

KARAKTERISTIK KIMIA DAN FISIKA SEMEN POZOLAN KAPUR YANG DIPERKAYA SILIKA ABU SEKAM PADI

CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF LIME POZOLAN CEMENT ENRICHED WITH SILICA OF RICE HUSK ASH

Asma Assa dan Erwin Adinata

Balai Besar Industri Hasil Perkebunan

e-mail: emma_bbihp@yahoo.com

Diajukan: 07 Desember 2012; Dinilai: 14 Desember – 08 Februari 2013; Disetujui: 05 Juni 2013

Abstrak

Kemajuan pembangunan sarana dan prasarana konstruksi yang sangat pesat pada beberapa dekade terakhir ini menyebabkan kebutuhan akan bahan bangunan termasuk semen juga meningkat bahkan kadang-kadang sulit ditemukan di pasaran. Salah satu jenis semen yaitu Semen Pozolan Kapur (SPK) dapat digunakan untuk mensubsitusi semen portland untuk konstruksi bangunan yang menerima beban relatif lebih kecil. SPK diproduksi dari bahan pozolan dan kapur padam tanpa proses pemanasan. Bahan pozolan yang sering digunakan adalah tras. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kimia dan fisika SPK yang diperkaya silika dari Abu Sekam Padi (ASP). ASP ini dimaksudkan untuk mengurangi pemakaian tras sebagai sumber silika. Metode penelitian meliputi eksperimen dan pengujian. Penambahan ASP didalam SPK divariasikan pada level 0, 0,5, 10, 15 dan 20% (w/w). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanpa penambahan ASP (kontrol), kandungan SiO₂ SPK sebesar 53,94%. Dengan penambahan 5 sampai 20% ASP kandungan SiO₂ meningkat menjadi 59,54 - 65,87%. Sebaliknya kandungan SO₃ yang semula 3,43% turun menjadi 2,04 - 1,11% dan kandungan MgO turun dari 2,36% menjadi 2,29 - 1,64%. Selanjutnya penambahan ASP didalam SPK meningkatkan kuat tekan beton, kecuali pada penambahan 15% dan 20% setelah umur beton 21 dan 28 hari. Karena itu penambahan optimum ASP untuk sifat fisika SPK adalah 15% dengan kuat tekan 103 x 10⁵ kg/m² sesudah 21 hari dan 128 x 10⁵ kg/m² sesudah 28 hari.

Kata kunci : abu sekam padi, karakteristik kimia dan fisika, semen pozolan kapur

Abstract

Development of infrastructures intensively in the last decades has increased the demand for building materials, such as cement. This also causes the prices of Portland Cement, the most common type of cements has also increased and sometimes it is difficult to find it in the markets. Another type of cement namely Lime Pozolan Cement (SPK) may be used to substitute for Portland Cement for building construction which receives relatively low loads. The SPK is produced from pozolan materials and lime without heating process. The common pozolan materials used is tras. This research is aimed to investigate chemical and physical characteristics of the SPK enriched with silica of rice hull ash (ASP). The ASP is intended to reduce the use of trace as the source of silica. Methods used included experiments and testing. Supplements of the ASP in the SPK were varied at the levels of 0, 5, 10, 15, and 20% (w/w). The results of the research indicated that without ASP supplement (control treatment), SiO₂ contents was 53.94%. By 5 to 20% ASP supplement increased SiO₂ content to 59.54 - 65.87%. However SO₃ content was reduced from 3.43% to 2.04 - 1.11% and MgO content from 2.36% to 2.29 - 1.64%. Furthermore, as the ASP supplement in SPK increased the compressive strength of concrete samples also increased, except at 15% and 20% ASP supplement after 21 and 28 days storage of the samples. Therefore, the optimum ASP supplement in SPK in this study was 15% with compressive strength of 103 x 10⁵ kg/m² after 21 days storage and 128 x 10⁵ kg/m² after 28 days storage.

Keywords : chemical and physical characteristics, lime pozolan cement, rice husk ash silika

PENDAHULUAN

Kemajuan pembangunan sarana dan prasarana konstruksi yang sangat pesat dari tahun ke tahun pada beberapa dekade terakhir ini mengakibatkan kebutuhan akan semen semakin meningkat sebagai komponen penting dari material bangunan. Jenis semen Portland yang selama ini banyak digunakan, harganya semakin mahal dan bahkan kadang-kadang mengalami kelangkaan di pasaran. Berbagai upaya telah dilakukan untuk menanggulangi masalah tersebut misalnya mencari alternatif pengganti atau penyubstitusi semen Portland. Salah satu jenis semen alternatif yang harganya relatif lebih murah dan teknologi proses pembuatannya yang lebih sederhana adalah *Semen Pozolan Kapur (SPK)*.

Menurut SNI 15-0301-1989, Semen Pozolan Kapur didefinisikan sebagai bahan perekat hidrolisis yang dibuat dengan menggiling bersama suatu bahan pozolan dengan kapur padam sehingga menjadi satu kesatuan yang kompak (Pustan, 1989). Disebut sebagai bahan perekat hidrolisis mengingat adanya daya rekat semen yang timbul setelah dicampur dengan air.

Semen Pozolan Kapur dibuat dari campuran bahan pozolan dan kapur padam dengan tidak melalui proses pemanasan. Bahan pozolan yang sering digunakan adalah tras. Pada pembuatan Semen Pozolan Kapur dengan skala produksi di daerah Lampung Selatan digunakan perbandingan campuran antara tras, kapur padam dan semen portland sebesar 3 : 1 : 0,6 (Meinarni, 2003).

Abu sekam padi (ASP) merupakan hasil pembakaran sekam padi yang memiliki kandungan silika yang tinggi. Pembakaran sekam pada suhu 500 – 600 °C dalam waktu sekitar 1 - 2 jam akan menghasilkan abu dengan silika berbentuk amorf. ASP ini biasanya mengandung 85 - 90% silika sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku industri pembuatan semen Pozolan, bahan isolasi, *husk board* dan campuran bata merah (Fitriadi *et al.*, 2009).

Penambahan ASP dalam beberapa penelitian diketahui dapat mengurangi kebutuhan tras pada pembuatan Semen Pozolan Kapur (SPK).

Penelitian penambahan ASP pada beton sebagai bahan pozolan dalam mengantisipasi kerusakan akibat agresi magnesium sulfat air laut telah diteliti oleh Putra (2006). Penambahan optimum ASP adalah 16,8% dari berat semen portland pozolan.

Sedangkan Purwandari *et al.*, (2006) memperoleh perbandingan optimum ASP dari berat semen portland pozolan pada pembuatan beton sebesar 15 : 85. Dalam hal ini ASP diperlakukan dengan asam klorida 0,01 M.

Ukuran butiran tras untuk pembuatan SPK yaitu seluruhnya harus lolos ayakan 2,5 mm, sedangkan sisa diatas ayakan 0,25 mm masing-masing untuk Tingkat I = 10%, Tingkat II = 10-30%, dan Tingkat III = 30-50% (Anonim, 2009).

Sedangkan persyaratan ukuran butiran kapur padam untuk pembuatan SPK yaitu sisa maksimum diatas ayakan 6,7 mm; 4,75 mm; dan 0,85 mm; dan 0,106 mm masing-masing 0%, dan diatas ayakan 0,106 mm sebanyak 15% untuk kelas I. Sedangkan untuk kelas II, sisa maksimum diatas ayakan 6,7 mm dan 4,75 mm masing-masing 0,0%, dan diatas ayakan 0,85 mm dan 0,106 mm masing-masing tidak dipersyaratkan (BSN, 2004).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari karakteristik kimia dan fisika semen pozolan kapur (SPK) yang diperkaya dengan silika abu sekam padi (ASP).

BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tras, abu sekam padi, semen Portland, kapur padam, dan air. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Alat gilingan (*grinding machine*), Alat pengayak (*siever*), oven, neraca, *mixer*, wadah plastik, gelas ukur 250 ml; 100 ml; dan 10 ml, *stopwatch*. Sedangkan alat-alat

untuk analisis meliputi *Atomic Absorption Spectrophotometre (AAS)*, Alat Uji Kuat Tekan dan Alat Vicat.

B. Metode Penelitian

Penelitian karakteristik fisika-kimia semen pozolan kapur dengan penambahan abu sekam padi ini dilakukan pada Laboratorium Fisika-Mekanika dan Laboratorium Kimia Balai Besar Industri Hasil Perkebunan (BBIHP) pada bulan Desember 2009 sampai Maret 2010. Metode yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari eksperimen dan uji kimia dan fisika (meliputi waktu vicat, kekekalan bentuk dan kuat tekan).

Tahapan yang dilakukan terdiri dari:

- 1) Penentuan persentase penambahan Abu Sekam Padi (ASP) pada semen pozolan kapur (SPK) masing-masing: 0, 5, 10, 15, dan 20% (w/w).
- 2) Pembuatan Semen Pozolan Kapur (SPK) yang diperkaya dengan ASP.
- 3) Karakterisasi sifat kimia dan fisika SPK yang diperkaya ASP.

Komposisi SPK mengacu pada SPK produksi Lampung Selatan yaitu tras : kapur padam : semen portland = 3 : 1 : 0,6 (w/w) (Meinarni, 2003).

Ukuran butiran bahan pembuatan SPK yang diperkaya dengan ASP disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Butiran Tras, Kapur Padam dan ASP.

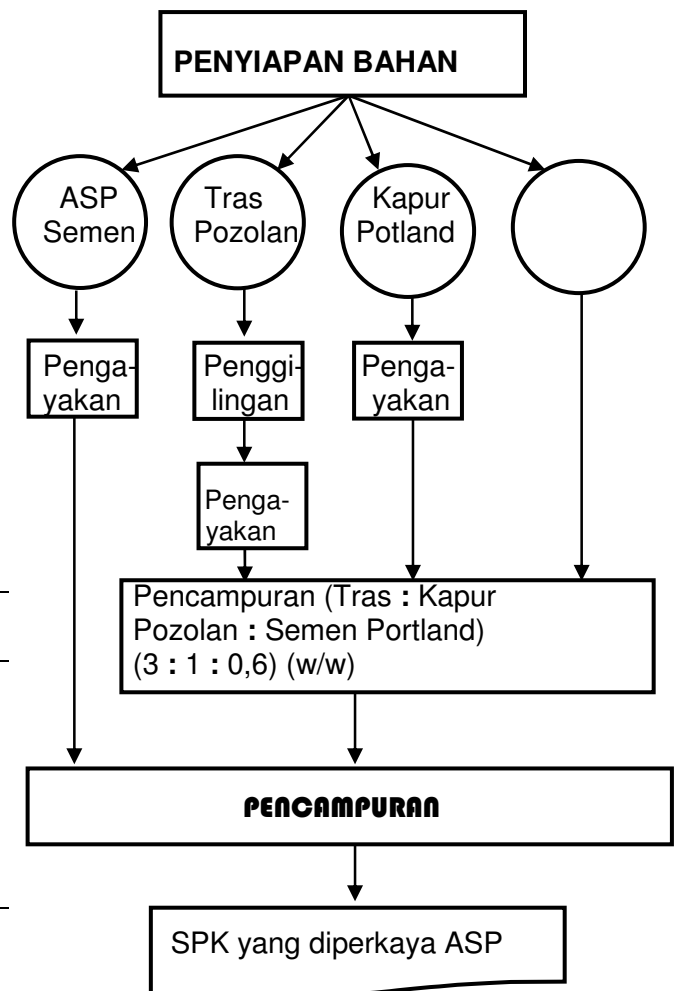
No	Bahan	Ukuran butiran	Keterangan
1	Tras	Lolos ayakan 0,09 mm (mesh 190)	Memenuhi standar Tingkat I (Anonim, 2009).
2	Kapur Padam	Lolos ayakan 4,75 mm (mesh 4)	Memenuhi standar Kelas II (BSN, 2004)
3	ASP	Lolos ayakan 0,15 mm (mesh 100)	-

Prosedur pembuatan SPK yang diperkaya ASP adalah sebagai berikut:

1. Menghaluskan *tras* dengan menggunakan alat *giling (grinding machine)*.
2. Mengayak masing-masing butiran tras hasil penggilingan, kapur padam, dan ASP untuk memperoleh kehalusan butiran yang diinginkan.

3. Mencampur butiran tras, kapur padam, semen Portland untuk menghasilkan SPK dengan perbandingan tras : kapur padam : semen Portland (3 : 1 : 0,6) (w/w).
4. Mencampur semen pozolan kapur (SPK) dan abu sekam padi (ASP) yang diperkaya dengan ASP masing-masing dengan presentase penambahan ASP yang ingin dicapai yaitu 0, 5, 10, 15 dan 20% dari total berat SPK secara terpisah (w/w).
5. Mengukur kehalusan butiran SPK yang diperkaya dengan ASP.

Pembuatan SPK yang diperkaya dengan ASP tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan SPK yang diperkaya ASP

Prosedur dan standar pengujian fisika SPK yang diperkaya ASP mengacu pada SNI-15-0301-1989 (Pustan, 1989), sedangkan pengujian kimia SPK yang

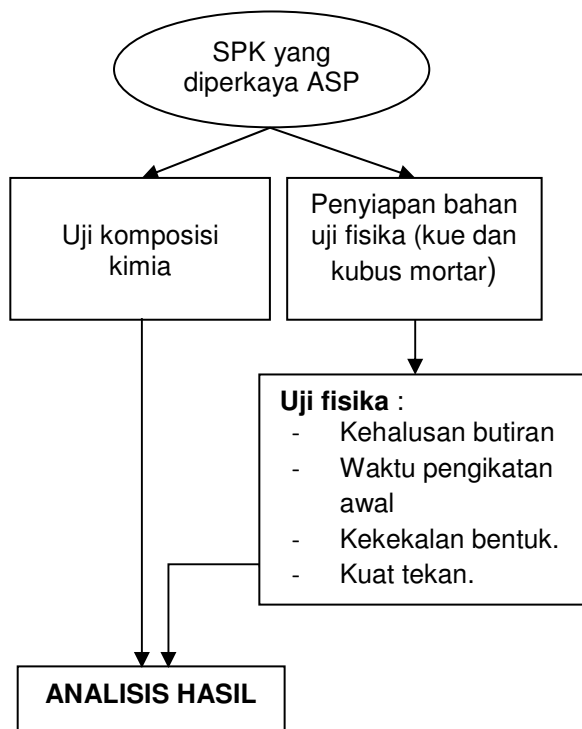
diperkaya ASP menggunakan metode AAS.

Pengujian kimia mencakup komposisi kimia hasil SPK yang diperkaya dengan ASP. Sedangkan pengujian fisika meliputi :

- Waktu pengikatan awal
- Kekekalan bentuk, dan
- Kuat tekan

Benda uji produk berupa adonan mortar dan kue-kue untuk uji pengikatan awal dan kekekalan bentuk. Sedangkan benda uji kuat tekan berupa kubus beton dari adonan mortar ukuran 5 x 5 x 5 cm³ (BSN, 2004).

Alur pengujian benda uji disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Sifat Kimia

Hasil uji komposisi kimia SPK yang diperkaya ASP disajikan pada Tabel 2.

Silika merupakan unsur kimia yang utama pada ASP dan berpengaruh pada abu sekam itu sendiri. Matriks semen hidrolis (kalsium dan silika) jika bereaksi dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) primer yang memiliki

sifat semen (perekat) dan membebaskan sebagian kapur atau kalsium hidroksida (CH) (Loly, 2004). Sedangkan CSH merupakan gel kaku yang tersusun oleh partikel-partikel sangat kecil dengan susunan lapisan yang cenderung membentuk formasi agregat yang akan memberikan kekuatan pada semen (Bakri *et al.*, 2009).

Tabel 2. Karakteristik Kimia Semen Pozolan Kapur

No	Parameter	Penambahan ASP				
		0%	5%	10%	15%	20%
1	SiO ₂	53,94	59,54	63,00	63,38	65,87
2	Al ₂ O ₃	02,24	02,03	01,88	01,43	01,02
3	Fe ₂ O ₃	01,40	01,21	01,27	01,65	01,89
4	CaO	25,53	22,17	20,84	19,74	17,58
5	MgO	02,36	02,29	02,12	01,97	01,64
6	SO ₃	03,43	2,04	01,76	01,18	01,11
7	Hilang Pijar	12,94	12,83	12,36	11,88	11,49

Senyawa utama yang dapat mempengaruhi mutu SPK diantaranya adalah silika, SO₃, dan MgO. Tabel 2 menunjukkan terdapat kenaikan oksida silika (SiO₂) pada pembuatan Semen Pozolan Kapur dengan penambahan ASP. Kenaikan itu dari 53,94% SiO₂ tanpa penambahan ASP menjadi 59,54% sampai 65,87% dengan penambahan 5% sampai 20% ASP. Kenaikan oksida silika ini disebabkan karena ASP kaya akan silika bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan oksida-oksida lainnya. Menurut Nuraidah (2009) kandungan silika ASP sekitar 99,99%.

Penggunaan silika secara berlebihan akan menyebabkan resiko timbulnya reaksi alkali silika. Reaksi ini merupakan reaksi antara silika dengan alkali pada semen. Reaksi ini membentuk suatu gel alkali yang menyelimuti butiran-butiran agregat. Gel tersebut dikelilingi oleh pasta semen dan akibat pemuaiannya terjadilah tegangan internal yang dapat menyebabkan retak atau pecahnya pasta semen (Sitorus *et al.*, 2008).

Sedangkan kandungan SO₃ dalam semen berguna untuk mengatur atau memperbaiki sifat pengikatan dari mortar dan juga kuat tekan. Kandungan SO₃

yang berlebih juga akan menimbulkan kerugian pada sifat ekspansif semen dan dapat menurunkan kekuatan tekan. Karena itu syarat kimia kandungan SO₃ pada semen portland pozolan menurut SNI 15-0302-2004 dipersyaratkan maksimum 4,00% (BSN, 2004). Pada penelitian ini penambahan ASP 5 sampai 20% pada SPK menghasilkan kandungan SO₃ antara 2,04 sampai 1,11% dibawah nilai maksimum standar SNI tersebut (Tabel 2).

Pada umumnya senyawa MgO didalam semen tidak diinginkan atau setidaknya dibatasi sampai 1-2% (Nofrita, 2011). Pada SNI 15-0302-2004 syarat kimia kandungan MgO pada semen portland pozolan maksimum 6% (BSN, 2004). Bila kandungan MgO didalam semen kurang dari 2% akan berikatan dengan klinker, tetapi apabila lebih dari 2% maka akan terbentuk MgO bebas (*periclase*) yang akan berikatan dengan air membentuk Mg(OH)₂ dalam pembuatan beton. Karena reaksi MgO dengan air ini relatif lebih lambat dibandingkan dengan pengerasan massa semen, dimana volume Mg(OH)₂ lebih besar dari volume MgO sehingga terjadi ekspansi volume yang dikenal sebagai "*Magnesium Expansion*" yang dapat mengakibatkan keretakan pada beton (Nofrita, 2011).

Pada penelitian ini penambahan ASP sebesar 5 sampai 20% didalam SPK menyebabkan kandungan MgO menurun dari 2,36% menjadi 2,29 sampai 1,65%.

B. Hasil Uji Sifat Fisik

Tabel 3. Ukuran butiran SPK yang diperkaya ASP

No	Sisa diatas Ayakan	Persentase ASP di dalam SPK, % (w/w)				
		0	5	10	15	20
1	1,18 mm	0	0	0	0	0
2	0,85 mm	0	0	0	0	0
3	0,25 mm	0	0	0	0	0
4	0,15 mm	1,3	1,1	0,6	0,9	0,7
5	0,09 mm	2,4	2,7	4,3	7,0	7,2
6	PAN	96,3	96,2	95,1	92,3	92,1

Persyaratan SNI 15-0301-1998

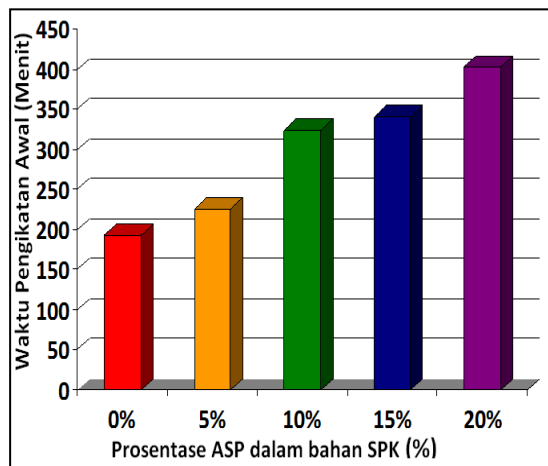
- Sisa di atas ayakan 1,2 mm = 0%
- Sisa maksimum di atas ayakan 0,09 mm = 10%

Dari Tabel 3 terlihat bahan SPK yang diperkaya dengan persentase penambahan ASP 0 sampai 20% semuanya memenuhi syarat untuk ukuran butiran. Sisa diatas ayakan 0,25 mm semuanya lolos, apalagi diatas ayakan 1,2 mm, sedangkan sisa diatas ayakan 0,09 mm semuanya < 10%. Namun semakin besar persentase ASP relatif semakin kasar ukuran butiran hasil produk semen.

Uji Waktu Pengikatan (Vicat)

Hasil uji untuk waktu pengikatan awal disajikan dalam bentuk histogram pada Gambar 3.

Waktu pengikatan adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Pengujian waktu ikat bertujuan menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan pasta dengan konsistensi normal. Waktu pengikatan awal ini berada pada kisaran 193 sampai 406 menit.



Gambar 3. Waktu Pengikatan Awal Terhadap Penambahan ASP

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar persentase ASP di dalam SPK mengganti berat SPK yang telah diperkaya ASP maka waktu pengikatan semen semakin lama. Hal ini sesuai dengan Murdock *et al.*, (1999), bahwa kandungan silika yang menonjol pada semen cenderung akan memperlambat

pengikatan semen, tetapi meningkatkan kuat tekan pada umur yang relatif lama dan menyebabkan SPK dengan penambahan ASP lebih tahan terhadap zat asam.

Uji Kekekalan Bentuk

Uji kekekalan bentuk dilakukan secara visual dengan menggunakan dua cara yaitu:

a. Percobaan Cepat

Hasil uji kekekalan bentuk dengan percobaan cepat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Kekekalan Bentuk dengan Percobaan Cepat

Penambahan ASP	Hasil Uji Visual	Analisa
0%	Retak	Kurang Baik
5%	Tidak Retak	Cukup Baik
10%	Tidak Retak	Baik
15%	Tidak Retak	Sangat Baik
20%	Tidak Retak	Baik

Tabel 4 menunjukkan bahwa dengan penambahan ASP terhadap berat SPK yang telah diperkaya ASP akan memperbaiki kekekalan bentuk adonan mortar SPK. Penambahan 5, 10 dan 20% telah memenuhi syarat mutu semen pozolan kapur SNI 15-0301-1989 yaitu tidak mengalami perubahan bentuk (retak, pecah atau perubahan bentuk lainnya) (BSN, 2004).

Pada persentase 0% (tanpa penambahan ASP) yang semula kurang baik dan retak, dengan penambahan 15% menjadi sangat baik dan tidak retak. Namun pada penambahan berikutnya menjadi 20% kekekalan bentuknya menurun menjadi baik saja.

b. Percobaan Lambat

Hasil uji kekekalan bentuk dengan percobaan lambat disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa kekekalan bentuk SPK yang diperkaya ASP dengan percobaan lambat menunjukkan hasil yang hampir sama dengan percobaan cepat (Tabel 4).

Perbedaannya hanya pada persentase 0% (tanpa penambahan ASP) hasil uji visualnya tidak retak.

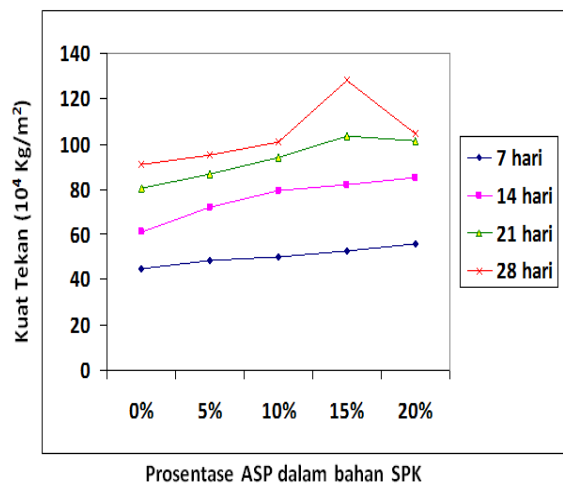
Tabel 5. Hasil Uji Kekekalan Bentuk dengan Percobaan Lambat.

Penambahan ASP	Hasil Uji Visual	Analisa
0%	Tidak Retak	Cukup Baik
5%	Tidak Retak	Cukup Baik
10%	Tidak Retak	Baik
15%	Tidak Retak	Sangat Baik
20%	Tidak Retak	Baik

Secara keseluruhan SPK yang diperkaya ASP ini telah memenuhi syarat mutu semen pozolan kapur yaitu tidak mengalami perubahan bentuk (retak, pecah atau perubahan bentuk lainnya).

Uji Kuat Tekan Mortar

Uji kuat tekan beton dari adonan mortar dilakukan setelah benda uji berumur 7, 14, 21, dan 28 hari dengan alat tekan mekanis. Hasil uji kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Uji Kuat Tekan Terhadap Penambahan ASP

Gambar 4 menunjukkan bahwa dengan penambahan ASP dapat menaikkan kuat tekan semen pozolan kapur yang dihasilkan dibandingkan dengan tanpa penambahan ASP. Hal ini dapat terlihat pada setiap penambahan

ASP terhadap berat SPK, kekuatan SPK semakin bertambah pula. Dengan persentase ASP sebanyak 10%, 15%, dan 20% sudah memenuhi syarat mutu menurut SNI 15-0301-1989, yaitu kuat tekan setelah 7 hari minimum rata-rata $5 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ dan setelah 28 hari rata-rata 10^6 kg/m^2 .

Khusus untuk umur beton 28 hari, kekuatan beton mencapai puncaknya yaitu masing-masing $103 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ dan $128 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ pada persentase ASP 15%.

Pada persentase ASP 20% kekuatan beton masing-masing menurun menjadi $101 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ pada umur beton 21 hari dan $105 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ pada umur 28 hari. Reaksi ASP dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ membentuk kalsium silikat yang bersifat padat. Dengan penambahan ASP semakin banyak terbentuk kalsium silikat. Ukuran butiran ASP yang semakin halus memudahkan ASP mengisi rongga atau pori-pori dalam beton.

Pada persentase ASP 15% memberikan kekuatan tekan optimum, dimana gugus silanol yang terkandung didalam ASP sebanding dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan selama proses hidrasi. Namun dengan penambahan ASP sampai 20% menyebabkan lebih banyak penyerapan air oleh ASP. Pori-pori ASP yang terisi air ini menyebabkan kekuatan beton menjadi menurun.

Bila dikaitkan dengan kekekalan bentuk dengan percobaan cepat terdapat kesesuaian kekekalan bentuk mortar yang optimum (sangat baik) terjadi pada persentase ASP 15% (Tabel 4).

Kekuatan optimum pada persentase ASP 15% pada penelitian ini sama atau tidak berbeda jauh dari hasil penelitian Purwandari *et al.*, (2006) dan Putra (2006) yang masing-masing memperoleh kuat tekan beton optimum pada penambahan sebesar ASP 15% dan 16,8%.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan abu sekam padi (ASP) di dalam SPK (semen pozolan kapur) akan menaikkan kadar oksida silika (SiO_2) tetapi menurunkan

kadar oksida belerang (SO_3) dan magnesium oksida (MgO) semen.

Penambahan ASP ini sampai batas tertentu juga akan memperbaiki sifat fisika semen, khususnya pada kekekalan bentuk dan kuat tekan beton, dimana prosentase optimum penambahannya adalah 15% terhadap berat semen pozolan kapur.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya disampaikan kepada Bapak Muh. Ruslan Yunus, Peneliti pada Balai Besar Industri Hasil Perkebunan yang telah membimbing dan memberikan masukan-masukan yang berharga pada penulisan makalah hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2009). *Pekerjaan Profil Bidang Usaha Bahan Galian Tras, Batu Gamping, Feldspar dan Belerang di Kabupaten Tapanuli Utara*. <http://www.distam-propsu.go.id> 12 Maret 2009.
- Bakri, Baharuddin. (2009). Adsorpsi Air Komposit Semen Sekam Padi dengan Penambahan Pozolan Abu Sekam Padi dan Kapur pada Matriks Semen. *Jurnal Perennial*, 6(2) : 70-78. Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.
- BSN. (2004). *SNI15-0302-2004. Semen Portland Pozolan*. Badan Standardisasi Nasional.
- Edianto. (2007). *Pembuatan dan Pengujian Sifat Fisik Semen Pozolan Kapur (SPK) pada Perbandingan Tertentu dengan Tras dari Kabupaten Barru*. Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Fitriadi, Remi. (2009). *Kajian Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Campuran Mortar Pasangan Bata*. <http://www.diplomasipil.its.ac.d> (diakses tanggal 15 Maret 2010).
- Loly S.K.L. (2004). *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Material Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat*

- Tarik Beton*. Program Magister Teknik Sipil. Universitas Sumatera Utara.
- Meinarni Thamrin. (2003). *Analisis Ekologi Industri Pada Pabrik Semen Pozolan di Daerah Lampung Selatan* (Tesis). Dep. Teknik Pertambangan ITB.
- Murdock, L.J, Brook, K.M, Stephanus Hidarto. (1999). *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat. Jakarta, Erlangga.
- Nofrita, R. (2011). *Efek Penambahan MgO Terhadap Warna dan Kualitas Semen Portland Pozolan*, Jur. Kimia FMIPA, Universitas Andalas Padang.
- Nuraidah. (2009). *Pembuatan dan Pengujian Sifat Fisis Ekosemen dari Bahan Semen Portland dan Abu Sekam Padi dengan Metode Mortar*, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Purwandari, R.D, Nuryono, Triyana. (2006). *Sekam Padi Hasil Perlakuan dengan Asam Klorida sebagai Bahan Pozolan Terhadap Mutu Beton*. *Kemajuan Terkini Penelitian Klaster Sains-Teknologi*, FMIPA UGM.
- Pustan. (1989). SNI 15-0301-1989. *Semen Pozolan Kapur*. Pusat Standardisasi Industri. Dep. Perindustrian.
- Putra, D. (2006). *Penambahan Abu Sekam Padi Pada Beton dan Mengantisipasi Kerusakan Akibat Magnesium Sulfat Pada Air Laut*, *J. Ilmiah Tek. Sipil* Vol. 10 No. 2 Juli 2006.
- Sitorus, Tanti K. (2008). *Pengaruh Penambahan Silika Amorf Dari Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Fisis Mortar*, USU Repository.