

PEMBUATAN REGULAR PORTLAND SEMEN DARI CAMPURAN ABU VULKANIK GUNUNG MERAPI DAN BATUAN KAPUR (DARI JUWANGI DAN GUNUNG KIDUL)

Agung Sih Damayanti, Happy Kartika Windu, Ganjar Andaka
Jurusan Teknik Kimia, Insitut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Email : devanayanti@gmail.com

INTISARI

Semen Portland merupakan bahan yang umum dipakai dalam pekerjaan konstruksi, proses pembuatannya antara lain dengan mencampurkan bahan – bahan yang bersifat silika, kapur dan beberapa bahan lain seperti clay, abu, dan pasir besi ke dalam sebuah kiln atau tungku pemanas pada suatu suhu tertentu sampai terbentuk bahan yang apabila dicampur dengan air dapat mengeras.

Komposisi bahan utama yang umum digunakan dalam pembuatan semen portland adalah batu kapur, abu, dan clay. Dalam penelitian ini hendak dicari seberapa jauh pemanfaatan batu kapur yang berasal dari Kecamatan Juwangi dan Gunung Kidul dengan dipadukan abu vulkanik Gunung Merapi untuk menghasilkan semen portland seperti yang umum ada di pasaran. Abu vulkanik Gunung Merapi sebagaimana umum diketahui memiliki kandungan SiO_2 yang cukup tinggi yaitu 50-55% b/b, sehingga layak untuk diteliti lebih jauh tentang pemanfaatannya dalam pembuatan Semen Portland.

Penelitian ini diawali dengan melakukan analisa kimia dari bahan baku yang digunakan yaitu, batu kapur, abu vulkanik Gunung Merapi, *clay*, dan pasir besi. Semen yang dihasilkan kemudian dianalisa secara kimia dan fisika untuk kemudian dibandingkan dengan hasil analisis kimia maupun fisika dari semen yang umum ada di pasaran. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa produk semen yang dihasilkan belum dapat memenuhi standar semen yang ada di pasaran baik dari hasil analisis kimia, fisika, maupun aplikasinya di lapangan.

Kata kunci: Semen portland, abu vulkanik Gunung Merapi, kapur

PENDAHULUAN

Melihat sudah banyak sekali gedung-gedung kuno yang tentu saja fondasinya dibuat dari semen, maka ini berarti bahwa semen sudah dikenal dari jaman dahulu. Pada tahun 1824, seorang Inggris yang bernama Joseph Apsdin membuat semen yang sekarang dikenal dengan nama semen portland, sebab dibuat dari batu-batu di Kepulauan Portland dekat Inggris.

Pada umumnya yang disebut semen adalah bahan batu – batuan yang jika ditambah air dapat menjadi keras dengan sendirinya. Jadi secara sederhana yang dapat dimasukkan ke dalam golongan semen adalah gamping, gips + air atau gamping + pasir + batu merah dapat menjadi semen merah. Mula-mula yang digunakan sebagai semen adalah batu di alam dibakar secara sederhana dan jika ditambah air akan mengeras (Oetoyo,1975).

Kandungan kapur yang tepat adalah suatu keharusan mengingat jika kapur terlalu rendah akan menghasilkan semen dengan kekuatan rendah, sedangkan jika terlalu tinggi juga menyebabkan kerapuhan pada semen. Semen pada jaman dulu memiliki kandungan kapur yang lebih rendah daripada semen pada jaman modern saat ini, tetapi lebih memiliki kekuatan terutama daya rekat (daya ikat). Untuk meningkatkan kekuatan semen adalah dengan menambah kandungan kapur, atau

kehalusan butiran, atau keduanya. Tetapi suhu pembakaran yang tinggi juga diperlukan untuk campuran dengan kadar kapur yang tinggi. Tidak ada manfaatnya jika hanya menambah kapur berlebih kecuali jika digabungkan dengan beberapa komponen pokok yang lain. Jika jumlah kapur yang cukup besar ini tidak digabungkan maka akan menyebabkan pemuaihan atau peretakan dalam adukan semen atau beton (Bogue, 1955).

Dalam penelitian ini selain batu kapur sebagai bahan utama pembentuk semen digunakan juga abu vulkanik sebagai salah satu bahan yang diikutsertakan sebagai komposisi bahan pembentuk semen portland. Abu vulkanik yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan akan silika yang ada di dalam semen Portland yang dihasilkan, mengingat kandungan silika cukup tinggi dari abu vulkanik Gunung Merapi. Batu kapur dari Juwangi digunakan sebagai bahan baku pembentuk utama semen portland diharapkan sebagai survei awal berpotensi tidaknya batuan kapur dari daerah ini sebagai bahan baku pembuatan semen portland.

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *clinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). Semen hidrolis adalah semen yang mempunyai kemampuan mengikat dan mengeras dengan

ditambahkan air sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras dengan ditambahkan air (<http://pengertiandancontoh.blogspot.com>).

Abu vulkanik merupakan produk letusan dari setiap gunung berapi. Daya jangkauannya yang dapat mencapai hingga ratusan kilometer, bergantung pada arah angin. Abu vulkanik ini adalah bahaya sekunder dari letusan gunung berapi, kandungan kimia di dalam abu vulkanik antara lain SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan beberapa logam-logam berat lainnya. Hal ini menyebabkan abu vulkanik adalah bahaya yang harus dihindari pada saat letusan gunung berapi terjadi (Nandaka dan Humaida, 2010).

Bahaya yang dapat terjadi jika abu vulkanik ini terhirup oleh makhluk hidup terutama oleh manusia adalah, terjadinya gangguan pernafasan hingga kematian. Karena tingkat bahaya yang begitu tinggi, abu vulkanik dianggap benda yang harus disingkirkan dan dianggap tidak berguna. (Nandaka dan Humaida, 2010). Namun dengan melihat komposisi kimia dari abu vulkanik ini, ada beberapa hal yang dapat dimanfaatkan antara lain kandungan SiO₂ yang cukup tinggi, sehingga kemungkinan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan pendukung pembentuk semen portland.

Berdasarkan pada potensi batuan kapur di Juwangi yang selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal serta adanya abu vulkanik Gunung Merapi yang selama ini hanya diketahui bahayanya secara langsung, maka dapat diajukan permasalahan adalah upaya untuk dapat memanfaatkan batuan kapur yang kaya dengan kalsium di Juwangi supaya lebih berdaya guna yang dipadukan dengan abu vulkanik Gunung Merapi yang kaya kandungan silika menghasilkan semen portland.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat semen portland pada dasarnya terdiri dari 2 (dua) bahan utama yaitu bahan yang kaya akan kalsium dan bahan yang kaya akan silika, bahan baku pembuatan semen portland di Amerika Serikat tercantum dalam Tabel 1 berikut ini (Austin, 1984).

Tabel 1. Bahan Baku Pembuatan Semen Portland di Amerika Serikat (Austin, 1984) (satuan dalam ton/thn)

Bahan baku	1979	1980	1981
Batu kapur	73,725	71,164	66,380
Cement rock	28,167	22,717	24,204
Oyster shell	3,069	3,080	2,809
Clay	6,378	5,654	5,219
Shale	3,899	3,811	3,317
Lain	329	284	193

Sand	1,954	1,813	1,631
Sandstone	734	607	667
Iron ore	966	1,068	1,040
Gypsum dan anhidrat	3,931	3,508	3,272
Blast furnace slag	439	120	86
Fly ash (abu terbang)	463	546	688
Lain	5	155	147

Bahan baku ini dihaluskan, dicampur kemudian dipanaskan di dalam rotari kiln untuk dibentuk menjadi kilnker semen. Beberapa reaksi seperti penguapan air perubahan karbondioksida, reaksi antara kapur dan clay terjadi selama pembakaran. Pada umumnya rekasi- reaksi ini terjadi pada fase solid, tetapi pada akhir reaksi terjadi fusi (penggabungan). Formasi liquid terjadi dimulai pada 1250°C dan mungkin pembentukan C₃S terjadi di bawah suhu ini. Berikut ini adalah reaksi-reaksi yang terjadi di dalam kilnker (Austin, 1984).

Tabel 2. Reaksi-reaksi yang Terjadi di dalam Kilnker

Suhu (°C)	Reaksi	Perubahan panas
100	Penguapan air bebas	Endotermis
>500	Pemisahan air terikat pada clay	Endotermis
400-750	Dekomposisi tanah liat $Al_4(OH)_8 \cdot Si_4O_{10} \rightarrow 2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) + 4H_2O$	Endotermis
600-900	Dekomposisi metakaolinit $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$	Endotermis
600-1000	Dekomposisi karbonat $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $3CaO + 2SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow 2(CaO \cdot SiO_2) + CaO \cdot Al_2O_3$	Endotermis
800-1300	Reaksi fase padat $CaO \cdot Al_2O_3 + 2CaO \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3$ $CaO \cdot Al_2O_3 + 3CaO + Fe_2O_3 \rightarrow 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ $CaO \cdot SiO_2 + CaO \rightarrow 2CaO \cdot SiO_2$	Endotermis

Kapur, silika, alumina



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Semen Portland

Ada beberapa persyaratan kimia dan fisika untuk semen portland sebagaimana

tercantum dalam SNI 15-2049-2004. Disajikan dalam Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Sifat-Sifat Kimia Semen Portland, (SNI 15-2049-2004,2004), (satuan dalam %b/b)

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20,0	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	6,5	-
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		4,5		
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				35	
9	C ₂ S, minimum				40	
10	C ₃ A, maksimum		8,0	15	7	5
11	C ₄ AF + 2C ₃ A atau C ₄ AF + C ₂ F, maksimum					25

Abu vulkanik adalah produk letusan gunung berapi, dapat menyebabkan kerusakan lahan pertanian, rumah-rumah, transportasi darat, polusi udara, dan terganggunya jalur penerbangan. Abu terbawa oleh angin dan tersebar menurut arah dan besarnya dapat mengakibatkan rusaknya lahan pertanian, pencemaran air, serta gangguan pernafasan. Abu vulkanik mengandung unsur-unsur logam berat kimiawi seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, MnO, TiO₂, P₂O₅, dan SO₃ (Nandaka dan Humaida, 2010). Abu vulkanik sebagai bahan yang kaya akan silika dapat dipadukan dengan batu kapur berasal yang dari Juwangi dan Gunung Kidul yang kaya akan kalsium untuk dibuat menjadi semen portland tipe reguler.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data-data kimia dari analisis hasil proses pembuatan semen portland dengan bahan baku batu kapur dari Juwangi dicampur dengan abu vulkanik Gunung Merapi serta dengan tambahan beberapa bahan lain dengan prosentase tertentu. Analisa bahan baku kapur Juwangi dan Gunung Kidul, abu vulkanik, gipsum, clay, pasir besi, ditunjukkan dalam Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Analisa Kimia Bahan Baku (dalam satuan %b/b)

Unsur	Abu V. Merapi	Gypsum	Kapur Juwangi	Kapur Gunung kidul	Clay	Pasir besi
SiO ₂	58,07	2,13	6,66	0,61	48,61	39,62
Al ₂ O ₃	18,89	0,07	0,67	0,08	19,43	4,82
Fe ₂ O ₃	5,38	0,05	1,19	0,07	10,91	32,62
CaO	6,32	39,81	48,82	58,55	3,08	7,49
MgO	1,80	0,19	0,40	0,28	1,12	10,35
Na ₂ O	4,10	0,21	0,19	0,13	1,91	4,83
K ₂ O	3,09	Tt	0,06	tt	0,62	1,13
MnO	0,16	0,01	0,02	tt	0,16	0,38
TiO ₂	0,39	Tt	0,10	0,04	0,76	1,36
P ₂ O ₅	0,19	Tt	0,03	0,03	0,10	0,04
SO ₃	Tt	13,79	tt	tt	Tt	Tt
H ₂ O	0,03	Tt	0,05	0,02	4,5	0,17
HD	1,50	43,47	41,44	39,9	11,24	0,11

Keterangan :

HD : Hilang dibakar

tt : Tidak terdeteksi

1. Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Komposisi Kimia Produk Semen dari Batu Kapur Juwangi

Dasar pertimbangan digunakan perbandingan bahan baku seperti tersebut diatas adalah dengan mengacu pada pustaka (Austin, 1984) didalam pustaka tersebut disebutkan salah satu contoh perbandingan bahan baku pembuatan semen portland yang telah berlangsung sejak tahun 1981. Dalam percobaan ini perbandingan berat bahan yang digunakan adalah 85 : 8 : 2 : 1 : 4, untuk kapur : clay : abu vulk : pasir besi : gipsum)

Dengan demikian dengan adanya beberapa bahan yang baru seperti clay, pasir besi, dan gypsum, maka dilakukan analisa kimia untuk bahan-bahan tersebut diatas. Proses pembuatan pada bagian ini dengan 3 (tiga) variasi suhu yaitu 900°C, 1000°C, dan 1050°C, sebagaimana tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Komposisi Kimia Produk Semen (dalam satuan %b/b) dari Batu Kapur Juwangi

Unsur	T= 900°C	T= 1000°C	T= 1050°C	Smn Psr	SNI
SiO ₂	14,48	19,92	17,42	22,29	>20
Al ₂ O ₃	3,78	3,84	4,07	7,63	<6
Fe ₂ O ₃	2,58	2,7	3,15	3,76	<6
CaO	40,39	18,27	53,35	41,98	-
MgO	0,76	1	0,95	2,19	<6
Na ₂ O	0,43	0,56	0,42	0,97	-
K ₂ O	0,16	0,16	0,17	0,77	-
MnO	0,04	0,05	0,06	0,06	-
TiO ₂	tt	Tt	0,33	0,33	-
P ₂ O ₅	0,04	0,05	0,07	0,12	-

SO ₃	1,49	2,14	1,47	Tt	-
H ₂ O ⁻	tt	tt	tt	Tt	-
HD	35,9	21,9	20,09	20,45	-
% Al ₂ O ₃ / %Fe ₂ O ₃	1,47	1,42	1,29	-	≥ 0,64
C ₃ A	5,65	5,61	5,46	-	< 15
SO ₃ , C ₃ A ≤ 8	1,49	2,14	1,47	-	< 3,5
C ₃ S	21,05	9,39	48,77	-	< 35
C ₂ S	25,64	50,02	13,15	-	> 40

Keterangan

HD : hilang dibakar

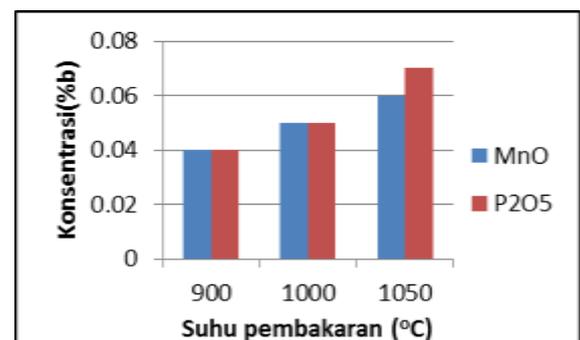
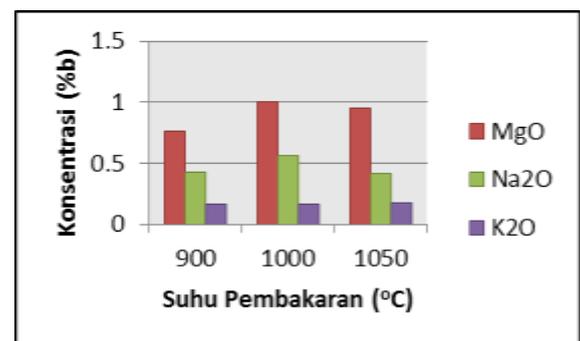
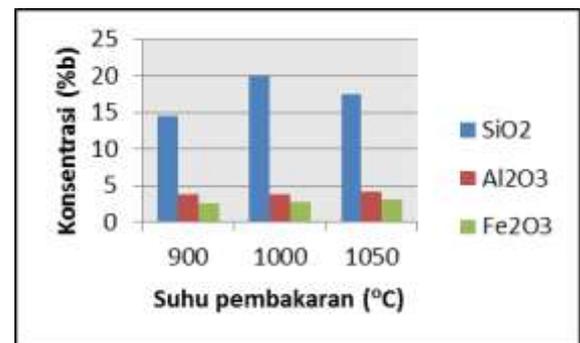
tt : tidak terdeteksi

Perlakuan temperatur pemanasan yang berbeda-beda yaitu 900-1050°C, terlihat pengaruhnya pada beberapa komposisi kimia produk semen, diantaranya adalah MgO, Na₂O, K₂O, MnO, P₂O₅, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃, dan SiO₂ dimana semakin tinggi suhu pemanasan maka tren grafik yang terjadi adalah semakin tinggi komposisi kimia yang terkandung dalam produk semen. Temperatur pemanasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah temperatur pemanasan campuran bahan baku didalam sebuah oven furnace yang dianggap mewakili sebuah kilner dalam sebuah pabrik semen. Dalam operasi pabrik semen suhu dalam kilner sangat berpengaruh dalam proses pembuatan semen portland, dimana suhu maksimum yang dijalankan adalah 1000-1600°C (Witt, 1947).

Apabila suhu pembakaran terlalu rendah, mengakibatkan reaksi kimia dari campuran bahan baku semen portland tidak sempurna sehingga tidak menghasilkan semen portland sesuai dengan yang diharapkan, apabila suhu terlalu tinggi akan mengakibatkan kilner menjadi rusak. Proses didalam kilner adalah proses kimia dimana campuran bahan baku akan melebur dan membentuk beberapa unsur baru yang diperlukan semen portland untuk dapat menghasilkan spesifikasi khas tertentu, salah satu diantaranya adalah kekuatan tekan semen portland.

Pada produk semen portland dengan perbandingan batu kapur Juwangi: clay : abu vulkanik : pasir besi : gypsum; 85 : 8 : 2 : 1 : 4, dengan 3 (tiga) variabel suhu pemanasan yaitu 900°C, 1000°C, dan 1050°C didapat hasil analisa kimia yang beragam, dilihat dari kesesuaian dengan standar semen portland yang ada di pasaran, ada beberapa hasil analisa yang masuk standard dan ada pula yang tidak masuk standar, adapun dari ketiga

variasi suhu percobaan yang dilakukan pada 900°C, 1000°C, dan 1050°C pada 1000°C didapat hasil yang paling mendekati dengan standar semen portland yang dipasaran. Untuk nilai SiO₂ masih belum masuk pada nilai yang diharapkan yaitu mendekati 22,29%, sementara itu hasil uji kimia dari produk semen dengan suhu pemanasan 1000°C adalah 19,92%. Sedangkan untuk hasil analisa unsur-unsur yang lain seperti Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Fe₂O₃, SO₃, kesemuanya masuk dalam standar yang dipersyaratkan dengan standar semen portland yang umum yang ada di pasaran.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Suhu Perubahan Komposisi Kimia Produk Semen (Komposisi bahan baku kapur Juwangi : clay : abu vulk : pasir besi : gypsum = 85 : 8 : 2 : 1 : 4)

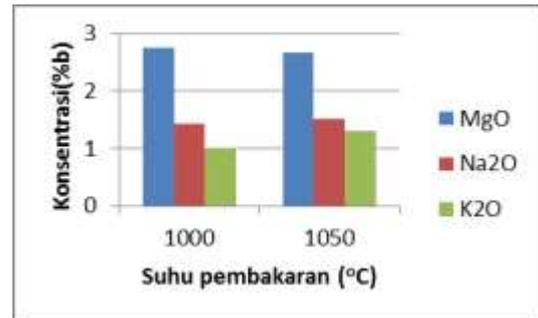
Perbandingan bahan baku yang berikutnya diambil dengan berdasar pada hasil analisa kimia semen portland yang ada di pasaran, diformulasikan dengan perhitungan

tertentu sehingga dihasilkan perbandingan berat bahan adalah kapur : clay : abu vulk : pasir besi : gipsum= 41,44 : 26,19 : 16,09 : 15,47. Analisis kimia untuk produk dengan prosentase seperti tersebut diatas ditunjukkan dalam Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Komposisi Kimia Produk Semen (satuan dalam %b/b) dari Batu Kapur Juwangi

Unsur	1000°C	1050°C	Smn Psr	SNI
SiO ₂	38,5	37,17	22,29	>20
Al ₂ O ₃	13,8	13,6	7,63	<6
Fe ₂ O ₃	11,65	11,53	3,76	<6
CaO	24,71	26,26	41,98	-
MgO	2,75	2,67	2,19	<6
Na ₂ O	1,42	1,52	0,97	-
K ₂ O	1,01	1,31	0,77	-
MnO	0,18	0,17	0,06	-
TiO ₂	0,00065	0,00084	0,33	-
P ₂ O ₅	0,000055	0,000043	0,12	-
SO ₃	tt	0,1236	tt	-
H ₂ O ⁻	tt	tt	tt	-
HD	5	5,1	20,45	-
% Al ₂ O ₃ / %Fe ₂ O ₃	1,18	1,18	-	≥ 0,64
C ₃ A	16,86	16,53	-	< 15
SO ₃ , C ₃ A ≤ 8	-	-	-	< 3,5
C ₃ S	-301,37	-283,79	-	< 35
C ₂ S	337,74	320,66	-	> 40

Perbandingan berat bahan baku yang berbeda ternyata sedikit banyak berpengaruh pada komposisi kimia produk semen yang dihasilkan, produk semen ini dibuat dengan perbandingan berat bahan, batu kapur : clay : abu vulkanik : pasir besi; 41,44 : 26,19 : 16,09 : 15,47, dilakukan dengan 2 (dua) variasi suhu yaitu 1000°C dan 1050°C, suhu 900°C tidak dilakukan dengan pertimbangan bahwa suhu pemanasan dalam *clinker* adalah >1000°C, pengaruh suhu pemanasan 1000°C terlihat pada unsur-unsur SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, K₂O, MnO, dimana kenaikan suhu memberikan pengaruh perubahan komposisi kimia produk yang naik pula.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Suhu terhadap Perubahan Komposisi Kimia Produk Semen (Perbandingan Berat Bahan, Batu Kapur : Clay : Abu Vulkanik : Pasir Besi; 41,44 : 26,19 : 16,09 : 15,47)

Produk semen dengan perbandingan berat bahan batu kapur : clay : abu vulkanik : pasir besi; 41,44 : 26,19 : 16,09 : 15,47, dilakukan dengan 2 (dua) variasi suhu yaitu 1000°C dan 1050°C. Dari kedua variasi suhu ini keduanya menunjukkan hasil analisa kimia yang memenuhi persyaratan standar dan adapula yang tidak memenuhi persyaratan. Untuk yang tidak memenuhi persyaratan standar adalah unsur Al₂O₃, Fe₂O₃, dan C₃A, sedangkan untuk hasil analisa unsur yang lain seperti SiO₂, CaO, MgO, C₃S, C₂S memenuhi sebagaimana dipersyaratkan semen portland umum yang ada di pasaran. Dengan nilai masing-masing SiO₂, MgO, C₃S, dan C₂S untuk kedua variasi suhu adalah 38,5; 38,7; 2,75; 2,67; -301.37; 337.74 (semuanya dalam satuan %b/b). Sedangkan untuk nilai Al₂O₃, Fe₂O₃, dan C₃A yang tidak memenuhi syarat adalah sebagai berikut 13,8; 13,6; 11,65; 11,53 dan 16,68; 16,53 (semuanya dalam %b/b).

2. Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Komposisi Kimia Produk Semen dari Batu Kapur Gunung Kidul

Dasar pertimbangan digunakan perbandingan bahan baku seperti tersebut di atas adalah dengan mengacu pada pustaka Austin (1984), di dalam pustaka tersebut disebutkan salah satu contoh perbandingan bahan baku pembuatan semen portland yang telah berlangsung sejak tahun 1981. Dalam percobaan ini perbandingan berat bahan yang digunakan adalah 85 : 8 : 2 : 1 : 4, untuk perbandingan kapur : clay : abu vulk : pasir besi : gipsum. Dengan demikian beberapa komposisi bahan yang baru seperti clay, pasir besi, dan gipsum, maka dilakukan analisa kimia untuk bahan-bahan tersebut diatas. Proses pembuatan pada bagian ini dengan 3 (tiga) variasi suhu yaitu 900°C, 1000°C, dan

1050°C, sebagaimana tercantum dalam Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Komposisi Kimia Produk Semen (dalam satuan %b/b) dari Batu Kapur Gunung Kidul

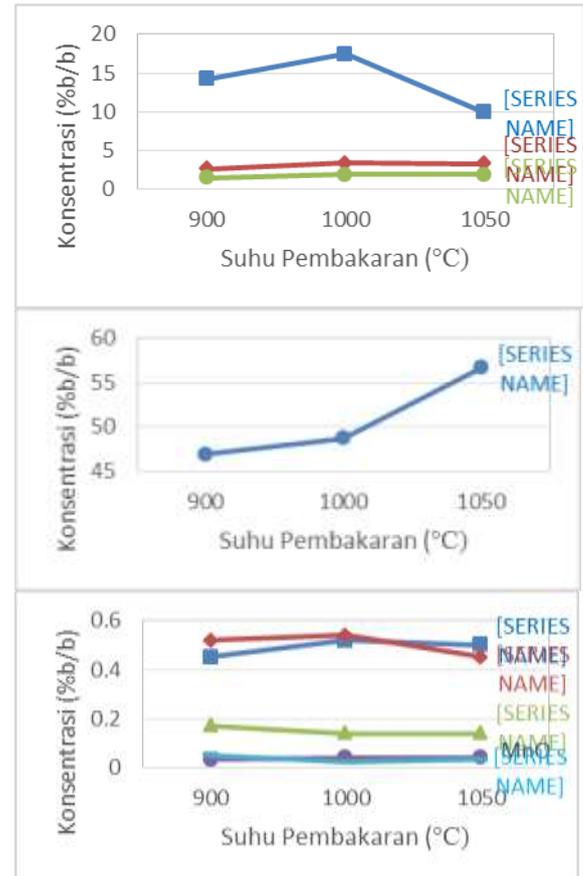
Unsur	T= 900°C	T= 1000°C	T= 1050°C	Smn Psr	SNI
SiO ₂	14,25	17,42	9,91	22,29	>20
Al ₂ O ₃	2,61	3,31	3,27	7,63	<6
Fe ₂ O ₃	1,43	1,84	1,83	3,76	<6
CaO	46,90	48,73	56,66	41,98	-
MgO	0,45	0,52	0,5	2,19	<6
Na ₂ O	0,52	0,54	0,45	0,97	-
K ₂ O	0,17	0,14	0,14	0,77	-
MnO	0,03	0,04	0,04	0,06	-
TiO ₂	tt	0,09	0,04	0,33	-
P ₂ O ₅	0,05	0,02	0,03	0,12	-
SO ₃	1,26	1,23	1,01	tt	-
H ₂ O ⁻	tt	tt	tt	tt	-
HD	32,55	24,8	25,84	20,45	-

Keterangan
 HD : hilang dibakar
 tt : tidak terdeteksi

Perlakuan temperatur pemanasan yang berbeda-beda yaitu 900-1050°C, terlihat pengaruhnya pada beberapa komposisi kimia produk semen, diantaranya adalah Al₂O₃, MgO, MnO, Fe₂O₃, dan CaO dimana semakin tinggi suhu pemanasan maka tren grafik yang terjadi adalah semakin tinggi komposisi kimia yang terkandung dalam produk semen. Temperatur pemanasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah temperatur pemanasan campuran bahan baku didalam sebuah oven *furnace* yang dianggap mewakili sebuah kilner dalam sebuah pabrik semen. Dalam operasi pabrik semen suhu dalam kilner sangat berpengaruh dalam proses pembuatan semen portland, dimana suhu maksimum yang dijalankan adalah 1000-1600°C (Witt, 1947).

Pada produk semen portland dengan perbandingan berat bahan yaitu batu kapur : clay : abu vulkanik : pasir besi : gipsum; 85 : 8 : 2 : 1 : 4, dengan 3 (tiga) variabel suhu pemanasan yaitu 900°C, 1000°C, dan 1050°C didapat hasil analisa kimia yang beragam. Hasil kesesuaian dengan standar semen portland yang ada di pasaran, ada beberapa hasil analisa yang masuk standar dan ada pula yang tidak masuk standar, adapun dari ketiga variasi suhu percobaan yang dilakukan pada 900°C, 1000°C, dan 1050°C pada 1000°C didapat hasil yang paling mendekati dengan standar semen portland yang dipasaran. Untuk nilai SiO₂ masih belum masuk pada nilai yang

diharapkan yaitu mendekati 22,29%, sementara itu hasil uji kimia dari formula percobaan I dengan suhu pemanasan 1000°C adalah 17,42%. Sedangkan untuk hasil analisa unsur-unsur yang lain seperti Al₂O₃, Fe₂O₃, dan MgO, kesemuanya masuk dalam standar yang dipersyaratkan dengan standar semen portland yang umum yang ada di pasaran.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Suhu Pembakaran terhadap Perubahan Komposisi Kimia Produk Semen (Perbandingan Berat Bahan Baku Kapur : Clay : Abu Vulk : Pasir Besi : Gipsum = 85 : 8 : 2 : 1 : 4)

Perbandingan berat bahan baku yang berikutnya diambil dengan berdasar pada hasil analisa kimia semen portland yang ada di pasaran, diformulasikan dengan perhitungan tertentu sehingga dihasilkan perbandingan berat bahan adalah kapur : clay : abu vulk : pasir besi : gipsum = 34,94 : 16,80 : 28,99 : 19,26. Analisis kimia untuk produk dengan prosentase komposisi bahan seperti tersebut diatas ditunjukkan dalam Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 8. Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Komposisi Kimia Produk Semen (satuan dalam %b/b) dari Batu Kapur Gunung Kidul

Unsur	1000°C	1050°C	Semen Pasar	SNI
SiO ₂	40,26	42,26	22,29	>20
Al ₂ O ₃	8,73	13,5	7,63	<6
Fe ₂ O ₃	12,05	11,38	3,76	<6
CaO	20,74	21,23	41,98	-
MgO	3	2,84	2,19	<6
Na ₂ O	1,97	1,7	0,97	-
K ₂ O	1,41	1,11	0,77	-
MnO	0,18	0,18	0,06	-
TiO ₂	0,0006	0,00056	0,33	-
P ₂ O ₅	0,00005	0,00017	0,12	-
SO ₃	0,227	0,0026	tt	-
H ₂ O	tt	tt	Tt	-
HD	11,2	5,1	20,45	-

Perbandingan berat bahan baku yang berbeda ternyata sedikit banyak berpengaruh pada komposisi kimia produk semen yang dihasilkan, produk semen ini dibuat dengan perbandingan berat bahan, batu kapur : clay : abu vulkanik : pasir besi; 34,94 : 16,80 : 28,99 : 19,26, dilakukan dengan 2 (dua) variasi suhu yaitu 1000°C dan 1050°C, suhu 900°C tidak dilakukan dengan pertimbangan bahwa suhu pemanasan dalam *clinker* adalah >1000°C, pengaruh suhu pemanasan 1000°C terlihat pada unsur-unsur SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, K₂O, MnO, dimana kenaikan suhu memberikan pengaruh perubahan komposisi kimia produk yang naik pula.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Suhu Pembakaran terhadap Perubahan Komposisi Kimia Produk Semen (Perbandingan Berat Bahan, Batu Kapur : Clay : Abu Vulkanik : Pasir Besi ; 34,94 : 16,80 : 28,99 : 19,26)

Produk semen portland dengan perbandingan berat bahan, batu kapur: clay: abu vulkanik: pasir besi; 34,94: 16,80: 28,99: 19,26, dilakukan dengan 2 (dua) variasi suhu yaitu 1000°C dan 1050°C. Dari kedua variasi suhu ini keduanya menunjukkan hasil analisa kimia yang memenuhi persyaratan standar dan adapula yang tidak memenuhi persyaratan. Untuk yang tidak memenuhi persyaratan standar adalah unsur Al₂O₃ dan Fe₂O₃, sedangkan untuk hasil analisa unsur yang lain seperti SiO₂, CaO, dan MgO memenuhi sebagaimana dipersyaratkan semen portland umum yang ada di pasaran. Dengan nilai masing-masing SiO₂, CaO, dan MgO untuk kedua variasi suhu adalah 40,26; 42,26; 20,74; 21,23; 3; 2,84 (dalam satuan %b/b).

3. Pengaruh Persentase Penggunaan Abu Vulkanik terhadap Komposisi Kimia Produk Semen dari Batu Kapur Juwangi

Hasil uji analisis kimia produk semen yang dihasilkan dalam percobaan ini tersaji dalam Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil Analisis Kimia Produk Semen (dalam satuan %b/b)

Hasil Uji	Prd. I *)	Prd. II **)	Prd. III ***)	Smn Psr	SNI
SiO ₂	29,96	19,92	38,5	22,29	>20
Al ₂ O ₃	10,08	3,84	13,8	7,63	<6
Fe ₂ O ₃	2,98	2,7	11,65	3,76	<6
CaO	41,47	18,27	24,71	41,98	-
MgO	1,27	1	2,75	2,19	<6
Na ₂ O	2,42	0,56	1,42	0,97	-
K ₂ O	1,46	0,16	1,01	0,77	-
MnO	0,08	0,05	0,18	0,06	-
TiO ₂	0,21	Tt	Tt	0,33	-
P ₂ O ₅	0,48	0,05	Tt	0,12	-
SO ₂	tt	2,14	Tt	tt	-
H ₂ O	0,24	Tt	Tt	tt	-
HD	8,89	21,9	5	20,45	-

%Al ₂ O ₃ /%Fe ₂ O ₃	-	1,42	1,18	-	≥ 0,64
C ₃ A	-	5,61	16,86	-	< 15
SO ₃ , C ₃ A ≤	-	2,14	-	-	< 3,5
C ₃ S	-	9,39	-301,37	-	< 35
C ₂ S	-	50,02	337,74	-	> 40
Kuat Tekan 3 hari	2,85	-	-	347,54	125
Kuat Tekan 7 hari	4,79	-	-	320,95	200

Keterangan:

HD : Hilang dibakar

*) : Perbandingan berat bahan : batu kapur : abu vulkanik : gipsum = 60 : 36 : 4

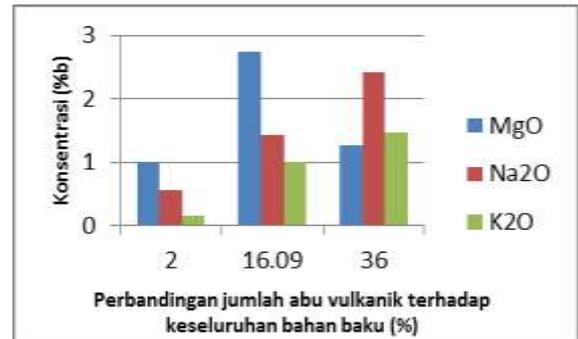
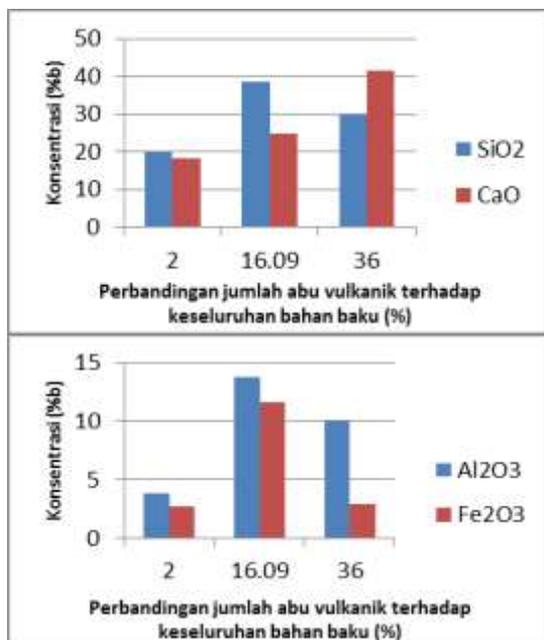
**) : Perbandingan berat bahan : batu kapur : abu vulkanik : gipsum : clay : pasir besi : 85 : 2 : 4 : 8 : 1

***) : Perbandingan berat bahan : batu kapur : abu vulkanik : clay : pasir besi : 41,44 : 16,09 : 26,19 : 15,47

Perbandingan berat bahan dalam 100 g sampel

Clay didapatkan dari Kasongan

Gipsum diperoleh dengan membeli dari Toko Subur Jaya, Jl. Kusumanegara 08 Yogyakarta.



Gambar 6. Grafik Persentase Penggunaan Abu Vulkanik terhadap Perubahan Komposisi Kimia Produk Semen.

Produk semen ini dibuat dengan suhu pemanasan tetap yaitu 1000°C dan variabel berubah adalah perbandingan berat bahan, terutama yang hendak dilihat disini adalah jumlah persentase abu vulkanik yang digunakan terhadap keseluruhan bahan baku. Dengan 3 (tiga) macam perbandingan yang diujicobakan yaitu :

1. Perbandingan 1
Batu kapur : abu vulkanik : gipsum = 60 : 36 : 4
2. Perbandingan 2
Batu kapur : abu vulkanik : gypsum : clay : pasir besi = 85 : 2 : 4 : 8 : 1
3. Perbandingan 3
4. Batu kapur : abu vulkanik : clay : pasir besi = 41,44 : 16,09 : 26,19 : 15,47

Penggunaan abu vulkanik yang semakin besar jumlahnya memberikan hasil komposisi kimia yang semakin besar yaitu pada unsur SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, MnO, P₂O₅. Abu vulkanik merupakan material padat yang berasal dari letusan gunung berapi, komposisi kimianya yang cukup beragam sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 9 diatas menunjukkan pengaruhnya dalam semakin memperkaya kandungan campuran bahan baku pembuat semen portland, ketika diaplikasikan dalam proses pembuatan semen portland abu vulkanik ini mampu meningkatkan kandungan unsur kimiawi produk semen portland.

Dari ketiga macam perbandingan ini didapatkan perbandingan 2 adalah perbandingan yang memberikan hasil analisa kimia yang paling mendekati standar persyaratan kimia, dengan hasil SiO₂, MgO, C₃S, C₂S, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan C₃A adalah masing-masing sebagai berikut : 19,92;1; 9,39; 50,02; 3,84; 2,7; 5,61 (semuanya dalam satuan %b/b).

4. Pengaruh Persentase Penggunaan Abu Vulkanik terhadap Komposisi Kimia Produk Semen dari Batu Kapur Gunung Kidul

Hasil uji analisis kimia produk semen yang dihasilkan dalam percobaan ini tersaji dalam Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Analisis Kimia Produk Semen (satuan dalam %b/b)

Hasil Uji	Prd. I *)	Prd. II **)	Prd. III ***)	Smn Psr	SNI
SiO ₂	30,57	17,42	40,26	22,29	>20
Al ₂ O ₃	10,27	3,31	8,73	7,63	<6
Fe ₂ O ₃	3,08	1,84	12,05	3,76	<6
CaO	40,77	48,73	20,74	41,98	-
MgO	1,41	0,52	3	2,19	<6
Na ₂ O	2,28	0,54	1,97	0,97	-
K ₂ O	1,44	0,14	1,41	0,77	-
MnO	0,09	0,04	0,18	0,06	-
TiO ₂	0,41	0,09	0,0006	0,33	-
P ₂ O ₅	0,18	0,02	0,00005	0,12	-
SO ₂ ⁻	Tt	1,23	0,227	tt	-
H ₂ O ⁻	Tt	Tt	tt	tt	-
HD	9,73	24,8	11,2	20,45	-
Kuat Tekan 3 hari	-	-	-	347,54	125
Kuat Tekan 7 hari	-	-	-	320,95	200

Keterangan :

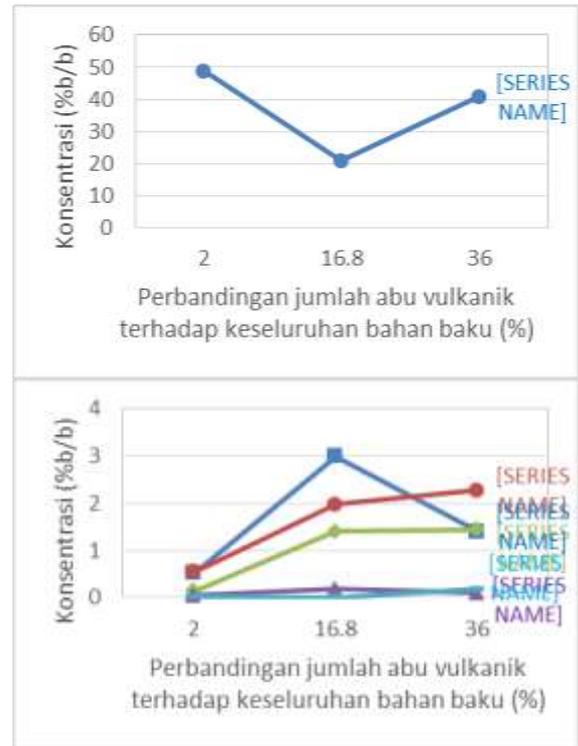
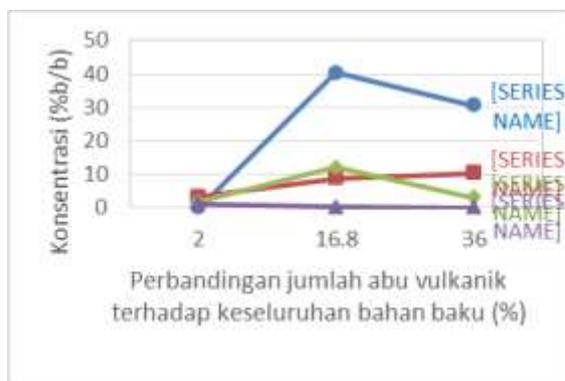
HD : Hilang dibakar

*) : Perbandingan berat bahan : batu kapur : abu vulkanik : gipsium = 60 : 36 : 4

***) : perbandingan berat bahan : batu kapur : abu vulkanik : gipsium : clay : pasir besi = 85 : 2 : 4 : 8 : 1

***): perbandingan berat bahan : batu kapur : abu vulkanik : clay : pasir besi : 34,94 : 16,80 : 28,99 : 19,26

Perbandingan berat bahan per 100 gr sampel



Gambar 7. Grafik Persentase Penggunaan Abu Vulkanik terhadap Perubahan Komposisi Kimia Produk Semen.

Produk semen Portland ini diperlakukan dengan suhu pemanasan tetap yaitu 1000°C dan variabel berubah adalah perbandingan berat bahan baku, terutama yang hendak dilihat disini adalah jumlah persentase abu vulkanik yang digunakan terhadap keseluruhan bahan baku. Dengan 3 (tiga) macam perbandingan yang diujicobakan yaitu :

- Perbandingan 1
Batu kapur : abu vulkanik : gipsium = 60 : 36 : 4
- Perbandingan 2
Batu kapur : abu vulkanik : gipsium : clay : pasir besi = 85 : 2 : 4 : 8 : 1
- Perbandingan 3
Batu kapur : abu vulkanik : clay : pasir besi = 34,94 : 16,80 : 28,99 : 19,26

Penggunaan abu vulkanik yang semakin besar jumlahnya memberikan hasil komposisi kimia yang semakin besar yaitu pada unsur CaO, SO₃, MnO, dan P₂O₅. Abu vulkanik merupakan material padat yang berasal dari letusan gunung berapi, komposisi kimianya yang cukup beragam sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 7 diatas menunjukkan pengaruhnya dalam semakin memperkaya kandungan campuran bahan baku pembuat semen portland, ketika diaplikasikan dalam proses pembuatan semen portland abu vulkanik ini mampu meningkatkan

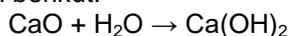
kandungan unsur kimiawi produk semen portland.

Dari ketiga macam perbandingan ini didapatkan perbandingan 2 adalah perbandingan yang memberikan hasil analisa kimia yang paling mendekati standar persyaratan kimia, dengan hasil SiO₂, MgO, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah masing-masing sebagai berikut : 17,42; 0,52; 3,31; dan 1,84 (dalam satuan %b/b).

5. Hasil Uji Kuat Tekan Fisika dari Batu Kapur Juwangi

Dari ketiga tahap percobaan yang telah dilakukan, uji kuat tekan fisika hanya dapat dilakukan pada semen produk yang dibuat dengan perbandingan berat bahan 85 : 8 : 2 : 1 : 4, untuk kapur : clay : abu vulk : pasir besi : gipsum) dengan suhu pembakaran 1000°C. Hasil-hasil percobaan yang terdahulu semuanya tidak dapat dilakukan uji coba kuat tekan sebab sangat rapuh dan mudah hancur. Hasil uji kuat tekan pada produk semen inipun tidak memenuhi persyaratan standar sebagaimana ditetapkan SNI. Dimana seharusnya nilai uji kuat tekan fisika untuk umur 3 hari adalah 125 kg/cm², 7 hari adalah 200 kg/cm², sementara hasil percobaan untuk umur 3 hari adalah 2,85; dan untuk umur 7 hari adalah 4,79; jauh dari nilai yang dipersyaratkan

Besarnya penyimpangan nilai uji kuat tekan ini disebabkan oleh tidak maksimalnya proses pembuatan Portland semen yang dilakukan. Seperti halnya pemanasan yang dilakukan dalam penelitian ini, dimana pemanasan dilakukan secara statis tanpa ada pengadukan bahan. Sedangkan dalam literatur pengadukan bahan juga dilakukan selama proses pemanasan. Sehingga pemanasan bahan tidak merata dan bahan tidak tercampur secara sempurna. Selain itu suhu pemanasan kurang maksimal dikarenakan suhu maksimum furnace hanya mampu digunakan pada suhu 1050°C. Sedangkan suhu yang disarankan adalah diatas 1000°C. Dengan perbedaan 50°C ternyata belum cukup memberikan hasil produk semen sesuai dengan persyaratan. Dalam pembuatan benda uji yang digunakan dalam uji kuat tekan terlihat adanya panas ketika produk hasil penelitian ditambahkan ke dalam air. Hal ini seperti mirip dengan reaksi yang terjadi ketika kapur ditambahkan air sebagai berikut:



Sedangkan dengan menggunakan semen portland tidak terlihat adanya panas. Adanya panas yang ditimbulkan menyebabkan penguapan, sehingga perbandingan berat

semen, air dan pasir berubah dan tidak sesuai dengan perbandingan berat bahan uji yang disyaratkan. Berikut ini adalah hasil uji kuat tekan dari sampel hasil percobaan dengan perbandingan berat bahan kapur : abu vulkanik : gipsum = 60 : 36 : 4

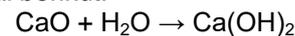
Tabel 11. Hasil Uji Kuat Tekan Produk Semen Dibandingkan dengan Semen Yang Ada Di Pasaran serta Syarat dari SNI (dalam satuan kg/cm²)

Umur	Prd smn	Smn Psr	Syarat Smn SNI
Kuat tekan 3 hari	2,65	347,54	125
Kuat tekan 7 hari	4,97	320,95	200

6. Hasil Uji Kuat Tekan Fisika dari Batu Kapur Gunung Kidul

Dari ketiga tahap percobaan yang telah dilakukan, uji kuat tekan fisika tidak dapat dilakukan pada semua perbandingan berat bahan sebab sangat rapuh dan mudah hancur.

Rapuh dan hancurnya benda uji ini disebabkan oleh tidak maksimalnya proses pembuatan semen portland yang dilakukan. Seperti halnya pemanasan yang dilakukan dalam penelitian ini, dimana pemanasan dilakukan secara statis tanpa ada pengadukan bahan. Sedangkan dalam literatur pengadukan bahan juga dilakukan selama proses pemanasan. Sehingga pemanasan bahan tidak merata dan bahan tidak tercampur secara sempurna. Selain itu suhu pemanasan kurang maksimal dikarenakan suhu maksimum furnace hanya mampu digunakan pada suhu 1050°C. Sedangkan suhu yang disarankan adalah diatas 1000°C. Dengan perbedaan 50°C ternyata belum cukup memberikan hasil produk semen sesuai dengan persyaratan. Dalam pembuatan benda uji yang digunakan dalam uji kuat tekan terlihat adanya panas ketika produk hasil penelitian ditambahkan ke dalam air. Hal ini seperti mirip dengan reaksi yang terjadi ketika kapur ditambahkan air sebagai berikut:



Sedangkan dengan menggunakan semen portland tidak terlihat adanya panas. Adanya panas yang ditimbulkan menyebabkan penguapan, sehingga komposisi semen, air dan pasir berubah dan tidak sesuai dengan komposisi bahan uji yang disyaratkan.

KESIMPULAN

Penelitian ini tidak menghasilkan semen portland yang memenuhi persyaratan spesifikasi semen standar maupun semen yang beredar di pasaran, disebabkan salah satunya adalah suhu pemanasan yang kurang maksimal. Temperatur pemanasan dalam proses pembuatan semen portland berpengaruh terhadap semen portland yang dihasilkan, terutama dari komposisi kimia semen, semakin tinggi temperatur pemanasan maka komposisi kimia semen yang dihasilkan semakin mendekati spesifikasi yang dipersyaratkan. Penggunaan abu vulkanik memberi pengaruh pada perubahan komposisi kimia semen portland dihasilkan, dimana penggunaan abu vulkanik dengan prosentase semakin besar maka komposisi kimia produk semen semakin mendekati spesifikasi semen standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Austin, T. G., 1984, *Shreve's Chemical Process Industries*, McGraw Hill Profesional, New York.
- Bogue, R. H., 1955, *The Chemistry of Portland Cement*, Reimhold Publishing, New York.
- <http://pengertiandancontoh.blogspot.com>, diakses pada tanggal 06 Maret 2014
- Nandaka, I. G. M. A. dan Humaida, H., 2010, *Pengantar Vulkanisme Gunungapi*, Badan Geologi, PVMBG-BPPTK, Yogyakarta.
- Oetoyo, 1975, *Diktat Proses Industri Kimia*, Akademi Perindustrian Yogyakarta, Yogyakarta.
- SNI, 2004, Standar Nasional Indonesia, *Semen Portland*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Witt, J.C., 1947, *Portland Cement Technology*, Chem.Pub.Co, Brooklyn.