) and burnt at a temperature of 1400⁰C to obtain clinker. Further, clinker was added with gypsum to produced ecocement. The results of chemical characteristics of ecocement A were insoluble : 0,36%, SiO₂ : 20,26%, Fe₃O₂ : 3,46%, Al₂O₃ : 6,42%, CaO : 63,16%, MgO : 1,67%, SO₃ : 2,76%, lost incandescent : 1,82%, alkali 0,56%, free lime : 1,22%, C₃S : 42,20%, C₂S : 26,20%, C₃A : 11,20%, and C₄AF : 10,52%. In ecocement B were insoluble : 0.67%, SiO₂ : 21,09%, Fe₃O₂ : 3,63%, Al₂O₃ : 5.96%, CaO : 63,25%, MgO : 2,05%, SO₃ : 2,77%, lost incandescent : 1,31%, alkali 0,50%, free lime : 1,30%, C₃S : 38,80%, C₂S : 31,20%, C₃A : 9,70%, and C₄AF : 11,0%. The results of testing the chemical characteristics of the two ecocement were appropriate with SNI 15-2049-2004. The results of compressive strength testing of mortar at 28 days showed that sample A had 171 kg/cm² and sample B had 196 kg/cm². The results of testing the physical characteristics of the two ecocement were not yet appropriate with SNI 15-2049-2004.*

Keyword : ecocement, ash shells, chemical characteristics, physical characteristics

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi infrastruktur memegang peranan penting dalam pembangunan yang berlangsung dengan sangat pesat. Seiring dengan isu *global warming* dan penerapan konsep pembangunan hijau, dalam bidang rekayasa material terus diupayakan berbagai inovasi ramah lingkungan untuk menciptakan penelitian dalam bidang bahan bangunan terutama untuk komponen struktur. Semen portland (*portland cement*) merupakan salah satu material komponen struktur yang paling populer dan merupakan kebutuhan yang paling besar di bidang konstruksi, sehingga penggunaannya sebagai bahan yang berkelanjutan menjadi tujuan penting pada saat ini.

Keberadaan kegiatan produksi semen pada suatu daerah selain memberikan banyak manfaat terutama di bidang konstruksi, juga menjadi ancaman ekologis yang serius. Hal ini dapat dilihat mulai dari proses pengambilan bahan baku (eksplorasi terus-menerus), proses produksi serta dampak polusi yang ditimbulkan. Batu kapur sebagai bahan baku pembuatan semen portland merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan jika pengambilannya dilakukan secara terus-menerus maka keberadaan bahan baku tersebut akan habis. Selain itu dampak yang terjadi adalah terus meningkatnya pemanasan global. Menurut *International Energy Authority: World Energy Outlook*, produksi semen portland adalah penyumbang karbon dioksida sebesar tujuh persen dari keseluruhan karbon dioksida yang dihasilkan oleh berbagai sumber, hal ini terjadi karena dari satu ton semen portland yang diproduksi menghasilkan satu ton karbon dioksida (Putranto, 2011). Oleh karena itu, perlu dipikirkan dan dikaji bahan baku alternatif agar produksi semen di masa mendatang masih tetap ada dan proses produksinya lebih ramah lingkungan.

Ekosemen adalah salah satu jenis produk semen yang hampir sama dengan semen portland dan karena bahan bakunya menggunakan bahan berbasis limbah serta ramah lingkungan maka disebut ekosemen. Beberapa alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan baku batu kapur yang berbasis limbah dan ramah lingkungan antara lain : abu terbang batu bara (*fly ash*), abu hasil kalsinasi sampah dan abu sisa pengolahan kayu (Susanti, 2009). Selain itu beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah makanan laut seperti kulit udang (*chitosan*) dan kulit kerang dapat dijadikan sebagai pengganti batu kapur.

Kerang laut (*Anadara grandis*) adalah salah satu dari jenis kerang yang banyak ditemukan di perairan Indonesia. Kerang ini banyak dikonsumsi masyarakat karena banyak mengandung protein. Jumlah kerang yang cukup berlimpah akan sebanding dengan jumlah limbah kulitnya yang selama ini sebagian besar hanya dibuang dan sebagian kecil dimanfaatkan sebagai pakan ternak, bahan baku pembuatan kosmetik, dan kerajinan tradisional. Limbah kulit kerang mengandung senyawa kimia yang bersifat *pozzolan* yaitu zat kapur (CaO) sebesar 66,70%, alumina, dan senyawa silika (Siregar, 2009), sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif bahan baku utama atau bahan substitusi pembuatan semen. Dengan demikian optimalisasi pemanfaatan limbah kulit kerang ini diharapkan dapat mengurangi limbah yang mencemari lingkungan dan dapat memberi nilai tambah terhadap limbah kulit kerang tersebut. Penelitian ini akan mengkaji pemanfaatan limbah kulit kerang sebagai bahan baku untuk pembuatan ekosemen.

SEMEN

Semen berasal dari bahasa latin "*caementum*" yang berarti perekat. Semen adalah *hydraulic binder* atau perekat hidrolik yang artinya senyawa-senyawa di dalam semen dapat beraksi dengan air membentuk zat baru yang dapat mengikat benda-benda padat lainnya dan membentuk satu kesatuan massa yang kompak, padat, serta keras (Banerjea, 1980). Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yakni semen non-hidrolik dan semen hidrolik.

BAHAN DASAR PEMBUATAN SEMEN

Senyawa utama kimia semen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Senyawa kimia utama semen

Senyawa Kimia	Rumus Kimia	Kode Industri	Kandungan (%)	Kecepatan Reaksi dengan Air
Trikalsium silikat	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	35-65	Sedang
Dikalsium silikat	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	15-40	Lambat
Trikalsium aluminat	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	0-15	Cepat
Tetrakalsium aluminoferrit	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	6-20	Sedang

Sumber : Somayaji, 2001

Senyawa di atas menjadi kristal-kristal yang saling mengikat atau mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C_3S dan C_2S adalah 70-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Tjokrodinuljo, 1996). Semen dan air saling bereaksi. Persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi dan hasilnya dinamakan hidrasi semen. Senyawa C_3S jika terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke-14. Senyawa C_2S lebih lambat bereaksi dengan air dan hanya berpengaruh terhadap semen setelah umur 7 hari. C_2S memberikan ketahanan terhadap serangan kimia dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan. Kedua senyawa tersebut membutuhkan air sekitar 21-24% dari beratnya untuk bereaksi. Senyawa C_3S membebaskan kalsium hidroksida hampir tiga kali dari yang dibebaskan oleh C_2S .

Senyawa C_3A bereaksi secara *exothermic* dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama. C_3A bereaksi dengan air yang jumlahnya sekitar 40% dari beratnya. Karena persentasenya dalam semen yang kecil (sekitar 10%), maka pengaruh pada jumlah air untuk bereaksi menjadi kecil. Unsur ini sangat berpengaruh pada nilai panas hidrasi tertinggi, baik pada saat awal maupun pada saat pengerasan berikutnya yang sangat panjang. Semen yang mengandung unsur C_3A lebih besar dari 10% tidak akan tahan terhadap serangan sulfat. Senyawa C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton sehingga kontribusinya dalam peningkatan kekuatan kecil. Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakteristik dan jenis semen. Adapun persentase komposisi kimia semen portland dan jenis semen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase komposisi kimia semen portland

Tipe Semen	Komposisi dalam persen (%)				Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	Relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
Tipe III, Kekuatan awal tinggi	56	15	12	8	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV, panas hidrasi rendah	30	46	5	13	Dipakai pada bendungan beton
Tipe V, tahan sulfat	43	36	4	12	Dipakai pada saluran struktur yang diekspose terhadap sulfat

Sumber : Mulyono, 2004

Batas kandungan senyawa yang diisyaratkan untuk semen portland dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Batas kandungan senyawa untuk semen portland

Senyawa	Kandungan (massa %)
Lime (CaO)	60-67
Silika (SiO ₂)	17-25
Aumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,1-4,5
SO ₃	1-3

Sumber : CCAA, 2002

KARAKTERISTIK KIMIA SEMEN PORTLAND

Menurut SNI 15-2049-2004, persyaratan kimia semen portland dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Persyaratan kimia utama semen portland (satuan dalam%)

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20.0 ^{b,c)}	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6.0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6.0 ^{b,c)}	-	6.5	-

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
4	MgO, maksimum	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
5	SO ₃ , maksimum					
	Jika C ₃ A < 8.0	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
	Jika C ₃ A > 8.0	3.5	^{d)}	4.5	^{d)}	^{d)}
6	Hilang Pijar, maksimum	5.0	3.0	3.0	2.5	3.0
7	Bagian tak larut, maksimum	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5
8	C ₃ S, maksimum ^{a)}	-	-	-	35.0 ^{b)}	-
9	C ₂ S, minimum ^{a)}	-	-	-	40.0 ^{b)}	-
10	C ₃ A, maksimum ^{a)}	-	8.0	15.0	7.0 ^{b)}	5.0 ^{b)}
11	C ₄ AF + 2 C ₃ A atau ^{a)} C ₄ AF + 2 C ₂ F, maksimum	-	-	-	-	25.0 ^{c)}

Sumber : SNI 15-2049-2004

Selain persyaratan kimia utama, terdapat juga persyaratan kimia tambahan semen portland yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Persyaratan kimia tambahan semen portland (satuan dalam%)

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	C ₃ A, maksimum	-	-	8.0	-	-
2	C ₃ A, minimum	-	-	5.0	-	-
3	(C ₃ S + C ₃ A), maksimum	-	58.0 ^{b)}	-	-	-
4	Alkali, sebagai (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), maksimum	0.60 ^{c)}	0.60 ^{c)}	0.60 ^{c)}	0.60 ^{c)}	0.60 ^{c)}

Sumber : SNI 15-2049-2004

KARAKTERISTIK FISIKA SEMEN PORTLAND

Persyaratan fisika semen meliputi kehalusan butir, kekatan, kekuatan tekan, waktu pengikatan, pengikatan semu, panas hidrasi, pemuain dan kandungan udara mortar. Menurut SNI 15-2049-2004, persyaratan fisika semen portland dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Persyaratan fisika utama semen portland

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan: Uji permeabilitas udara, m ² /kg Dengan alat :					
	Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
	Blaine, min	280	280	280	280	280
2	Kekekalan :					
	Pemuaian dengan autoclave, maks %	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
3	Kuat tekan:					
	Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum	125	200 70 ^{a)}	240	-	80
	Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum	200	175 120 ^{a)}	-	70	150
	Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	280	-	-	170	210
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat:					
	Gillmore					
	Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	Akhir, menit, maksimum	600	600	600	600	600
	Vicat					
	Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
	Akhir, menit, maksimum	375	375	375	375	375

Sumber : SNI 15-2049-2004

Selain persyaratan fisika utama, terdapat juga persyaratan fisika tambahan semen portland yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Persyaratan fisika tambahan semen portland

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Pengikatan semu penetrasi akhir, % minimum	50	50	50	50	50
2	Kalor hidrasi	-	70 ^{b)}	-	60	-
	Umur 7 hari, kal/gram, maks	-	-	-	70	-
	Umur 28 hari, kal/gram, maks					
3	Pemuaian karena sulfat 14 hari, %, maksimum	-	220 ^{b)}	-	-	0.04
4	Kandungan udara mortar, % volume, maksimum	12	12	12	12	12

Sumber : SNI 15-2049-2004

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari penelitian pendahuluan dan penelitian lanjutan. Penelitian pendahuluan dimaksudkan untuk menguji karakteristik dasar limbah kulit kerang yang akan digunakan dalam pembuatan ekosemen. Penelitian lanjutan meliputi pembuatan ekosemen dengan jumlah variasi sebanyak 2 (variasi) yaitu variasi A 100% abu kulit kerang sebagai substitusi kapur sebagai bahan baku utama pembuatan semen dan variasi B 50% abu kulit kerang : 50% kapur, pengujian sifat kimia dan pengujian sifat fisika (kuat tekan 28 hari) dari ekosemen tersebut. Komposisi bahan baku ekosemen variasi A dan variasi B dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Komposisi bahan baku ekosemen (% berat)

Bahan Baku	Variasi A	Variasi B
Abu Kulit Kerang	78	39
Kapur	-	39
Lempung (<i>clay</i>)	20	20
MgO	1	1
Serbuk Besi	1	1

Langkah-langkah dalam pembuatan ekosemen adalah sebagai berikut:

1. Persiapan
Bahan baku (limbah kulit kerang) diproses terlebih dahulu melalui pencucian, pengeringan, dan penghancuran kemudian dibakar dengan suhu 700⁰C.
2. Pencampuran
Proses pencampuran dilakukan dengan mencampur abu kulit kerang, lempung, serbuk besi dan MgO (sesuai komposisi yang telah ditentukan) dengan menggunakan *mixer* selama 6 jam dengan penambahan air dengan perbandingan 1 : 1 dari berat ekosemen. Bahan yang telah dicampur selama 6 jam dengan *mixer* tersebut didiamkan selama 24 jam untuk membiarkan pencampuran reaksi kimia antar bahan-bahan tersebut.
3. Setelah tercampur merata, kemudian dilakukan pengeringan di dalam oven pada suhu 100⁰C hingga diperoleh campuran yang benar-benar kering.
4. Sebelum dilakukan pembakaran, sampel dibulat-bulatkan menjadi sebesar kelereng agar ketika dilakukan proses pembakaran untuk meperoleh panas yang merata.
5. Pembakaran pada proses pembuatan ekosemen, bahan baku dimasukkan ke dalam tungku pembakaran. Pada proses pembakaran ini terjadi beberapa kenaikan suhu sebelum suhu mencapai 1.400⁰C. Adapun trayek pembakarannya adalah sebagai berikut:
 - Pemanasan awal
 - Suhu 30⁰C – 200⁰C selama 2 jam
 - Suhu 200⁰C – 500⁰C selama 2 jam
 - Suhu 500⁰C – 600⁰C selama 1 jam

- Suhu 600⁰C – 1000⁰C selama 1 jam
 - Suhu 1000⁰C – 1400⁰C selama 2 jam
 - Suhu 1400⁰C – 1400⁰C selama 2 jam
6. Penghancuran
Produk hasil dari pembakaran abu kulit kerang dan batu kapur (klinker) dihancurkan dalam alat penghancur.
7. Pencampuran dan pengayakan
Setelah ekosemen dihancurkan lalu ditambah gipsium sebanyak 5% kemudian diaduk dengan menggunakan *mixer* selama 2 jam dan dibiarkan selama 24 jam kemudian diayak dengan menggunakan saringan no. 200.
8. Ulangi langkah pengujian di atas untuk variasi selanjutnya.

Komposisi untuk pembuatan sampel mortar dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Komposisi pembuatan sampel mortar

Bahan	Satuan Berat	Sampel A	Sampel B
Ekosemen	gr	166,67	166,67
Pasir	gr	458,33	458,33
Air	ml	80,67	80,67

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Komposisi Kimia Abu Kulit Kerang

Hasil analisa komposisi kimia abu kulit kerang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil analisa komposisi kimia kulit kerang

Parameter		Sampel	
		500 ⁰ C	700 ⁰ C
SiO ₂	%	0,24	0,15
Al ₂ O ₃	%	0,04	0,06
Fe ₂ O ₃	%	0,37	0,46
CaO	%	54,43	55,10
MgO	%	0,85	0,10
Na ₂ O	%	0,00	0,10
K ₂ O	%	0,01	0,01
TiO ₂	%	0,09	0,09
MnO	%	0,06	0,07

Parameter	Sampel		
	500 ⁰ C	700 ⁰ C	
P ₂ O ₅	%	0,02	0,02
SO ₃	%	0,08	0,00
H ₂ O	%	0,04	0,21
HD	%	34,76	43,22

Dari hasil analisa komposisi kimia abu kulit kerang di atas, dapat dilihat bahwa abu kulit kerang dominan mengandung CaO. Kandungan CaO tertinggi terdapat pada abu kulit kerang hasil pembakaran pada suhu 700⁰C yaitu sebesar 55,10 %. Belum diketahui alasan utama penyebab tingginya kadar CaO dari kulit kerang yang dibakar pada suhu 700⁰C. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan untuk menemukan kecenderungan tersebut. Berdasarkan hasil di atas, maka abu kulit kerang dapat digunakan sebagai bahan baku pengganti kapur pada proses pembuatan ekosemen.

Pengujian Karakteristik Kimia Ekosemen

Pengujian karakteristik kimia ini berupa pengujian senyawa kimia yang terkandung di dalam ekosemen dengan bahan baku abu kulit kerang yaitu bagian tak larut, SiO₂, Fe₃O₂, Al₂O₃, CaO, MgO, SO₃, hilang pijar, alkali, dan kapur bebas. Setelah memperoleh hasil kandungan senyawa kimia, maka dapat dihitung kandungan C₃S, C₂S, C₃A, dan C₄AF. Adapun hasil pengujian karakteristik senyawa kimia untuk sampel A dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil pengujian karakteristik kimia sampel A

No	Uraian	Hasil Uji	Syarat SNI 15-2049-2004 Tipe I	Syarat Senyawa Kimia Semen (Somayaji, 2001)	Ket
1	SiO ₂	20,26 ± 0,21	-		
2	Fe ₂ O ₃	3,46 ± 0,09	-		
3	Al ₂ O ₃	6,42 ± 0,21	-		
4	CaO	63,16 ± 0,16	-		
5	MgO	1,67 ± 0,05	< 6,0		Memenuhi
6	SO ₃				
	Jika C ₃ A < 8.0		< 3,0		
	Jika C ₃ A > 8.0	2,76 ± 0,10	< 3,5		Memenuhi
7	Hilang pijar	1,82 ± 0,05	< 5,0		Memenuhi
8	Bagian tak larut	0,36 ± 0,06	< 3,0		Memenuhi
9	Alkali sebagai Na ₂ O	0,56 ± 0,04	< 6,0		Memenuhi

No	Uraian	Hasil Uji	Syarat SNI 15-2049-2004 Tipe I	Syarat Senyawa Kimia Semen (Somayaji, 2001)	Ket
10	Kapur Bebas	1,22 ± 0,11	-		
	C ₃ S, maksimum	42,20 ±	-	35-65	Memenuhi
	C ₂ S, minimum	26,20 ±	-	15-40	Memenuhi
	C ₃ A, maksimum	11,20 ±	-	0-15	Memenuhi
	C ₄ AF	10,52 ±	-	6-20	Memenuhi

Hasil pengujian karakteristik senyawa kimia untuk sampel B dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil pengujian karakteristik kimia sampel B

No	Uraian	Hasil Uji	Syarat SNI 15-2049-2004 Tipe I	Syarat Senyawa Kimia Semen (Somayaji, 2001)	Ket
1	SiO ₂	21,09 ± 0,21	-		
2	Fe ₂ O ₃	3,36 ± 0,09	-		
3	Al ₂ O ₃	5,96 ± 0,21	-		
4	CaO	63,25 ± 0,16	-		
5	MgO	2,00 ± 0,05	< 6,0		Memenuhi
6	SO ₃				
	Jika C ₃ A < 8.0		< 3,0		
	Jika C ₃ A > 8.0	2,77 ± 0,10	< 3,5		Memenuhi
7	Hilang Pijar	1,31 ± 0,05	< 5,0		Memenuhi
8	Bagian tak larut	0,67 ± 0,06	< 3,0		Memenuhi
9	Alkali sebagai Na ₂ O	0,05 ± 0,04	< 6,0		Memenuhi
10	Kapur Bebas	1,30 ± 0,11	-		
	C ₃ S, maksimum	38,80 ±	-	35-65	Memenuhi
	C ₂ S, minimum	31,20 ±	-	15-40	Memenuhi
	C ₃ A, maksimum	9,70 ±	-	0-15	Memenuhi
	C ₄ AF	11,00 ±	-	6-20	Memenuhi

Pada Tabel 4.2 dan 4.3, berdasarkan hasil analisis kimia sampel ekosemen A (100% abu kulit kerang) dan B (50% abu kulit kerang : 50% kapur) dapat dilihat bahwa ekosemen B mengandung kadar CaO sedikit lebih tinggi dari ekosemen A, tetapi perbedaannya tidak cukup signifikan. Kandungan masing-masing senyawa memenuhi kriteria SNI 15-2049-

2004 dan batas kandungan senyawa yang biasanya disyaratkan untuk semen portland (CCAA, 2002).

Senyawa CaO berfungsi sebagai penambah kekuatan pada ekosemen. Hasil karakteristik kimia menunjukkan kandungan CaO ekosemen A dan B masuk ke dalam batas yang disyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa CaO yang ada dalam ekosemen A dan B sebagai penyusun senyawa-senyawa utama seperti C_3S , C_2S , C_3A , dan C_4AF sebenarnya tidak memerlukan penambahan aditif lain. Jumlah kapur yang berlebihan akan menyebabkan pemisahan ekosemen setelah hidrasi dimulai, sedangkan CaO yang tidak berlebihan dapat mengurangi kecepatan waktu ikat serta meningkatkan kuat tekan awal. Komposisi ekosemen dengan CaO di bawah ambang batas biasanya tidak menambah kekuatan pada semen bahkan ketidaksempurnaan pembakaran berpotensi menimbulkan *flash setting* (ikatan yang terlalu cepat) (Murdock dan Brook, 1991). Kandungan senyawa lain seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO dan SO_3 pada kedua ekosemen masuk pada ambang batas yang dipersyaratkan (Tabel 4.2 dan 4.3). Jika kandungan SiO_2 tinggi dan Al_2O_3 rendah, maka ekosemen yang dihasilkan memiliki ikatan lambat, kuat tekan tinggi dan tahan terhadap agresi bahan kimia, sedangkan SiO_2 rendah dan Al_2O_3 tinggi menghasilkan semen dengan ikatan cepat namun tetap memiliki kekuatan tinggi. Kadar MgO dan SO_3 yang berlebihan menyebabkan semen mudah retak dan kuat tekan rendah. Fe_2O_3 berfungsi memberikan warna abu-abu pada semen.

Kedua tipe ekosemen yang diuji, menunjukkan kandungan hilang pijar, bagian tak larut, kandungan alkali dan kandungan kapur bebas memenuhi persyaratan. Kandungan hilang pijar berfungsi untuk mencegah kemungkinan adanya mineral-mineral yang terurai dalam pemijaran. Kristal mineral tersebut dapat mengalami perubahan dalam jangka waktu yang lama yang mana dapat menimbulkan kerusakan. Bagian tak larut adalah sisa bahan yang tidak aktif yang terdapat pada ekosemen. Semakin sumlah bagian yang tidak larut, maka kualitas ekosemen juga semakin baik. Kandungan alkali yang tinggi mempercepat pengerasan semen sehingga mortar atau beton cepat mengalami retak-retak. Kandungan kapur bebas yang tinggi akan mempengaruhi ekosemen secara negatif karena mengakibatkan bentuk yang tidak stabil setelah semen mengeras.

Empat mineral utama yang terbentuk pada proses klinkering, yakni C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF (Tabel 1). Kandungan keempat mineral utama pada ekosemen A dan B telah memenuhi persyaratan untuk semen portland. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik ekosemen A dan B hampir sama dengan semen dari industri. Kekuatan semen mayoritas didominasi oleh gabungan C_3S dan C_2S (Somayaji, 2001). Jumlah C_3S yang tinggi dapat meningkatkan panas hidrasi semen dan kuat tekan awal. Mineral C_2S dalam jumlah besar memperbaiki kekuatan semen pada umur selanjutnya. Mineral C_3A meningkatkan panas hidrasi dan peningkatan kuat tekan awal, tetapi memiliki sifat semen yang buruk, sedangkan C_4AF berfungsi sebagai *filler* (pengisi) dengan kontribusi minimalis pada kekuatan semen.

Berdasarkan hasil penelitian terhadap senyawa utama penyusun, maka ekosemen A dan B memenuhi persyaratan SNI 15-2049-2004 untuk Semen Portland Tipe I dan dapat digunakan dalam aplikasi tanpa persyaratan khusus.

Pengujian Karakteristik Fisika Ekosemen

Pengujian karakteristik fisika berdasarkan SNI 15-2049-2004 meliputi pengujian kehalusan butir, kekatan, kekuatan tekan, waktu pengikatan, pengikatan semu, panas hidrasi, pemuaihan dan kandungan udara mortar. Pada penelitian ini, pengujian karakteristik fisika yang dilakukan hanya kuat tekan 28 hari.

Hasil pengujian kuat tekan mortar umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil pengujian kuat tekan mortar umur 28 hari

No.	Mortar A	Mortar B
I	162 kg/cm ²	196 kg/cm ²
II	180 kg/cm ²	196 kg/cm ²
Rata-rata	171 kg/cm²	196 kg/cm²

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan di atas dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan pada mortar yang terbuat dari ekosemen masih di bawah nilai yang disyaratkan pada SNI 15-2049-2004 yaitu sebesar 280 kg/cm². Hal ini mungkin disebabkan adanya kandungan gipsium yang cukup tinggi, mendekati ambang batas persyaratan. Penambahan gipsium bertujuan untuk memperbaiki kinerja ekosemen dan mendapatkan kuat tekan yang tinggi. Gipsium yang dicampurkan pada klinker dalam jumlah sedikit di bawah persyaratan akan menghasilkan kuat tekan yang optimum, mengurangi susut, mengontrol waktu ikat dan nilai slump (*hydraulic cement*), sedangkan gipsium dalam jumlah yang lebih besar dari persyaratan dapat mengurangi kekuatan mortar secara signifikan. Hal ini terjadi karena jumlah gipsium yang melebihi batas optimum akan menyebabkan kembang (*expansion*) dan dapat merusak pengikatan pasta semen (Neville, 1995). Jumlah gipsium optimum akan menyebabkan laju hidrasi yang tepat dan mencegah penumpukan produk hidrasi yang tidak merata. Oleh karena itu jumlah gipsium yang optimum akan menghasilkan pori pasta semen yang lebih halus dan meningkatkan kuat tekan.

Dari hasil pengujian kuat tekan di atas dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan pada mortar B (196 kg/cm²) yaitu mortar yang terbuat dari ekosemen dengan bahan baku campuran 50% abu kulit kerang dan 50% kapur menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada mortar A (171 kg/cm²) yaitu mortar yang terbuat dari ekosemen dengan bahan baku 100% abu kulit kerang. Nilai kuat tekan ekosemen ini mengalami kenaikan yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan ekosemen penelitian terdahulu yaitu Tenggario (2012) sebesar 28,42 kg/cm².

Meskipun nilai kuat tekan ekosemen yang diperoleh belum memenuhi persyaratan SNI 15-2049-2004 yaitu sebesar 280 kg/cm^2 , ekosemen ini tetap dapat diaplikasikan di lapangan. Ekosemen dengan bahan baku abu kulit kerang ini dapat digunakan pada konstruksi struktural (kolom, balok, dan dak) dan konstruksi non struktural (semenisasi dan drainase) dengan desain mutu K-125 dan K-175. Selanjutnya ekosemen juga dapat digunakan pada konstruksi perumahan sederhana dan pada industri pembuatan conblok dengan persyaratan nilai kuat tekan minimum 100 kg/cm^2 .

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Abu kulit kerang hasil pembakaran suhu 700°C menghasilkan kandungan CaO sebesar 55,10%. Hasil ini menunjukkan bahwa abu kulit kerang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti kapur pada proses pembuatan semen.
- b. Hasil pengujian karakteristik kimia dari ekosemen sampel A (100% abu kulit kerang), yaitu bagian tak larut : 0,36%, SiO_2 : 20,26%, Fe_3O_2 : 3,46%, Al_2O_3 : 6,42%, CaO : 63,16%, MgO : 1,67%, SO_3 : 2,76%, hilang pijar : 1,82%, alkali : 0,56%, kapur bebas : 1,22%, C_3S : 42,20% , C_2S : 26,20%, C_3A : 11,20%, dan C_4AF : 10,52%.
- c. Hasil pengujian karakteristik kimia dari ekosemen sampel B (50% abu kulit kerang : 50% kapur), yaitu bagian tak larut : 0,67%, SiO_2 : 21,09%, Fe_3O_2 : 3,63%, Al_2O_3 : 5,96%, CaO : 63,25%, MgO : 2,05%, SO_3 : 2,77%, hilang pijar : 1,31%, alkali : 0,50%, kapur bebas : 1,30%, C_3S : 38,80% , C_2S : 31,20%, C_3A : 9,70%, dan C_4AF : 11,00%.
- d. Hasil pengujian karakteristik kimia menunjukkan ekosemen A dan B sudah memenuhi persyaratan SNI 15-2049-2004 untuk Semen Portland Tipe I.
- e. Nilai kuat tekan mortar pada umur 28 hari untuk sampel A adalah 171 kg/cm^2 dan sampel B adalah 196 kg/cm^2 . Hasil ini belum memenuhi persyaratan SNI 15-2049-2004 untuk Semen Portland Tipe I.
- f. Ekosemen ini dapat digunakan dan diaplikasikan pada pekerjaan konstruksi ringan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2006. *Ecocement: New Recycling Resources Reborn for an Affluent Future.*

Armanto, A. 2009. *Produksi Semen Dari Sampah (Ekosemen).* <<http://majarimagazine.com/2008/02/produksi-semen-dari-sampah/>> [diakses: 07 Juni 2012].

Banerjea, H. N. 1980. *Technology of Portland Cement and Blended Cement.* Wheeler Publishing ltd. Allahabad.

CCAA. 2002. *Guide to Concrete Construction.* Sydney: Cement & Concrete Association of Australia.

Intercem Consulting. 2003. *Environmental and Market Pressures on the Cement Industry.* <[URL: cementdistribution.com](http://cementdistribution.com)> [diakses: 25 April 2012]

Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Penerbit Andi.

Murdock, L.J., L.M. Brock dan Stephanus Hendarko. 1991. *Bahan dan Praktek Beton.* Jakarta: Penerbit Erlangga.

Neville, AM. 1995. *Properties of Concrete.* Essex: Longman.

- Putranto, D.** 2011. *Bahaya Semen Untuk Dunia.* <URL: <http://kimiadahsyat.blogspot.com/2011/02/bahaya-semen-untuk-dunia.html>> [diakses 07 Agustus 2012]
- SNI 15-2049-2004.** *Semen Portland.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Somayaji, S.** 2001. *Civil Engineering Materials.* New Jersey: Prentice Hall.
- Tenggario, A.** 2012. *Pemanfaatan Abu Serbuk Gergaji Untuk Pembuatan Ekosemen Dengan Uji Kuat Tekan Mortar.* Universitas Riau. Pekanbaru.
- Tjokrodimuljo, K.** 1996. *Teknologi Beton.* Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.