

BATU BASALT SCORIA

Aplikasinya Sebagai Bahan Pengisi
Produksi Semen PCC



Dr. Rajiman, S.T.,M.T.,M.M.

Undang-Undang Republik Indonesia
Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

LINGKUP HAK CIPTA

Pasal 2

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak Ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

KETENTUAN PIDANA

Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

BATU BASALT SCORIA

Aplikasinya sebagai Pengisi Semen PCC

PENULIS

Dr. Rajiman, S.T.,M.T.,M.M.

KETUA TIM REDAKSI

Prof. Ir. Sofia W. Alisjhabana, M.Sc., Ph.D.

ANGGOTA

Dr. Ir. Hery Riyanto, M.T.

Ir. Dadang M. Ma'soem, M.S.C.E., Ph.D.

Dr. Ir. Najid, M.T.

Ronny Hasudungan Purba, S.T., M.S.C.E., Ph.D.

PENYUNTING AHLI

Prof. Ir. Roesdiman Soegiarso, M.Sc., Ph.D.

REVIEWER

Dr. Muhammad Al Muttaqin, S.T., M.T.

Muhmmad Amin, S.T.

TIM EDITING

Moh. Andi Susanto

TATA USAHA

Mia Andrayani

DAFTAR RIWAYAT (CURRICULUM VITAE)

DATA DIRI



Nama : Rajiman
Tempat/Tanggal Lahir : Pondok, 13 – 03 – 1973
Alamat : Perumahan Karunia Indah Blok B1 No.10 Lk.3 Kel. Sukabumi, Indah Kec. Sukabumi, Kota Bandar Lampung
e-mail : rajiman.mt@gmail.com
Ayah : Kartopawiro
Ibu : Parmi
Status : Dosen Tetap Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai (2014 – Sekarang)
NIDN : 0213037302

PENDIDIKAN FORMAL

S1 - Sarjana Teknik : Sarjana Teknik Sipil – Universitas Saburai (1994 – 1999)
S2 - Magister Teknik : Magister Teknik Sipil – Universitas Bandar Lampung (2009 – 2011)
S2 - Magister Manajemen : Magister Manajemen – Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai (2012 – 2014)
S3 - Doktor Ilmu Teknik Sipil : Doktor Ilmu Teknik Sipil – Universitas Tarumanagara Jakarta (2013 – 2017)

PENGALAMAN KERJA :

2000 – 2007 : Manager PT. Tanjak Raja Perkasa Lampung
2007 – 2010 : Project Manager P.T. Tanjak Raja Perkasa Lampung
2010 – 2014 : Direktur CV. Blantika Lampung
2012 – 2015 : Komisaris CV. WBS Tk I
2013 – Sekarang : Komisaris CV. Technic Tri R Perdana Construction
2014 – Sekarang : Dosen Tetap Prodi Teknik Sipil, Universitas Sang Bumi
Ruwa Jurai

SERTIFIKAT KEAHLIAN :

1. Ahli Muda Teknik Struktur
2. Ahli Madya Teknik Jalan Rel
3. Ahli Muda Bangunan Gedung

PENGALAMAN PENELITIAN:

No	Judul Penelitian	Tahun
1	Analisis Stabilitas Badan Jalan Diatas Tanah Lunak Pada Ruas Jalan Simpang Pemetang – Wiralaga.	1999
2	Analisa Pemakaian Agregat Halus Abu Batu Basalt Skoria Terhadap Kuat Tekan Mortar Mutu Tinggi Menggunakan Semen Batu Raja	2011
3	Kinerja Mortar Abu Batu Basalt Scoria Dengan Menggunakan Semen Serba Guna Baturaja dan Superplasticiser Strukturo 335	2011
4	Pengaruh Kepemimpinan Dan Lingkungan Kerja Terhadap Motivasi Kerja Pegawai Puskesmas Sukabumi Kota Bandar Lampung	2014
5	Pengaruh Penambahan Limbah Karbit dan Material Agregat Alam (Feldspart) terhadap Sifat Fisik Beton	2015
6	Pengaruh Material Alam Lampung Sebagai Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Beton	2015
7	Penggunaan Batu Basalt Scoria Lampung Sebagai Bahan Pengisi Pada Portland Composite Cement (PCC)	2017
8	Metode Untuk Meningkatkan Kualitas Portland Composite Cement (PCC) Menggunakan Batu Basalt Scoria Lampung Sebagai Bahan Baku Ketiga	2018

Bandar Lampung,
Januari 2018

Dr. Rajiman,
S.T.,M.T.,M.M.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualaikum wa Rahmatullah wa Barakatuh

Puji bersyukur kepada Allah SWT atas selesainya pembuatan buku “Batu *Basalt Scoria*: Aplikasinya Sebagai Bahan Pengisi Produksi Semen PCC”, buku ini kiranya dapat di bermanfaat bagi praktisi bidang keilmuan khususnya Teknik sipil dan masyarakat luas pada umumnya. Shalawat dan salam semoga terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Buku ini merupakan penjabaran hasil research tentang pemanfaatan batu basalt scoria khususnya sebagai bahan pengisi dalam produksi semen jenis PCC. Secara spesifik buku ini berisi tentang bahan baku pembuatan semen PCC yang terdiri dari jenis, fungsi, sumber/asal, serta ketersediannya.

Tentunya, buku ini telah dikaji secara mendalam, walaupun tidak lepas dari kekurangan. Kedepan, perlu adanya research lebih lanjut terutama penggunaan batu *basalt scoria* sebagai bahan baku utama produksi semen PCC untuk memecahkan

masalah menipisnya bahan baku clinker dalam produksi semen, sehingga produksi semen akan mampu mengiringi perkembangan infrastruktur pada pembangunan di Indonesia.

Ucapan terima kasih kepada Tim Penyusun dan pihak-pihak yang membantu terselesainya buku ini. Semoga amalnya di terima Allah sebagai amal jariyah dan buku ini dapat bermanfaat.

Wassalamualaikum wa Rahmatullah wa Barakatuh

Bandar Lampung, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

Cover.....	
Redaksi.....	
Kata Pengantar	
Daftar Isi	
Daftar Tabel	
Daftar Gambar	
KEBUTUHAN SEMEN NASIONAL	1
MENGENAL SEMEN PCC DAN BAHAN	
BAKUNYA	7
1. Portland Composite Cement (PCC).....	7
2. Clinker.....	9
3. Batu Kapur	10
4. Pozzolan.....	11
5. Gypsum.....	16
6. Batu Basalt Scoria.....	17
7. Fly Ash.....	25

METODE PRODUKSI SEMEN PCC	30
1. Bahan Baku Produksi Semen.....	30
2. Alat-Alat Produksi	31
KUALITAS SEMEN	35
1. Kehalusan.....	38
2. Residu Semen.....	40
3. Kuat Tekan	42
4. Kuat Ikat Awal dan Kuat Ikat Akhir	52
5. Pengujian Pemuaian <i>Autoclave</i>	56
6. Karakteristik Alat <i>SEM (Scanning Electron Microscopy)</i>	60
7. Karakteristik Alat <i>XRD (X-Ray Diffractometer)</i>	66
8. Model Persamaan	69
9. <i>Modulus</i> Elastisitas (<i>Ec</i>).....	70
ANALISIS BIAYA PRODUKSI PENAMBANGAN	74
DAFTAR PUSTAKA	80

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Lokasi sebaran batu basalt scoria di Provinsi Lampung	3
Tabel 2. Persyaratan kimia pozzolan	12
Tabel 3. Persyaratan Fisik.....	12
Tabel 4. Komposisi kimia abu terbang batubara	26
Tabel 5. Perancangan komposisi bahan baku semen komposit	34
Tabel 6. Hubungan umur dan kuat tekan beton	48
Tabel 7. Biaya operasional alat.....	77
Tabel 8. Selih Harga	78
Tabel 9. Matrik perbandingan harga bahan baku.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta lokasi batu basalt di Provinsi Lampung	3
Gambar 2. Batu Basalt	4
Gambar 3. Hasil Karakteristik Scanning Electron Microscopy (SEM) Mineral Basalt Sebelum Pemanasan.....	19
Gambar 4. Hasil karakteristik Scanning Electron Microscopy (SEM) mineral basalt setelah pemanasan.....	19
Gambar 5. Grafik hasil uji kimia	37
Gambar 6. Alat uji kehalusan.....	38
Gambar 7. Grafik hubungan persen penambahan basalt terhadap kehalusan.....	39
Gambar 8. Ayakan ukuran 90 μm dan 45 μm	41
Gambar 9. Grafik hasil uji residu 45 dan residu 90	41
Gambar 10. Benda uji bentuk kubus ukuran 5x5x5 cm	43
Gambar 11. Alat uji kuat tekan compresive strength machine	43
Gambar 12. Grafik hubungan penambahan persen basalt terhadap kuat tekan	44
Gambar 13. Hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton	47
Gambar 14. Mesin pengaduk adonan semen untuk uji kuat pikat.....	52
Gambar 15. Alat vicat sesuai standar ASTM C-91-82 .	53

Gambar 16. Grafik hubungan persen penambahan basalt terhadap kuat ikat	54
Gambar 17. Grafik hubungan penambahan basalt terhadap pemuaiian	57
Gambar 18. Alat uji Scanning Electron Microscopy (SEM)-Energy Dispersive Spectroscopy (EDS).....	61
Gambar 19. Alat uji X-Ray Diffraction (XRD)	67
Gambar 20. Ilustrasi difraksi sinar XRD	67
Gambar 21. Alat uji elastisitas beton	71

KEBUTUHAN SEMEN NASIONAL

Pembangunan infrastruktur bertujuan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan dalam mencapai kesejahteraan manusia. Pembangunan infrastruktur tidak lepas dari bahan baku semen sebagai bahan perekat dalam pembuatan beton. Oleh karena itu, untuk mencapai target pembangunan diperlukan semen dalam jumlah besar. Dengan demikian, kebutuhan semen dalam negeri semakin meningkat seiring dengan peningkatan pembangunan sektor properti dan sektor konstruksi. Program percepatan pembangunan infrastruktur terpadu yang dicanangkan pemerintah memacu pertumbuhan industri semen di dalam negeri. Saat ini kebutuhan semen dalam negeri mencapai 60 juta ton pertahun. Sedangkan menurut Asosiasi Semen Indonesia (ASI) diproyeksikan produksi semen Nasional pada tahun 2016 mencapai 80 juta ton pertahun dari 9 pabrik semen di Indonesia. Berdasarkan estimasi total kapasitas produksi semen nasional tahun 2017 mencapai 102 juta ton pertahun. Pertumbuhan industri semen di Indonesia mencapai 8% pertahun, dengan demikian jumlah produksi semen masih berlebih dan aman sampai tahun 2021 (Kemenperin, 2016).

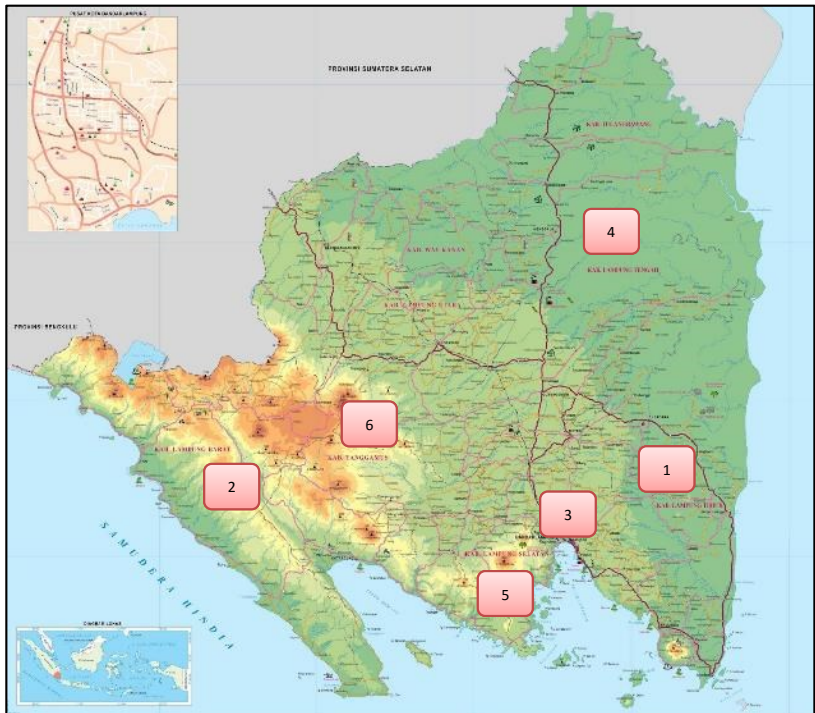
Jenis semen PCC (*Portland Composite Cement*) dihasilkan dari penggilingan *clinker* dan *gypsum* dengan penambahan bahan

pengisi. Bahan pengisi yang dapat dipakai seperti *pozzolan*, *trass*, batu kapur dan *slag blass furnace* akan tetapi populasi bahan ketiga tersebut semakin berkurang sehingga diperlukan alternatif lain sebagai pengganti bahan ketiga tersebut.

Indonesia memiliki kekayaan material alam begitu melimpah yang berpotensi sebagai bahan pembuatan semen, saat ini penggunaan material tersebut belum maksimal. Salah satu bahan material tersebut adalah batu *Basalt Scoria* yang hingga saat ini belum tereksplorasi. Salah satu upaya eksplorasi batu *basalt scoria* adalah memanfaatkannya sebagai bahan pengisi dalam produksi semen.

Potensi cadangan material *basalt* yang ada di Indonesia cukup banyak ketersediaanya, menurut Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementrian ESDM tahun 2015 jumlah cadangan *basalt* di Indonesia berjumlah 6.282.661.980 ton sedangkan menurut Dinas Pertambangan dan Energi Lampung tahun 2013 bahwa jumlah cadangan mineral *basalt* di Provinsi Lampung yang tersebar diseluruh kabupaten berjumlah 336.510.000 m³ dan selama ini di Propinsi Lampung batu *basalt* hanya digunakan sebagai batu belah untuk pembuatan pondasi. Nilai tambah dari material *basalt* kurang ekonomis sehingga perlu pengoptimalan batu *basalt scoria* menjadi bahan baku yang memiliki daya jual tinggi dengan menjadikan sebagai bahan pengisi pada semen jenis PCC.

Ketersediaan batu *basalt* yang tersebar di Provinsi Lampung dapat dilihat pada peta di bawah ini:



Gambar 1. Peta lokasi batu *basalt* di Provinsi Lampung

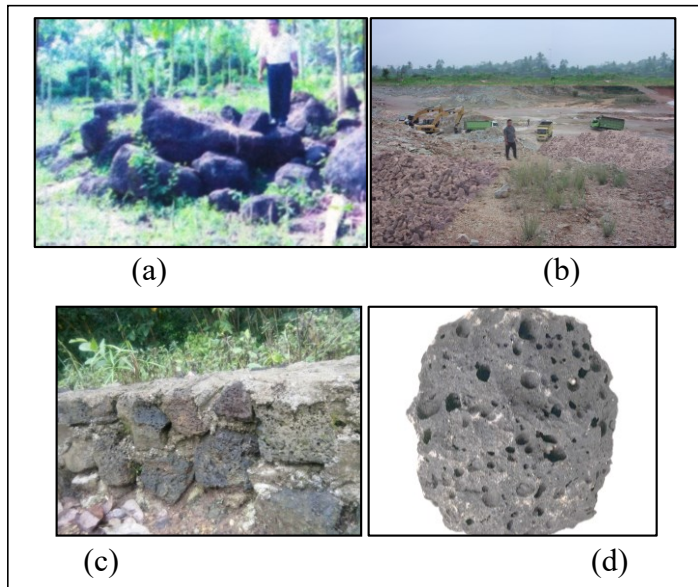
Tabel 1. Lokasi sebaran batu *basalt scoria* di Provinsi Lampung

No.	Lokasi	Jumlah
1	Kab. Lampung Timur <ul style="list-style-type: none"> • Kec. Sukadana • Kec. Mataram • Kec. Jabung • Kec. Bumi Agung • Kec. Marga Tiga • Kec. Labuhan Meringgai 	36.000.000 m ³
2	Kab. Lampung Barat <ul style="list-style-type: none"> • Kec. Karya Penggawi 	Belum diketahui jumlahnya secara pasti

No.	Lokasi	Jumlah
3	Bandar Lampung • Kec. Tel. Betung Barat	30.000 m ²
4	Kab. Lampung Tengah • Kec. Padang Ratu (Des. Tanjung Dempo)	196.240.000 m ³
5	Kab. Lampung Selatan Kec. KetibungDesa Werang	38.740.000 m ³
6	Kab. Tanggamus • Kec. Kota Agung (Desa Karang Berah, Desa Way Canuk)	65.500.000 m ³

Sumber: (Widojoko & Rajiman, 2011)

Pemanfaatan batu *basalt scoria* sebagai pondasi bangunan rumah penduduk seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2. Batu *Basalt*

- (a) *Query* batu *basalt* (b) Eksplorasi *basalt*
(c) Batu *basalt* sebagai pondasi (d) Struktur permukaan batu
basalt

Salah satu alternatif bahan pengisi pada semen jenis PCC adalah batu *basalt scoria*. *Basalt scoria* merupakan jenis mineral yang komposisi kimia didominasi unsur silika, besi, kapur dan alumina. Untuk menjadi bahan pengisi pada semen jenis PCC harus memenuhi persyaratan ASTM C 618-89 yaitu material tersebut harus mempunyai sifat *pozzolan* dengan senyawa kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ antara 70-80% dari berat total sampel dan reaksi *pozzolan* terhadap komponen kapur yang akan menghasilkan hidrasi pada semen *Portland* (Saraya M. E.-S., 2011). Kriteria *pozzolan* aktif adalah komponen komposisi kimia dari *pozzolan* $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ akan berpengaruh terhadap kuat tekan dari *mortar* semen jenis *PCC* dengan standar ASTM C618 yaitu min 70% (Laibao, Yunsheng, Wenhua, Zhiyong, & Lihua, 2013).

Harga bahan pengisi jenis batu kapur memiliki harga yang lebih tinggi dengan jarak tempuh yang lebih jauh dari lokasi produksi PT. Semen Baturaja. Tingkat kekerasan batu kapur 3,5-4 skala mosh. (Munasir, Triwikantoro, Zainuri, & Darminto, 2012) lebih tinggi di bandingkan dengan batu *basalt scoria* 3-4 skala mosh. (Geologinesia, 2016) yang dapat menyebabkan proses penggilingan batu kapur lebih lama dengan hasil produksi lebih sedikit. Kandungan kadar air kapur dan *pozzolan* sebagai bahan pengisi relatif lebih tinggi dibandingkan dengan batu *basalt scoria* (0 %) (Widjojoko & Rajiman, 2011) sehingga tingkat penyusutan *mortar* semen menggunakan batu *basalt scoria* akan lebih kecil

yang berdampak pada kualitas beton yang tidak mudah retak, pecah atau mengalami perubahan bentuk. Kapasitas produksi penambangan batu kapur lebih rendah di bandingkan dengan batu *basalt scoria* sehingga dengan penggunaan batu *basalt scoria* sebagai bahan pengisi akan meningkatkan jumlah produksi.

MENGENAL SEMEN PCC DAN BAHAN BAKUNYA

1. *Portland Composite Cement (PCC)*

Semen berasal dari bahasa latin “*caementum*” yang berarti bahan perekat, bahan perekat dibagi atas bahan organik dan anorganik. Semen *Portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen *Portland* yang terdiri dari kalsium silikat dengan campuran senyawa kalsium sulfat. Semen *Portland* terbagi dari berbagai jenis: Semen *Portland*, semen *Portland pozzolan*, semen *Portland* komposit dan semen *Portland* campur (Amin & Ulva, 2015).

Portland Composite Cement (PCC) didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *Portland* dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik. PCC merupakan hasil pencampuran bubuk semen *Portland* dengan bubuk bahan anorganik lain seperti: *slag* tanur tiup, *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur dengan total bahan anorganik 6 – 35% dari massa semen. Keunggulan PCC adalah sebagai berikut:

1. Pengerjaan dapat menjadi lebih mudah.
2. Suhu baton lebih rendah sehingga tidak mudah retak.
3. Beton lebih kedap air lebih tahan terhadap sulfat.
4. Mempunyai kekakuan tinggi dan lebih tahan lama.

(Purba, 2014)

Proses pembuatan semen meliputi beberapa tahap yaitu : penambangan dan penyediaan unit bahan baku, pengeringan dan penggilingan (*drying and grinding*), pembakaran dan pendinginan (*kiln burning and cooling*), penggilingan akhir (*finishing grinding*) dan pengepakan (*packing*). Proses awal pembuatan semen dilakukan dengan pembuatan *clinker* yaitu proses pengubahan secara fisik dan kimia tepung bahan baku menjadi *clinker* sehingga mengalami proses pendinginan kemudian digiling bersama sejumlah additif yang telah ditentukan sehingga mencapai ukuran partikel yang diinginkan.

Percepatan proses hidrasi dan peningkatan perkembangan kuat tekan dalam produksi semen dilakukan dengan teknik menggiling bahan baku lebih halus. Cara ini dipilih jika dari satu macam jenis *clinker* akan digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan semen dengan beberapa klasifikasi kuat tekan sehingga akan dihasilkan dengan kehalusan yang berbeda. Penggilingan campuran *clinker* dan *gypsum* menjadi partikel halus, dimaksudkan untuk mendapatkan sifat-sifat semen yang disyaratkan. Kehalusan material setelah keluar dari semen *mill* umumnya dilakukan dengan mengamati luas permukaan material (*specific surface*). Proses dari hidrasi semen diawali dari permukaan partikel semen, semakin besar luas permukaan *specific surface* dari semen akan meningkatkan kecepatan hidrasi yang pada akhirnya akan mempercepat proses pengikatan dan pengerasan semen. Semen

portland dibuat dari semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *clinker* yang terdiri dari silika-silika kalsium yang bersifat hidrolis ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat (*gypsum*). *Clinker* semen *Portland* dibuat dari batu kapur (CaCO_3), tanah liat, pasir silika dan biji besi. Persenyawaan semen dan air akan saling bereaksi dalam proses hidrasi semen. Proses reaksi ini berjalan sangat cepat, ketika semen dan air ini bereaksi akan timbul panas, panas ini dinamakan panas hidrasi. Jumlah panas yang dibentuk antara lain tergantung dari jenis semen yang dipakai dan kehalusan penggilingannya (Miswar, 2011).

2. *Clinker*

Salah satu komponen penting dalam membuat bangunan permanen adalah semen sebagai perekat non-organik dan biasa digunakan bersama-sama dengan pasir, *agregate* atau bahan-bahan berupa *fiber* untuk membuat beton. Selain itu, semen digunakan untuk membuat produk setengah jadi yang akan digunakan sebagai komponen dalam pekerjaan konstruksi seperti bata berlubang, ornamen cetak dan lain-lain. Semen *Portland* adalah hasil industri dari bahan baku batu kapur (*gamping*) sebagai bahan utama dan lempung (tanah liat) atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk. Bahan baku dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinker*, yang kemudian

dihancurkan dan ditambah dengan *gypsum* dalam jumlah yang sesuai (Syafpoetri, Monita, & Lita, 2013).

Proses pembuatan semen dibedakan menjadi dua kelompok yaitu semen hidrolis dan semen non hidrolis. Semen hidrolis adalah semen yang mengeras dengan air sedangkan semen non hidrolis yaitu semen yang tidak mengeras dengan air. Semen hidrolis terdiri dari semen *portland*, semen PCC, semen PPC dan semen *slag*. Semen *portland* dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* dengan ditambahkan senyawa kalsium sulfat, sedangkan semen PCC dihasilkan dari terak semen dengan penambahan satu atau lebih senyawa anorganik seperti: *slag blast furnace*, *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur dan lain-lain. Peralatan yang digunakan dalam pembuatan *clinker* semen antara lain: *rotary kiln*, *preheater*, *cooler*, dan *burner*.

3. Batu Kapur

Nilai rata-rata *specifit grafit* (Gs) batu kapur adalah 2,14, kerapatan batu kapur untuk kondisi lepas diperoleh hasil rata-rata 28,41 %, kekerasan diperoleh hasil *impact test* rata-rata 25,254%, pengujian angka pori rata-rata 0,98, porositas rata-rata 49,63%, dan nilai rata-rata derajat kejenuhan Sr = 8,11% (Hamimu, Hasria, & Jahidin, 2012).

Dari hasil perhitungan jumlah sisa cadangan batukapur dan dibandingkan dengan target produksi batukapur tahun 2009 yang

ditetapkan oleh PT. Semen Baturaja (persero) adalah sebesar 1.706.250 ton/tahun, maka umur tambang batukapur menggunakan metode *Cross Section* adalah 34 tahun 3 bulan sedangkan menggunakan *Software Surpac 6.0.3* adalah 35 tahun 9 bulan (Herlina, 2011).

4. *Pozzolan*

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuk yang halus dan dengan adanya air maka senyawa- senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium hidrat yang bersifat hidraulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Standar mutu *pozzolan* menurut ASTM C618-92a dibedakan menjadi tiga kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. *Pozzolan* mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur ketiga kelas *pozzolan* tersebut adalah:

Kelas N : *Pozzolan* alam atau hasil pembakaran, *pozzolan* alam yang dapat digolongkan di dalam jenis ini seperti tanah *diatomioic*, *opaline cherts* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik atau *pumicite*, dimana bisa diproses melalui

pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

Kelas C : *Fly ash* yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara.

Kelas F : *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara.

Menurut persyaratan kimia berdasarkan ASTM C618-92a, kandungan *pozzolan* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Persyaratan kimia *pozzolan*

Komposisi	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min, %)	70.0	70.0	70.0
SO ₃ (max, %)	4.0	5.0	5.0
Na ₂ O (max, %)	1.5	1.5	1.5
Kadar kelembaban (max, %)	3.0	3.0	3.0
Hilang pijar (max, %)	10.0	6*	12

* Penggunaan *pozzolan* kelas F dengan hilang pijar sampai 12 % harus dengan persetujuan dan didukung oleh hasil pengujian laboratorium.

Sumber : ASTM C618-92a

Tabel 3. Persyaratan Fisik

Uraian	Kelas		
	N	C	F
Kehalusan : Jumlah yang tertahan di atas ayakan 45 μm (No. 325) (max, %)	34	34	34

Uraian	Kelas		
	N	C	F
Indeks keaktifan <i>pozzolan portland</i> :			
- Dengan menggunakan semen, kuat tekan pada umur 7 hari (min,%)	75	75	75
- Dengan menggunakan semen, kuat tekan pada umur 28 hari (min,%)	75	75	75
Persyaratan air (max, %)	115	105	105
Pengembangan atau penyusutan dengan <i>autoclave</i> (max, %)	0.8	0.8	0.8
Persyaratan keseragaman: Berat jenis dan kehalusan dari contoh benda uji, masing-masing tidak boleh berbeda dari rata-rata yang ditetapkan dengan 10 benda uji atau dari seluruh benda uji yang jumlahnya kurang dari 10 buah, maka untuk :			
- Berat jenis, perbedaan maximum dari rata-rata(%)	5	5	5
- Persentasi partikel yang tertahan pada ayakan 45 μm (No. 325) perbedaan maximum dari rata-rata(%)	5	5	5
Faktor pengali, dihitung sebagai perkalian hilang pijar dan kehalusan yang tertahan pada ayakan 45 μm (No. 325) (max, %)	...	255	...
Pertambahan penyusutan dari <i>mortar</i> pada umur 28 hari, perbedaan max (in, %)	0.03	0.03	0.03
Persyaratan keseragaman : Sebagai tambahan , pada beton air- <i>entraining</i> jumlah air <i>entraining agent</i> yang disyaratkan untuk menghasilkan kadar udara sebesar 18 %, volume <i>mortar</i> tidak boleh berbeda darirata-rata yang ditetapkan atau dari seluruh pengujian jika kurang dari10, maka untuk : reaktifitas dengan alkali semen :			
- Pengurangan pengembangan <i>mortar</i> pada umur 14 hari (min, %)	75
- Pengembangan <i>mortar</i> pada umur 14 hari (max, %)	0.020	0.020	0.020

Sumber : ASTM C618-92a

Jenis-jenis *pozzolan* menurut proses pembentukannya di dalam ASTM 593-82 dibedakan menjadi dua jenis yaitu *pozzolan* alam dan *pozzolan* buatan. *Pozzolan* alam adalah bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silica aktif, yang bila dicampur dengan kapur padam akan mengadakan proses sementasi. Sedangkan untuk *pozzolan* buatan banyak macamnya baik merupakan sisa pembakaran dari tungku, maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif dengan melalui proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice husk ash*), *silica fume* dan lain-lain.

Pozzolan alam mempunyai mutu, bentuk serta warna yang berbeda-beda antara satu deposit dengan deposit yang lainnya. *Pozzolan* di daerah Kalibagor, Situbondo mempunyai mutu jauh lebih baik dari pada yang berasal dari daerah Wlingi, Blitar. Karena mutu *pozzolan* alam yang tidak sama di setiap tempat, maka untuk mengontrol kualitasnya digunakan standarisasi mutu *pozzolan* dari ASTM yang terperinci seperti di atas.

Sifat *pozzolan* alam terhadap beton pada dasarnya mirip dengan *pozzolan* lainnya, yaitu memperlambat waktu *setting* sehingga kekuatan awal beton rendah, bereaksi dengan $\text{CaO}(\text{OH})_2$ membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) sehingga mengurangi kandungan $\text{CA}(\text{OH})_2$ dalam beton, membuat beton tahan terhadap air laut dan sulfat.

Material *pozzolan* sangat reaktif terhadap $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan sangat mudah menyerap air. Ketika ditambahkan *fly ash* dan *superplastizer* maka porositas akan menjadi sangat kecil. Penambahan *fly ash* sebanyak 40-50% maka porositas hanya 3,2% (Fediuk & Yushin, 2015). Material *pozzolan* sangat reaktif terhadap *Portland* semen apabila dicampurkan karena Ca^{2+} bersifat sangat reaktif saat dijadikan beton. Penyebabnya adalah beton menjadi hidrasi akan tetapi kekerasan lebih meningkat (Kulovaná, Eva, Jaroslav, Siddique, & Keppert, 2016).

Penambahan material *pozzolan* akan menyebabkan reaksi *pozollanik* yaitu SiO_2 aktif dari *pozzolan* bereaksi dengan *Portlandite* akan menghasilkan CSH baru yaitu CSH_{II} atau CSH_{III} dan dengan penambahan material bersifat *pozzolan* maka beton akan mencapai kuat tekan yang cukup tinggi bisa mencapai 100 Mpa (Andrade, Pecchio, Bendoraitis, Montanheiro, & Kihara, 2010). Penggunaan *basalt* sebagai pengganti pemakaian tanah liat dengan komposisi 87% berat kapur dan 12 % tanah liat atau kapur untuk mengkonvensasi zat besi pada tanah liat dan sebagai sumber alumina silika pada semen *clinker* dan dipanaskan pada suhu 1500°C (Hasaan, 2001). Abu vulkanik sebagai pengganti atau substitusi semen dengan pasir diganti dengan pasir jenis *laterit* akan memberikan dampak nilai kuat tekan menurun sesuai dengan semakin lama umur uji (Olawuyi & K. O., 2010).

5. Gypsum

Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) mempunyai kelompok yang terdiri dari gypsum batuan dan selenit. Gypsum umumnya berwarna putih, namun terdapat variasi warna lain, seperti warna kuning, abu-abu, merah jingga, dan hitam, hal ini tergantung mineral pengotor yang berasosiasi dengan gypsum. Gypsum umumnya mempunyai sifat lunak, pejal, kekerasan 1,5 – 2 (skala mohs), berat jenis 2,31 – 2,35, kelarutan dalam air 1,8 gr/l pada 0°C yang meningkat menjadi 2,1 gr/l pada 400°C , tapi menurun lagi ketika suhu semakin tinggi.

Gypsum terbentuk dalam kondisi berbagai kemurnian dan ketebalan yang bervariasi. Gypsum merupakan garam yang pertama kali mengendap akibat proses evaporasi air laut diikuti oleh anhidrit dan halit, ketika salinitas makin bertambah. Sebagai mineral evaporit, endapan gypsum berbentuk lapisan di antara batuan-batuan sedimen batu gamping, serpih merah, batu pasir, lempung, dan garam batu, serta sering pula berbentuk endapan lensa-lensa dalam satuan-satuan batuan sedimen. Gypsum dapat diklasifikasikan berdasarkan tempat terjadinya, yaitu: endapan danau garam, berasosiasi dengan belerang, terbentuk sekitar fumarol vulkanik, *efflorescence* pada tanah atau goa-goa kapur, tudung kubah garam, penudung oksida besi (gossan) pada endapan pirit di daerah batu gamping (Tekmira, 2017).

6. Batu *Basalt Scoria*

Basalt mempunyai komposisi mineral antara lain *plagioclase feldspart*, *pyroxene*, *olivine*, *magnetite*. *Type basalt* berdasarkan komposisi kimianya dibedakan dua golongan yaitu *basalt alkali* dan *basalt tholeitik*. Batu *basalt* alkali batu *basalt* jenis *alkali* memiliki kandungan Na_2O dan K_2O yang lebih besar dari batu *basalt tholeitik*. *Basalt alkali* juga mengandung *titanium augit*, *fenokris olivin*, oksida besi, *nephelin* dan *plagioklas-Ca*. Batu *basalt alkali* bersifat *underaturated*. Batuan ini banyak ditemukan di *rifted continental crust* atau daerah kerak benua yang mengalami *rifting*. Selain itu, batu *basalt* juga dapat dijumpai di *updomed continental crust* atau kerak benua berbentuk kubah yang terangkat, dan juga pulau- pulau *oceanic*.

Batu *basalt tholeitik* kadar Na_2O dan K_2O pada batu *basalt tholeitik* jauh lebih sedikit dari pada batu *basalt alkali*. *Basalt tholeitik* bersifat *over saturated* dan memiliki kandungan *pigeonit*, *augit subklasik*, dan *interstitial glass*. Batu *basalt tholeitik* dapat ditemukan sebagai lava atau magma esktrusi yang sangat besar. Begitu besarnya volume magma tersebut sehingga membentuk plato di kerak benua seperti yang terdapat di Deccan Trap, India. Selain itu, batu *basalt tholeitik* juga dapat ditemukan di lantai samudera (Ilmugeografi, 2016).

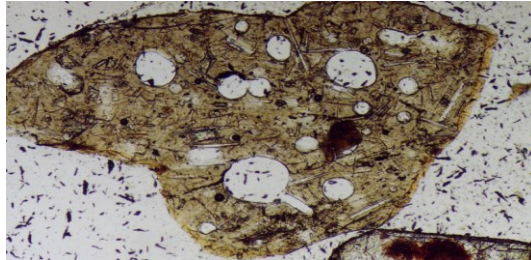
Mineral *basalt* yang mengandung *feldspart* dan *ferro magnesium* terbentuk karena dipengaruhi oleh proses pembekuan

magma dan komposisi kimia dari *basalt* berdasarkan lokasi *basalt* ditemukan (Shrivastav & Tare, 2015). Mineral *basalt* dapat dijadikan serat atau *fiber* melalui pelelehan pada tungku dengan suhu 1400°C. Kandungan kimia pada *basalt* bersifat asam dan *alkali* akan tetapi tidak bersifat *corosive* dan memiliki kemampuan menyerap gas (Militinky & Kovacic, 1996).

Batu *basalt scoria* terbentuk ketika lava mencapai permukaan bumi akibat letusan gunung berapi, ketika sampai ke permukaan bumi lava mendingin dengan cepat dan beberapa minggu kemudian membentuk batuan padat. Batu *basalt* biasa dipergunakan sebagai batu pondasi oleh penduduk. Menurut data informasi Energi Sumber Daya Mineral Kementrian (ESDM) tahun 2015 jumlah cadangan *basalt* di Indonesia berjumlah 6.282.661.980 ton (ESDM, 2015). Provinsi Lampung memiliki potensi batu *basalt* yang tersebar di berbagai Kabupaten dengan sejumlah cadangan sebesar 336.510.000 ton (Widojoko & Rajiman, 2011).

Berdasarkan hasil analisa komposisi kimia material *basalt* yang berasal dari Labuhan Maringgai Lampung timur adalah : SiO_2 : 55,10 % + Al_2O_3 : 17,95 % + Fe_2O_3 : 5,61 % total : 78,66 % dan senyawa kimia lainnya (Widojoko & Rajiman, 2011). Material *basalt* yang berasal dari Labuhan maringgai Lampung timur ini memenuhi persyaratan yang disyaratkan ASTM C618 agar komponen kimia mempunyai sifat *pozzolan* yang $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ minimal 70 % sehingga memungkinkan untuk dijadikan

sebagai bahan pengisi pada semen jenis PCC. Senyawa kimia semen adalah tri kalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), tri kalsium aluminat (C_3A) dan tetra kalsium alumina ferrit (C_4AF).



Gambar 3. Hasil Karakteristik *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Mineral *Basalt* Sebelum Pemanasan



Gambar 4. Hasil karakteristik *Scanning Electron Microscopy* (SEM) mineral *basalt* setelah pemanasan

Sumber : (Suarnita, 2011)

Hasil karakteristik uji SEM pada gambar 3 di atas terlihat bahwa struktur mikro dari mineral *basalt* tampak berbentuk bulat-bulat yang menandakan banyaknya rongga yang terkandung di dalam batuan *basalt* dengan morfologi yang berkembang akan

mengarah melebar dan membesar, sedangkan gambar 4 memperlihatkan bahwa batuan mineral *basalt* ketika mengalami suatu pemanasan maka akan mengalami perubahan struktur mikro menjadi berbentuk jarum-jarum kecil yang menandakan bahwa unsur-unsur dan gas lain berupa oksigen mengalami penguapan sehingga akan memperkaya mineral silika dan alumina, dengan kaya akan silika dan alumina maka mineral *basalt* sangat baik untuk digunakan sebagai bahan baku semen silika yang terkandung dalam mineral *basalt* mengalami pelelehan dan mempersempit pori-pori menjadi lebih kecil yang disebabkan unsur belerang karena silika halus sangat berpengaruh terhadap kuat tekan (Suarnita, 2011).

Mineral *basalt* terjadi dari magma letusan gunung berapi yang bersifat basa dan terdiri dari mineral-mineral *olivine*, *plagiolas Ca*, *piroksen* dan *horn blende* dengan dicirikan adanya lubang-lubang gas yang tidak saling berhubungan atau saling berhubungan dengan tingkat kekerasan 3-4 *mohs* (Geologinesia, 2016).

Sifat kekuatan beton dengan menambahkan serat *basalt* pada beton dapat dilihat dengan cara penambahan serat *basalt* sebanyak 0,5%, 1,0%, dan 1,5%, berbentuk kubus ukuran 150x150x150 mm selanjutnya dilakukan uji kuat tekan pada umur 28 hari dan menghasilkan peningkatan pada kuat tekan beton pada penambahan serat *basalt* sebanyak 1,0% dari 0% atau tanpa penambahan

awalnya 50,72 N/mm² menjadi 54,78 N/mm² akan tetapi mengalami penurunan kembali ketika penambahan serat *basalt* sebanyak 1,5% menjadi 50,01 N/mm². Efek penambahan serat *basalt* juga terlihat pada beton ketika dibuat benda uji dalam bentuk silinder dan dilakukan uji tarik umur 90 hari akan naik sesuai penambahan ketika 0% kuat tarik senilai 3,39 N/mm², penambahan 0,5% senilai 3,96 N/mm² dan penambahan 1,0% naik lagi menjadi 4,95 N/mm² akan tetapi ketika ditambahkan serat *basalt* sebanyak 1,5 akan mengalami penurunan menjadi 3,01 N/mm² (Ansari & Chandak, 2015).

Basalt komposit yang terbuat dengan perekat *resin epoxy* akan menghasilkan bahan yang tidak korosif disamakan dengan kekuatan baja dan sangat cocok diaplikasikan pada konstruksi struktur, dan papan peredam atau biasa disebut serat komposit *basalt bar* (Ólafsson & Þórhallsson, 2009). Serat *basalt* terbuat dari mineral *basalt* yang dilelehkan suhu 1600°C akan menghasilkan serat berbentuk *glass* dan serat karbon (Sim, Park, & Moon, 2005). Serat *basalt* dan carbon *basalt* dibuat beton dengan penambahan alkali berupa NaOH 1M dan disimpan pada umur 7,14, 21, dan 28 hari kekuatan akan bertambah saat umur 7 hari sebesar 50 % dan akan menjadi 80 % ketika umur 28 hari (Mufti, Onofrei, Benmokrane, & Banthia, 2007). Pembuatan beton dengan campuran pasir kuarsa sebagai agregat halus, *super plastizer* sebagai polimer dan *basalt* sebagai *agregat* kasar dengan

penambahan 1% dan tanpa penambahan *basalt* sebagai *agregat* akan menghasilkan kuat tekan tanpa penambahan *basalt* umur 7 hari 32,51 N/mm² , dengan penambahan *basalt* 1% menjadi 35.34 N/mm² dan pada umur 14 hari tanpa penambahan *basalt* 31.46 N/mm² sedangkan penambahan 1 % menjadi 34.69 N/mm² (Ketan R. & Kukarni, 2013).

Penambahan mineral *basalt* dan *fly ash* terhadap pembentukan struktur mikro sehingga mempengaruhi proses hidrasi pada semen sehingga *setting time* awal pada pasta semen akan tidak mudah cepat beku bersamaan dengan *setting time* akhir, hal ini disebabkan *basalt* mempunyai sifat *pozzolan* dengan kehadiran mineral pembentuknya berupa SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ sebanyak 77,8% dan *fly ash* sebanyak 92,1% akan tetapi untuk uji kuat tekan efek penambahan *basalt* dan *fly ash* pada penambahan semen akan mengurangi kekuatan yang awalnya tanpa penambahan pada umur uji 90 hari 56,1MPa ketika ditambahkan *basalt* 5% menurun menjadi 53,4MPa sampai penambahan *basalt* sebanyak 30% turun menjadi 46,1MPa hal ini disebabkan reaksi pembentukan dari formasi C-S-H terlalu lambat (Laibao, Yunsheng, Wenhua, Zhiyong, & Lihua, 2013).

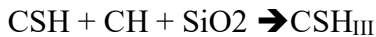
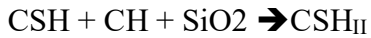
Serat *basalt* ditambahkan pada bata semen api berjenis alumina dengan penambahan sebanyak 0,25 sampai 4,0% dan akan dilakukan pengujian sifat fisik bata kuat tekan, kuat lentur, *bulk density* dan energi patah untuk pemakaian bata pada pemanasan

suhu dari 105, 600 sampai 1000°C tinggi, penambahan *basalt* sebanyak 0,5 % membuat bata tahan api *bulk density* akan meningkat akan tetapi ketika persentase *basalt* ditambah maka berat jenis semakin menurun. Kuat lentur bata tahan api akan mengalami kenaikan yang signifikan ketika ditambahkan serat *basalt* semakin tinggi persentase penambahan serat *basalt* maka semakin tinggi kuat lentur pada bata api terlihat sampai penambahan 4%. Untuk kuat tekan titik puncak kuat tekan bata api ada pada penambahan serat *basalt* sebanyak 0,25% selebihnya akan mengalami penurunan akan tetapi masih lebih baik bila dibandingkan dengan tanpa penambahan (Reiterman, Hollapek, Jogl, & Konvalinka, 2015).

Penggunaan limbah penggilingan *basalt* dapat digunakan sebagai bahan baku semen pada pembuatan *clinker* dengan menyesuaikan proporsi dari pemakaian batu kapur, batu silika, tanah liat dan pasir besi, hal ini akan dapat meningkatkan *phase* C3S, C4AF dan C3A maka akan terjadi reaksi sebagai berikut:



Sedangkan ketika semen ditambahkan material bersifat *pozzolan* maka reaksi yang akan terjadi adalah sebagai berikut:



Penambahan *silica fume*, *blast furnace slag*, *basalt* dan batu kapur pada semen akan dipelajari sebagai pembanding dengan dilihat dari uji kuat tekan sampai umur 365 hari dan hasil yang didapat adalah *basalt* mempunyai aktivitas *pozzolan* lebih rendah pada umur rendah dibandingkan *silika fume* dan *slag* pada usia lanjut, akan tetapi *basalt* akan berfungsi sebagai bahan pengisi semen ketika umur uji rendah akan tetapi reaktivitas sifat *pozzolan* meningkat, sehingga kesimpulan *basalt* mempunyai aktivitas *pozzolan* rendah akan tetapi memiliki efek sebagai pengisi lebih baik dibandingkan semen dan mempunyai sifat hidrasi lebih baik dari bahan *pozzolan* lainnya (Saraya M. E.-S., 2014). Bubuk batuan *basalt* yang mempunyai sifat *pozzolan* akan memberi pengaruh ketika bereaksi dengan kapur yang ada pada semen, hasil percobaan penambahan batuan dengan mengurangi kapur akan memberikan efek waktu kering pada umur 150 hari ketika ditambahkan *basalt* sebanyak 20% sedangkan larutan residu yang dihasilkan akan semakin menurun seiring semakin naiknya jumlah penambahan *basalt* sebagai pengganti kapur. Kapur bebas pada semen juga akan menurun dengan semakin banyaknya jumlah penambahan *basalt* sebagai pengganti kapur (Saraya M. E.-S., 2011).

Penambahan bubuk *basalt* halus sebagai pengganti atau substitusi semen sebanyak 10, 20 dan 30% berat semen akan

memberikan dampak nilai konsistensi awal, penyusutan dan kuat tekan pada *mortar* yang ditambahkan *superplasticiser* sebanyak 0,5, 0,75, 1,0, 1,25, dan 1,5%. Penambahan 1% *superplasticiser* memberikan efek penyusutan yang paling tinggi ada pada titik puncak penambahan bubuk *basalt* sebesar 10% dengan nilai 245 mm. Sedangkan penambahan *superplasticiser* sebanyak 1,5% pada penambahan bubuk *basalt* sebanyak 30% nilai penyusutan menurun menjadi 220 mm, sedangkan kuat tekan *mortar* pada penambahan *superplasticiser* sebanyak 10% dengan penambahan bubuk *basalt* sebesar 0% bernilai 45 MPa dan ketika penambahan bubuk persentase *basalt* diperbanyak menjadi 30% maka kuat tekan akan mengalami penurunan menjadi 18 MPa (Uncik & Kmencova, 2013).

7. *Fly Ash*

Fly ash (abu terbang) adalah abu sisa pembakaran batubara yang dipakai dalam banyak industri. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada, VM Malhotra, memelopori riset penggunaan abu terbang (*fly ash*) dalam proporsi

cukup besar (hingga 60%-65% dari total semen *Portland* yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan beton. Sebelumnya banyak peneliti menggunakannya hanya dalam proporsi kecil (Hardjito, 2001).

Komposisi semen dengan bahan pengisi *fly ash* dilakukan dengan komposisi binder (semen : *flyash*) 10:0, 8:2, 7:3, 6:4 dan sampai batas *flowability* dan *workability* yang dapat dikerjakan, yaitu 5:5. Dari segi *workability*, *flowability* dan kuat tekan beton, komposisi binder 6:4 dan *dosisvis cocrete* 1.5 % merupakan kondisi yang optimal (Sugiharto & Kusuma, 2001).

Ati (2002) telah meneliti penggunaan *fly ash* dalam jumlah tinggi yaitu dengan mengganti 50% dan 70% dari kandungan semen dengan *fly ash*. Beton dengan kandungan *fly ash* dapat mereduksi *shrinkage* sampai 30% bila dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *fly ash* (Ati, 2002).

Tabel 4. Komposisi kimia abu terbang batubara

Komponen	<i>Bituminous</i>	<i>Sub-bituminous</i>	<i>Lignite</i>
SiO ₂	20-60%	40-60%	15-45%
Al ₂ O ₃	5-35%	20-30%	10-25%
Fe ₂ O ₃	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
SO ₃	0-4%	0-2% -	0-10%
Na ₂ O	0-4%	0-2%	0-6%
K ₂ O	0-3%	0-4%	0-4%
LOI	0-15%,	0-3%	0-5%

Sumber: (Ati, 2002)

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta

penanganannya. Pembakaran batubara *lignit* dan *sub-bituminous* menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak dari pada bituminus. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada *bituminous*. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan *Loss On Ignition Method* (LOI).

Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara *bituminous* lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode *permeabilitas udara Blaine*) antara 170 sampai 1.000 m²/kg.

Pada awalnya abu terbang ini digunakan sebagai bahan penambah semen dengan kadar 5 %-20 % dengan maksud untuk menambah plastisitas adukan beton dan menambah kekedapan beton (Suhud, 1993). Karena kehalusan dan bentuk bulat butirannya maka pemakaian abu terbang pada adukan beton dapat menambah kelecakan pada adukan beton. Pada beton keras penggunaan abu terbang 10-15 % sebagai bahan pengganti semen dapat menambah kekuatan beton (Sebayang, 2002). Pemikiran ini sangat beralasan karena secara mekanik abu terbang akan mengisi rongga antara butiran semen dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolis pada kapur mati yang dihasilkan dari hidrasi. Definisi beton mutu tinggi selalu dikaitkan dengan batasan kuat tekan

minimum yang dapat dicapai yang biasanya bervariasi. Beton mutu tinggi didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kekuatan tekan minimum 6000 psi atau sekitar 41 Mpa (Ronald, Charles, & Michael, 1976). Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan pada beton mutu tinggi untuk kuat tekan di atas 50 MPa, penggunaan semen berkisar antara 380 -530 kg/m³, sedangkan faktor air semen berkisar antara 0,32-0,47 (Munaf, 1992).

Fly ash ditambahkan selama reaksi hidrasi dimana semen dan air bereaksi dalam satu kesatuan, hal itu menyebabkan reaksi kimia dalam waktu yang lama membentuk *feseglass* seperti silika dan alumunium dengan semen hidrat (kalsium hidroksida). Sifat-sifat *fly ash* tergantung pada sumber batu bara dan proses pembakaran yang ada di pembangkit listrik (Yamamoto, 2006).

Secara kimia abu terbang merupakan material oksida anorganik mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain dalam komposisinya untuk membentuk material baru (mulite) yang tahan suhu tinggi (Ardha, 2003).

Hasil pengujian kuat tekan *mortar* 28 hari dengan perbandingan semen dan pasir 1 : 10 menunjukkan bahwa *mortar* dengan kadar *fly ash* 30 % mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari *mortar* tanpa *Fly Ash* tetapi lebih rendah dari kuat tekan standar *mortar* tipe N. Sedangkan *mortar* dengan kadar *fly ash* 40% dan

50% mempunyai kuat tekan lebih rendah dari *mortar* tanpa *fly ash* maupun kuat tekan standar *mortar* tipe N. Hal ini disebabkan oleh kapur bebas yang dihasilkan dari reaksi antara semen dan air lebih kecil dari jumlah *fly ash* yang ada. Sehingga sisa *fly ash* yang tidak bereaksi dengan kapur bebas tidak bisa membentuk senyawa *tobermorite*.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa kuat tekan *mortar* dengan *fly ash* 30%, 40% dan 50% lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan *mortar* tanpa *fly ash* pada umur 7 hari. Hal ini disebabkan karena perilaku *fly ash* dalam reaksi hidrasi berjalan lambat. Sedangkan pada umur 28 hari, kuat tekan *mortar* dengan *fly ash* 30%, 40% dan 50% lebih tinggi dibandingkan dengan *mortar* tanpa *fly ash*. Fenomena ini disebabkan oleh kapur bebas hasil reaksi semen dan air akan bereaksi dengan *fly ash* membentuk senyawa *tobermorite* (Maryoto, 2008).

METODE PRODUKSI SEMEN PCC

1. Bahan Baku Produksi Semen

- a. Bahan baku *clinker* berasal dari Kabupaten Baturaja Propinsi Sumatra Selatan, bahan baku *clinker* adalah hasil dari proses pembakaran bahan baku batu kapur, tanah liat, pasir kuarsa, dan pasir besi dengan proses pendinginan mendadak dan berbentuk bundar ukuran 0,5–1,5mm serta dilakukan penghalusan berbentuk semen murni dengan tingkat kehalusan berukuran 74 μ m.
- b. Batu *basalt scoria* Lampung, yang berfungsi sebagai substitusi semen yaitu pengganti batu kapur dan *pozzolan*. Pemakaian batu *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* ukuran 200 *mesh*, ukuran butir yang halus dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja dari semen komposit agar mudah bereaksi dengan *Portland composite cement* (PCC) yang berukuran sampai 74 μ m.
- c. Pasir otawa asal Kanada, yang digunakan sebagai *agregat* halus yang berfungsi sebagai pengisi pada *mortar* dan yang mempunyai ukuran butir sampai kehalusan 100 *mesh*. Penggunaan pasir otawa sebagai *agregat* halus pembuatan *mortar* semen sesuai standar laboratorium untuk uji kuat tekan.

- d. Batu *clinker* asal baturaja, batu *clinker* adalah hasil dari proses pembakaran bahan baku batu kapur, tanah liat, pasir kuarsa dan pasir besi dengan proses pendinginan mendadak dengan bentuk bundar berukuran 0.5 mm–1,5 mm.
- e. Batu *gypsum* asal baturaja, yang berfungsi sebagai pensuplai mineral sulfat pada semen agar tidak mudah retak.
- f. Air *Aquades*, yang berfungsi sebagai bahan pencair dalam pembuatan adonan *mortar* semen agar mudah dibentuk.

2. Alat-Alat Produksi

- a. *Jaw Crusher*, yang digunakan untuk menghaluskan batu *basalt* yang asalnya berbentuk bongkah hingga akhirnya terbentuk butiran-butiran halus.
- b. Ayakan, yang digunakan untuk melakukan pengayakan butiran yang telah dihaluskan dari mesin *jaw crusher* agar didapatkan butiran yang seragam sebagai bahan baku pengganti batu kapur dan *pozzolan*. Ayakan berbentuk silinder terbuat dari *stainless steel* tahan karat, dengan ukuran ayakan 200 *mesh*.
- c. *Mixer*, yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun dari semen komposit agar homogen dengan kecepatan 180-200 rpm, *mixer* yang digunakan berbentuk *stand up mixer* yang digunakan untuk pembuatan contoh uji.

- d. Cetakan, digunakan untuk membentuk benda uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm dan terbuat dari besi plat ketebalan 10 mm.
- e. *Autoclave*, digunakan untuk pematangan contoh uji dengan sistem penguapan bertemperatur tinggi dan bertekanan di atas 2 ATM, dimaksudkan agar reaksi *pozzolan* terjadi dengan cepat dan sempurna.
- f. Mesin uji kuat tekan, digunakan untuk mengukur besar gaya yang mampu dipikul oleh benda uji pada tiap satuan luas permukaan, dengan prinsip benda yang diuji setelah menerima beban maksimum maka akan hancur.
- g. Alat uji *blaine*, digunakan untuk mengukur jumlah ukuran kehalusan dari semen yang diukur berdasarkan jumlah luas permukaan semen.
- h. Mesin karakteristik XRF, alat ini digunakan untuk melihat komposisi kimia yang terkandung di dalam bahan baku ataupun semen komposit. Prinsip peralatan adalah dapat mendeteksi unsur-unsur yang ada dalam suatu contoh dengan cepat berdasarkan sinar X.
- i. Mesin XRD, alat ini digunakan untuk mengetahui senyawa-senyawa tertentu di dalam *basalt* maupun semen komposit. Prinsip peralatan adalah dapat mendeteksi senyawa-senyawa apa yang terkandung di dalam bahan baku atau benda uji

sehingga akan didapat senyawa yang kompleks berdasarkan sinar X.

- j. Mesin SEM, alat ini digunakan untuk mengetahui morfologi batu *basalt* ataupun benda uji dengan ukuran 2 dimensi. Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop dan dapat dilakukan perbesaran dari 10 x sampai 1000x.
- k. Mesin *Computer-Control, Type Hydraulic Cevo Universal Testing Machine* digunakan untuk menghitung kuat tekan dan elastisitas benda uji *mortar* semen.

Perencanaan komposisi dimaksudkan untuk melakukan rancangan pada setiap variasi bahan baku batu *basalt* sebagai pengganti dari batu kapur dan *pozzolan* dengan variasi *basalt* sebagai pengganti batu kapur 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2 % dilanjutkan dengan *basalt* pengganti *pozzolan* 2,5%, 3%, 3,5% sampai 10% di dalam komposisi semen komposit. Selanjutnya masing-masing komposisi dibuat adonan dengan dicampur *aquades* dan dilakukan pencetakan bentuk kubus dengan ukuran 5x5x5cm. Benda uji selanjutnya direndam dalam ruangan yang bersuhu lembab dan dilakukan pengujian kuat tekan pada umur perendaman 3,7 dan 28 hari. Perancangan percobaan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* dalam campuran semen komposit seperti tabel 5.

Tabel 5. Perancangan komposisi bahan baku semen komposit

No.	Kode	Komposisi Bahan Baku (%)				
		<i>Clinker</i>	<i>B.Kapur</i>	<i>Pozzolan</i>	<i>Gypsum</i>	<i>Basalt</i>
1.	K.0	83	2	12	3	0
2.	K.1	83	1,5	12	3	0,5
3.	K.2	83	1	12	3	1
4.	K.3	83	0,5	12	3	1,5
5.	K.4	83	0	12	3	2
6.	K.5	83	0	11,5	3	2,5
7.	K.6	83	0	11	3	3
8.	K.7	83	0	10,5	3	3,5
9.	K.8	83	0	10	3	4
10.	K.9	83	0	9,5	3	4,5
11.	K.10	83	0	9	3	5
12.	K.11	83	0	8,5	3	5,5
13.	K.12	83	0	8	3	6
14.	K.13	83	0	7,5	3	6,5
15.	K.14	83	0	7	3	7
16.	K.15	83	0	6,5	3	7,5
17.	K.16	83	0	6	3	8
18.	K.17	83	0	5,5	3	8,5
19.	K.18	83	0	5	3	9
20.	K.19	83	0	4,5	3	9,5
21.	K.20	83	0	4	3	10

Karakterisasi senyawa yang ada pada campuran semen *type I* jenis PCC pada masing-masing komposisi dengan menggunakan alat XRD dan pengamatan struktur mikro dari masing-masing komposisi dengan menelusuri morfologi yang terbentuk.

Pengujian kuat tekan guna mengukur kekuatan maksimum yang mampu dicapai *mortar* dalam menahan beban tekanan mesin untuk setiap luas penampang pada masing-masing komposisi campuran pada semen.

KUALITAS SEMEN

Senyawa-senyawa kimia semen *portland* tidak stabil secara termo dinamis, sehingga sangat cenderung bereaksi dengan air. Karena itu apabila semen dibiarkan terbuka, maka semen bisa mengeras karena senyawa tersebut bereaksi dengan uap air yang ada di udara. Produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen senyawa berbeda-beda. Adapun senyawa-senyawa kimia yang berikatan dalam semen adalah sebagai berikut:

1. *Tricalcium Silikat* (C3S) = $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepaskan panas, kualitas dan kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

2. *Dicalcium Silikat* (C2S) = $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

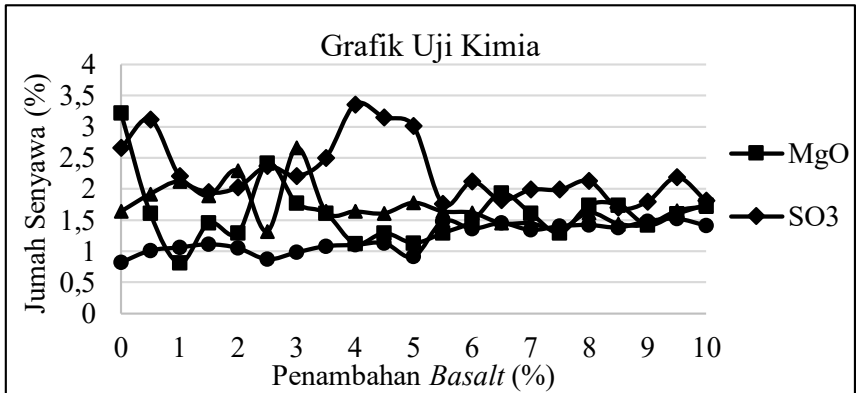
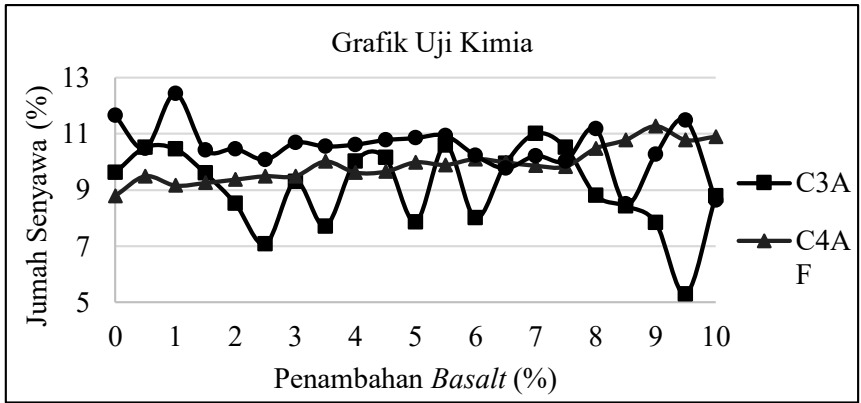
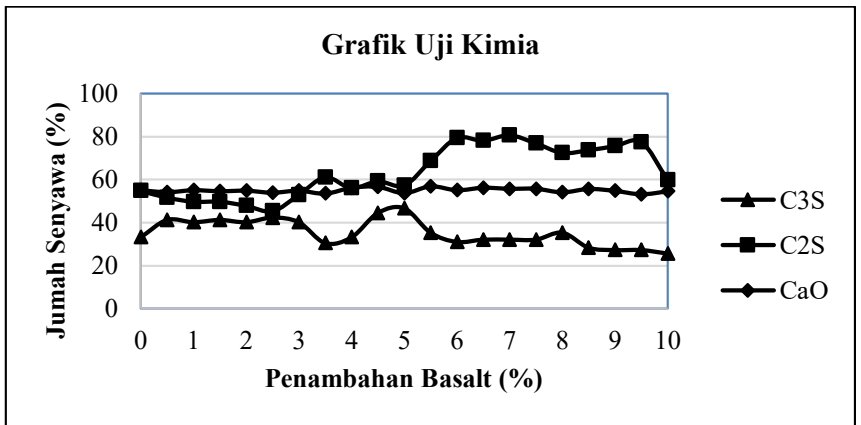
Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, memiliki ketahanan agresi kimia yang relatif tinggi, penyusutan yang relatif rendah.

3. *Tricalcium Alumate* (C3A) = $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai sejumlah besar panas, yang menyebabkan pengerasan awal, kurang ketahanan terhadap agresi kimiawi, menunjukkan desintegrasi (perpecahan) oleh sulfat yang ada di air tanah, mudah mengalami perubahan volume sehingga besar kemungkinan mengalami retak-retak. Senyawa ini kurang diinginkan karena hanya memberikan sedikit sumbangan pada kekuatan *mortar*, dan apabila terjadi agresi sulfat, formasi kalsium sulphoaluminate (*ettringite*) yang dihasilkan dapat menyebabkan *distrubtion*.

4. *Tetracalsium Aluminoforit* (C4Af) = $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$

Adanya senyawa Aluminoforit kurang penting karena tidak tampak banyak pengaruh terhadap kekuatan dan sifat semen. Berdasarkan data persentase kadar senyawa-senyawa dalam uji kimia di atas tersaji dalam grafik hasil uji kimia di bawah ini:



Gambar 5. Grafik hasil uji kimia

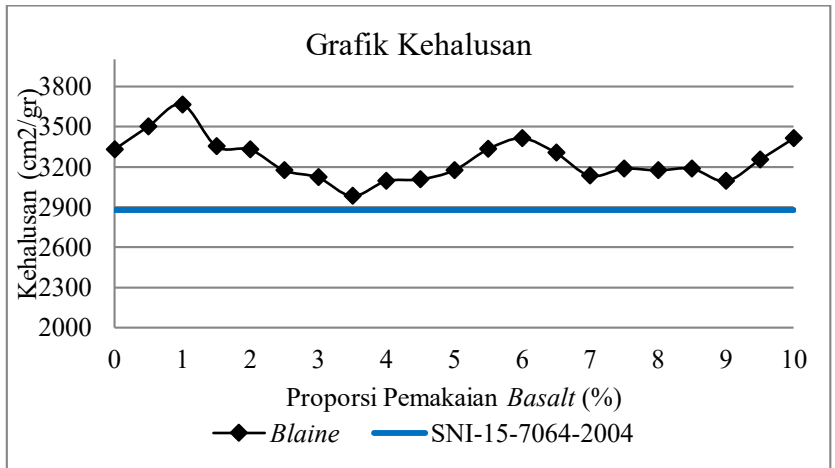
1. **Kehalusan**

Uji kehalusan semen dengan menggunakan alat uji yang didasarkan pada penarikan sejumlah udara melalui suatu alas semen yang disiapkan dengan porositas tertentu dengan jumlah aliran udara dihitung sebagai jumlah luas permukaan total cm^2/gram semen. Pengujian kehalusan semen perlu dilakukan karena kehalusan semen berpengaruh pada ikatan yang terbentuk antar partikel. Semakin halus semen maka luas permukaan akan semakin besar dan luas permukaan semen akan mempengaruhi terhadap kereaktifan semen dengan air. Semakin besar luas permukaan semen maka akan semakin reaktif terhadap air (Amin & Ulva, 2015).



Gambar 6. Alat uji kehalusan

Tingkat kehalusan optimum yaitu pada substitusi batu *basalt* sebanyak 1% dengan nilai kehalusan sebesar $3.665\text{cm}^2/\text{gr}$. Hubungan persen penambahan *basalt* dengan tingkat kehalusan dapat dilihat gambar di bawah ini:

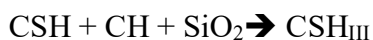
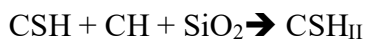


Gambar 7. Grafik hubungan persen penambahan *basalt* terhadap kehalusan

Kehalusan semen jenis *PCC* berbahan baku *basalt* ini masih berada di atas syarat mutu standar semen *Portland* komposit SNI-15-7064-2004 yaitu kehalusan semen dengan alat *blaine* sebesar minimum $2880\text{cm}^2/\text{gr}$. Lebih besar atau lebih tingginya kehalusan semen jenis *PCC* yang menggunakan *basalt* terjadi disebabkan *basalt* mempunyai kandungan komposisi kimia yang didominasi oleh mineral silika dan alumina dan ketika partikel silika dan alumina dicampur dengan *clinker* yang didominasi oleh partikel tri kalsium silikat dan di-

kalsium silikat yang berasal dari *lime stone* atau batu kapur dan akan bereaksi sedangkan reaksi kalsium adalah reaksi eksotermis atau reaksi mengeluarkan atau melepaskan panas karena secara fisik sifat semen salah satunya adalah semen akan melepaskan panas apabila dicampur dengan air. Pelepasan panas sehingga bahan baku yang tercampur antara *basalt* dengan *clinker* akan mengalami perbesaran permukaan sehingga akibatnya luas permukaan akan semakin membesar dan akibatnya permukaan semen akan semakin luas sehingga dengan demikian tingkat kehalusan semen akan semakin besar.

Reaksi yang terjadi akan banyaknya silika dari *basalt* bertemu dengan pasangannya yaitu salah satu produk hidrasi berupa *Portlandite* atau kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan melepaskan sejumlah panas akibat reaksi hidrasi pembentukan semen yang berasal dari *clinker* maka reaksi antara SiO_2 dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat berlangsung cepat dan membuka permukaan semen menjadi luas. Reaksi ini seperti terlihat pada persamaan reaksi kimia di bawah ini:



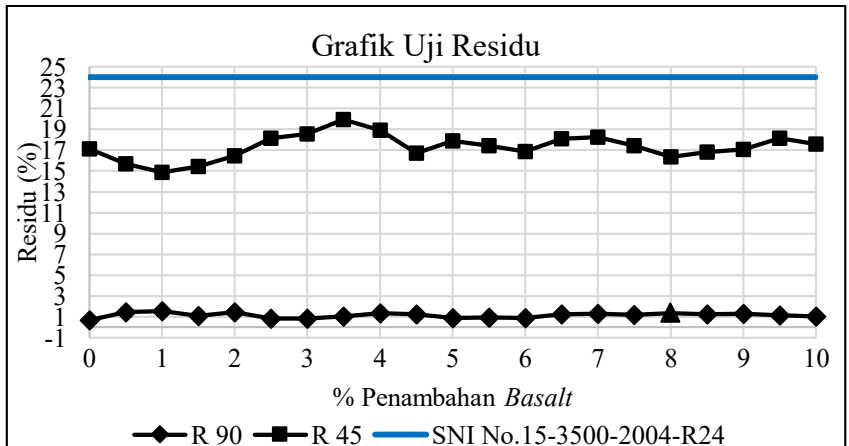
2. Residu Semen

Pengukuran kehalusan semen dengan metode pengayakan dengan menggunakan ayakan ukuran 90 μm dan

45 μ m dimaksudkan untuk mengetahui jumlah residu yang tertinggal. Tingkat kehalusan semen semakin kecil dengan semakin banyak residu yang tertinggal, maka luas permukaan partikel-partikel semen semakin kasar. Alat untuk menguji residu semen dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 8. Ayakan ukuran 90 μ m dan 45 μ m



Gambar 9. Grafik hasil uji residu 45 dan residu 90

Ayakan 45 μm memiliki jumlah lubang lebih sedikit dibandingkan dengan ayakan 90 μm . Sehingga jumlah butir atau residu yang tertinggal pada ayakan 45 μm lebih sedikit. Berdasarkan SNI NO.15-3500-2004 tentang standar semen *portland* campur bahwa syarat uji fisika untuk tingkat kehalusan yang diukur dengan menggunakan metode jumlah butir yang tertinggal diayakan bahwa jumlah butir yang tertinggal diayakan 45 μm maksimal sebanyak 24 % sedangkan untuk ukuran 90 μm tidak ada standar. Berdasarkan hasil uji kehalusan bahwa semen jenis *PCC* dengan penambahan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* memenuhi persyaratan standar SNI yaitu sebesar 14,88 % - 19,95 %.

3. Kuat Tekan

Uji kuat tekan adalah uji sifat kemampuan menahan suatu beban tekan, kekuatan tekan merupakan sifat yang sangat penting pada *mortar*. Kuat tekan dinyatakan pada umur *mortar* 28 hari dan masa perawatan benda uji *mortar* semen dilakukan umur 3, 7 dan 28 hari. Masa perawatan benda uji dilakukan dalam kondisi kadar air dan kelembaban yang konstan. Kadar unsur C_3S yang tinggi pada semen mempengaruhi kekuatan tekan awal yang besar sedangkan C_2S berpengaruh terhadap kekuatan tekan untuk waktu yang lama.

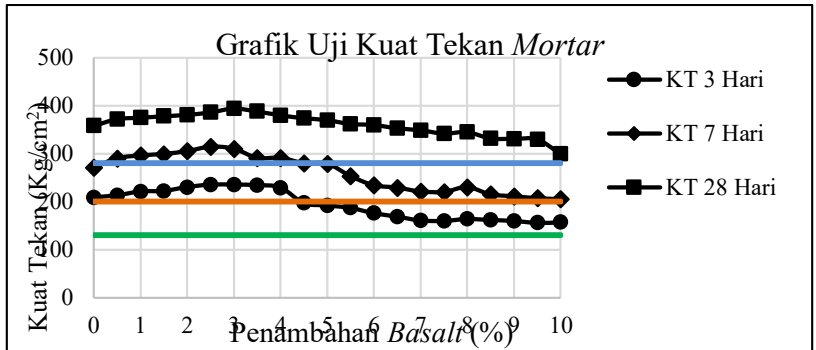


Gambar 10. Benda uji bentuk kubus ukuran 5x5x5 cm



Gambar 11. Alat uji kuat tekan *compressive strength machine*

Uji kuat tekan pada umur 3, 7 dan 28 hari seperti pada grafik hubungan kuat tekan terhadap persentase perubahan kadar batu *basalt* di bawah ini:



Gambar 12. Grafik hubungan penambahan persen *basalt* terhadap kuat tekan

Berdasarkan uji kuat tekan pada umur 3, 7 dan 28 hari dapat diketahui bahwa kuat tekan maksimum dari masing-masing umur uji adalah pada persentase *basalt* 3% dan nilai kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari. Semakin lama waktu perendaman maka kuat tekan *mortar* yang dihasilkan juga semakin tinggi hingga pada hari ke 28 disebabkan semakin sempurnanya reaksi hidrasi semen.

Faktor yang mempengaruhi kuat tekan antara lain, kehalusan semen, umur pemeliharaan *mortar* semen dan komposisi semen. Kehalusan semen atau partikel meningkatkan kuat tekan *mortar*. Kehalusan berpengaruh terhadap luasnya permukaan yang akan bereaksi dengan air dan

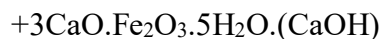
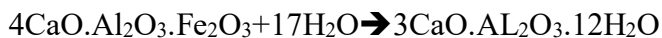
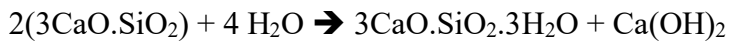
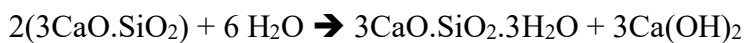
mempercepat kontak dengan *agregat*. Kuat tekan meningkat dikarenakan ukuran butir yang halus semakin menyempurnakan reaksi hidrasi yang terjadi, sehingga akan mencegah terjadinya *hadly grain* yang terdapat pada reaksi hidrasi pada semen umumnya. Reaksi hidrasi semen adalah reaksi yang terjadi antara senyawa semen dengan air yang akan menghasilkan senyawa hidrat, reaksi hidrasi semen akan menghasilkan panas yang akhirnya mempengaruhi kuat tekan, senyawa-senyawa hidrasi tersebut antara lain: Calsium Silikat Hidrat + Ca(OH)_2 , Calsium Aluminat Hidrat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{H}_2\text{O}$) dan Calsium Sulfuric Aluminat Hidrat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot3\text{H}_2\text{O}$)₄. Senyawa C_3S memberikan kontribusi mengurangi terjadinya porositas pada beton sehingga akan meningkatkan *compact density* akibat penggunaan *basalt* yang halus (Fadillah, Sustiawan, & Lee, 2014).

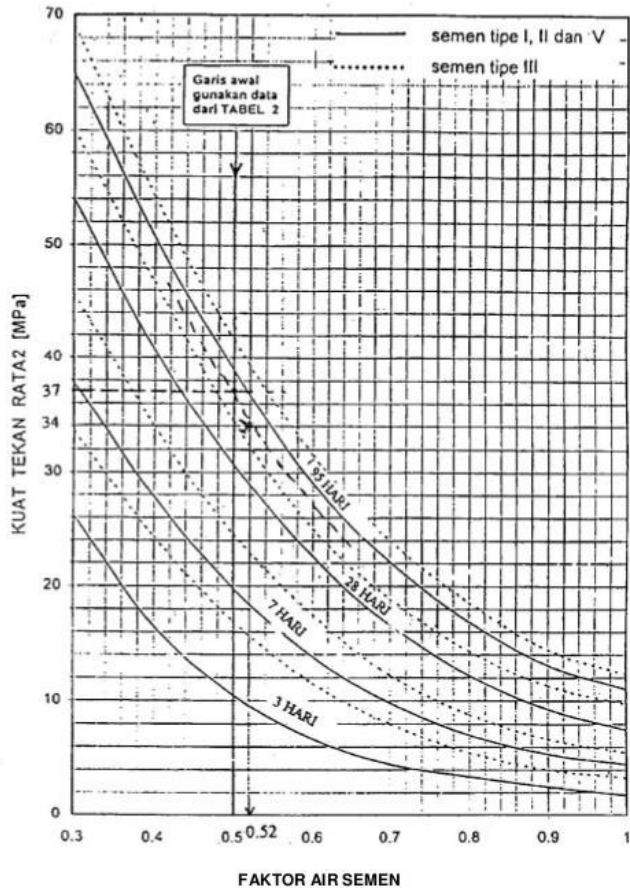
Kuat tekan merupakan salah satu tolok ukur dari kekuatan benda uji *mortar* semen yang dipangaruhi oleh proses hidrasi semen yang terbentuk dari pasta. Beberapa waktu kemudian pasta semen tersebut mulai terjadi pengerasan sehingga akan mempunyai kekuatan tekan yang tinggi (Lea, 1998).

Proses hidrasi semen terdiri dari beberapa reaksi kimia yang berasal dari *clinker* dan penambahan *basalt* yang didominasi oleh senyawa Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3) dan

Besi (Fe_2O_3). *Basalt* bersifat *pozzolan* karena mengandung senyawa silika aktif, alumina dan besi. *Basalt* tidak mempunyai sifat seperti semen tetapi *basalt* yang digiling pada 200 *mesh* dan dicampur dengan *clinker* akan membentuk senyawa seperti semen. Senyawa tersebut bereaksi dengan air membentuk senyawa CSH (*Calcium Silikat Hidroksid*) dan CAH (*Calcium Alumina Hidroksid*), sehingga ketika bereaksi dengan *clinker* akan mempunyai sifat seperti semen. Reaksi yang terjadi yaitu senyawa silika dan alumina akan mengikat senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk membentuk senyawa CSH dan CAH.

Secara keseluruhan reaksi hidrasi semen dan *basalt* ketika ditambahkan air akan mengalami proses reaksi secara bersama-sama sebagai berikut:





Gambar 13. Hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton

(Sumber : SNI 03-2834-1993)

Umur pengujian dan pemeliharaan *mortar* semen mempengaruhi kuat tekan. Semakin lama umur pengujian dan pemeliharaan *mortar* semen maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan. Hubungan antara kuat tekan dengan

penambahan *basalt* adalah semakin lama umur pengujian dan pemeliharaan dari 3, 7 dan 28 hari maka nilai kuat tekan semakin meningkat seiring dengan penambahan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* pada semen *type* I jenis PCC.

Tabel 6. Hubungan umur dan kuat tekan beton

Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton (%)
3	40
7	65
14	88
21	95
28	100
90	120
365	135

(Sumber : PBI-1971)

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Beton dan nilai kuat tekan ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari. Kekuatan beton akan naik secara cepat (*linear*) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya tidak terlalu signifikan (Gambar 4.13). Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan mencapai 65% dan pada umur 14 hari mencapai 88% - 90% dari kuat tekan umur 28 hari.

Penambahan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* dan ketika bereaksi dengan *clinker* maka akan membentuk C3S atau trikalsium silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), C₂S atau dikalsium silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) dan C₃A atau tri kalsium

aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) dan C_4AF atau *tetrakalsium aluminoferrit* ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), sehingga keberadaan C_3S , C_2S , dan C_3A sangat mempengaruhi kuat tekan awal umur 3 hari mempengaruhi kuat tekan umur selanjutnya pada umur 7 hari dan umur 28 hari.

Pemeliharaan uji kuat tekan dilakukan dengan cara perendaman benda uji di dalam air hal ini akan berpengaruh pada kuat tekan dan proses hidrasi semen semakin lama umur pemeliharaan maka proses hidrasi semakin sempurna sehingga kekuatan tekannya semakin naik, selain itu C_3S juga memberikan kontribusi yang sangat besar pada perkembangan kekuatan awal umur uji sedangkan C_2S memberikan kontribusi kekuatan tekan pada umur yang lebih panjang atau umur uji lama. C_3A juga memberikan kontribusi pada kuat tekan sampai pada tingkat umur tertentu, pada umur 28 hari dan umur uji untuk satu tahun mengalami peningkatan kemudian semakin mengecil pada tahun kedua sampai angka nol.

Senyawa C_3S apabila terkena air maka akan cepat bereaksi dengan senyawa lain juga dan akan menghasilkan panas, reaksi tersebut dihasilkan dari penambahan *basalt*. Panas yang keluar dari akibat reaksi tersebut akan mempengaruhi kecepatan pengerasan semen sebelum hari ke 14. Jika kandungan C_3S pada semen jenis PCC yang berasal dari penambahan *basalt* lebih banyak maka akan terbentuk semen

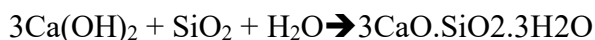
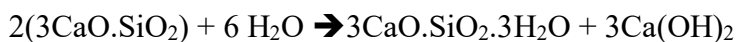
PCC dengan panas hidrasi dan akibatnya menghasilkan kuat tekan awal yang tinggi. Senyawa C₃S juga akan memberikan kekuatan yang besar pada saat fase permulaan akan memberikan efek kuat tekan yang lebih tinggi pada saat umur yang lebih lama.

Sedangkan senyawa C₂S ketika bereaksi dengan air juga akan melepaskan panas akan tetapi panas yang dilepaskan tidak secepat senyawa C₃S. Semen jenis PCC yang berasal dari penambahan *basalt* akan memberikan pengaruh ketahanan terhadap serangan dari zat-zat kimia dengan kata lain tidak mudah mengalami korosi dikarenakan daya tahan terhadap asam lebih kuat sehingga akan memberikan daya susut yang lebih kecil akibat pengaruh panas yang berasal dari lingkungan, selain itu senyawa C₂S yang ada pada semen jenis PCC ini juga akan memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap kuat tekan pada umur yang lebih lama.

Senyawa C₄AF yang dihasilkan akibat reaksi penambahan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* tidak terlalu memberikan efek yang signifikan mempengaruhi kekerasan semen atau kuat tekan semen ini disebabkan reaksi yang terjadi akibat adanya senyawa ferrit atau senyawa besi pada semen. Senyawa C₄AF lebih berkontribusi terhadap pembentukan warna pada semen jenis PCC akan menjadi lebih berwarna abu kehitaman. Semen jenis PCC yang ditambahkan

basalt mengandung senyawa C_4AF lebih tinggi dibandingkan semen jenis PCC tanpa penambahan *basalt*. Kandungan senyawa C_4AF tanpa penambahan sebesar 8,79% dan dengan penambahan *basalt* 0,5% sampai 10% sebesar 9,16% sampai 11,26%. Hal ini disebabkan *basalt* mengandung senyawa Fe_2O_3 relatif tinggi yang terlihat dari warna *basalt* abu-abu kehitaman bila dibandingkan batu kapur dan *pozzolan*.

Komposisi semen atau bahan baku juga sangat berpengaruh terhadap semen terutama kuat tekan. Komposisi semen yang terdiri dari senyawa silika (SiO_2) yang ada dalam semen dan *basalt* akan mengeliminir senyawa kalsium $Ca(OH)_2$ dan akan bereaksi membentuk senyawa baru yaitu *calcium Silika hidroksida* (CSH) pada proses hidrasi semen, sehingga akan meningkatkan kuat tekan *mortarsemen*. Hal ini disebabkan $Ca(OH)_2$ di dalam beton atau *mortar* akan bersifat merugikan dan menurunkan kuat tekan *mortar* semen. Penambahan *basalt* tidak boleh berlebihan karena CaO pada semen akan berkurang. Reaksi pelepasan panas pada semen berasal dari senyawa kalsium dan komposisi semen sebagian besar 62 – 65% adalah CaO . Reaksi proses hidrasi terhadap komposisi semen adalah sebagai berikut:



4. Kuat Ikat Awal dan Kuat Ikat Akhir

Tujuan metode pengujian waktu ikat ini adalah untuk mendapatkan nilai waktu ikat awal dan kuat ikat akhir yang digunakan untuk menentukan efektifitas waktu yang diperlukan semen berikatan. Sedangkan yang dimaksud dengan waktu ikat awal adalah waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat atau adonan semen sudah tidak *workable*. Waktu ikat akhir adalah waktu dimana penetrasi jarum *vicat* tidak terlihat secara visual dengan kata lain waktu mulai adonan semen terjadi kekakuan penuh.



Gambar 14. Mesin pengaduk adonan semen untuk uji kuat pikat
(Sumber: SNI No. 03-6827-2002)

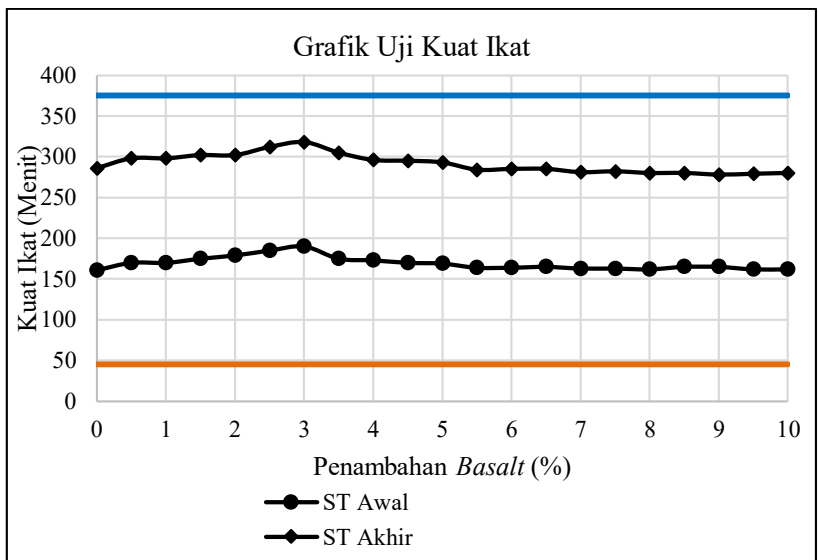


Gambar 15. Alat vicat sesuai standar ASTM C-91-82

(Sumber: SNI No. 03-6827-2002)

Gambar di atas adalah alat-alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kuat vikat awal dan akhir berdasarkan SNI.No. 03-6827-2002 tentang Metode pengujian waktu ikat awal semen dengan menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil. Alat *vicat* yang sesuai dengan Standard ASTM C-91-82, terdiri dari: alat *vicat*, jarum *vicat* untuk pengujian waktu ikat awal, cetakan benda uji berbentuk kerucut terpacung, tersebut dari karet keras dengan ukuran diameter dasar : 70 mm, diameter atas : 60 mm, tinggi : 40 mm, gelas ukur kapasitas 200 ml, dengan ketelitian 1 ml, timbangan kapasitas 500 gram, ketelitian 0,1 gram, sendok perata, *stopwatch*, termometer

beton, termometer laboratorium, plat kaca ukuran 150 mm x 150 mm x 3 mm, air suling sebanyak 1000 ml, lemari lembab. Uji kuat ikat *mortar* dilakukan pada semua benda uji yang di pisahkan berdasarkan persentase komposisi batu *basalt*. Hubungan antara persentase penambahan komposisi batu *basalt* dan waktu yang diperlukan untuk kuat ikat semen dapat di lihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 16. Grafik hubungan persen penambahan *basalt* terhadap kuat ikat

Semakin besar kandungan C_3A maka akan cenderung menghasilkan waktu ikat yang makin pendek. Pernyataan tersebut tidak berlaku pada semen jenis PCC yang ditambahkan *basalt*. Berdasarkan data uji waktu ikat awal mengalami

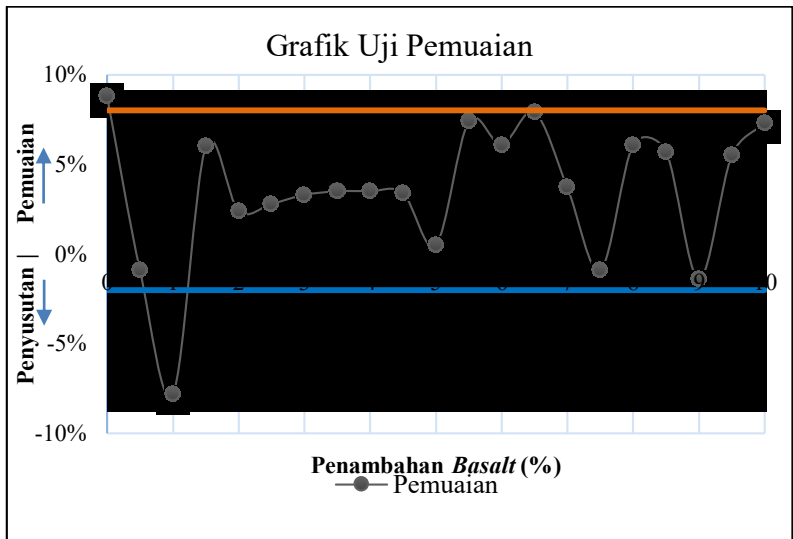
fluktuasi seiring dengan jumlah kandungan C_3A di dalam semen. Seperti terlihat pada tabel hasil uji kimia bahwa semakin tinggi kandungan C_3A maka waktu ikat awal semakin panjang dan berlaku pada waktu ikat akhir. Sehingga pembentukan senyawa C_3A pada semen komposit tidak mempengaruhi waktu ikat awal.

Mekanisme terjadinya *setting* dan *hardening* yaitu ketika terjadi pencampuran dengan air, maka akan terjadi reaksi antara air dengan C_3A membentuk $3CaO.Al_2O_3.3H_2O$ yang bersifat kaku dan berbentuk gel. Pengaturan pengikatan perlu ditambahkan *gypsum*. *Gypsum* bereaksi dengan $3CaO.Al_2O_3.3H_2O$ membentuk lapisan *ettringite* yang akan membungkus permukaan senyawa tersebut. Namun karena ada peristiwa osmosis lapisan *ettringite* akan pecah dan reaksi hidrasi C_3A akan terjadi lagi, namun akan segera terbentuk lapisan *ettringite* kembali yang akan membungkus $3CaO.Al_2O_3.3H_2O$ kembali sampai *gypsum* habis. Proses ini akhirnya menghasilkan perpanjangan *setting time*. Peristiwa di atas mengakibatkan reaksi hidrasi tertahan, periode ini disebut *Dormant*. yang terjadi selama 1-2 jam, dan selama itu pasta masih dalam keadaan plastis dan mudah dibentuk, periode ini berakhir dengan pecahnya *coating* dan reaksi hidrasi terjadi kembali dan initial set mulai terjadi. Selama periode ini beberapa jam, reaksi dari $3CaO.SiO_2$ (C_3S) terjadi dan

menghasilkan CSH. CSH semen akan mengisi rongga-rongga dan membentuk titik-titik kontak sehingga akan menghasilkan kekakuan. Tahap berikutnya terjadi pengikatan konsentrasi CSH yang akan menghalangi mobilitas parikel-partikel semen yang berasal dari *clinker* dan *basalt*. Dari reaksi-reaksi tersebut di atas akan mengakibatkan pasta akan menjadi kaku dan *final setting* tercapai lalu proses pengerasan mulai terjadi.

5. Pengujian Pemuaiian *Autoclave*

Pemuaiian pada *autoclave* bertujuan untuk menentukan tingkat perkembangan pasta semen atau menetapkan semen tersebut memenuhi batas spesifikasi cepat kaku (Indah Pratama, Rauf, & Juarlin, 2015). Sebelum uji kekekalan bentuk dilakukan, terlebih menentukan jumlah air dan pengikatan awal yang akan digunakan dalam pembuatan semen. Pengujian kekekalan bentuk bertujuan untuk mengetahui peristiwa kerja apabila mengalami keretakan, pecah atau perubahan bentuk lainnya. Hubungan penambahan *basalt* terhadap pemuaiian seperti grafik di bawah ini:



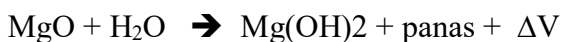
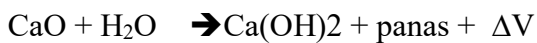
Gambar 17. Grafik hubungan penambahan *basalt* terhadap pemuaiian

Hasil uji pemuaiian pada penambahan *basalt scoria* sebanyak 1% mengalami peningkatan penyusutan hingga 0,078. Peningkatan penyusutan ini dipengaruhi oleh faktor keragaman data non-perlakuan yang kurang terkontrol. Pengaruh non-perlakuan pada pengadaan bahan baku utama *clinker* dan persiapan bahan baku ketiga yaitu *pozzolan*, batu kapur, *gypsum* batu *basalt scoria* serta proses pembuatan benda uji *mortar* akibat dari perubahan suhu ekstrim, kelembaban dan homogenisasi menyebabkan terjadinya fluktuasi data hasil uji pemuaiian. Namun, hasil uji menunjukkan bahwa data hasil uji pemuaiian berada di ambang batas syarat SNI No. 15-7064-2004 tentang syarat fisika dari semen jenis PCC bahwa

pemuaiian maksimum sebesar 0,08%. Semen dengan penambahan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* mengalami pemuaiian di bawah angka 0,08%, dengan demikian bahwa *basalt* memberikan pengaruh pada penurunan pemuaiian pada semen jenis PCC sehingga semen tidak mudah pecah, retak atau perubahan bentuk.

Semen jenis PCC yang ditambahkan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *Pozzolan* tahan terhadap pemuaiian di *autoclave*. Senyawa silika dan alumina pada *basalt* mengalami reaksi terhadap senyawa silikat kalsium yang bersifat hidrolis ketika dipanaskan dengan tekanan. Penambahan bahang *ypsum* akan membentuk rekasi kimia dan membentuk senyawa CSH (kalsium silikat hidrat). Senyawa lain yang dihasilkan antara lain berupa C_3S , C_2S , C_3A , dan C_4AF . Senyawa-senyawa tersebut akan memberikan efek kekuatan awal dan akhir yang baik sehingga membantu pengerasan pada semen. Senyawa CSH hasil reaksi antara *basalt* dan *clinker* akan mengisi rongga-rongga dan akan membentuk titik-titik kontak sehingga akan menghasilkan kekakuan. Tahap berikutnya akan mengakibatkan terjadinya pengikatan senyawa CSH yang akan menghalangi mobilitas partikel-partikel semen. Sehingga ketika semen mengalami pemanasan dengan tekanan yang cukup tinggi semen akan tahan terhadap pemuaiian bahkan semen tahan akan keretakan dan tidak mudah pecah.

Pemanasan dengan tekanan di dalam *autoclave* semen sebagai perekat pada beton tidak boleh berubah bentuk atau mengembang dan memuai. Apabila hal itu terjadi pada beton yang sudah mengeras maka beton akan mengalami tegangan tarik dan beton lemah terhadap tarik akibatnya beton akan mengalami keretakan. Selain itu sifat mengembang pada semen juga dipengaruhi oleh senyawa kimia yang terkandung pada bahan. Senyawa CaO dan MgO apabila keduanya bereaksi dengan air maka akan terbentuk senyawa Ca(OH)₂ dan Mg(OH)₂ yang hasil reaksi tersebut diikuti dengan perubahan volume pada semen atau beton. Perubahan volume tersebut akan lebih besar dari volume awal. Semen *type I* jenis PCC yang ditambahkan *basalt* mengandung senyawa MgO sangat kecil sehingga meminimalisir terjadinya penegembangan volume pada semen. Terlihat dari hasil pada uji pemuaian yang nilainya masih berada di bawah nilai pemuaian semen yang tanpa penambahan *basalt*. Reaksi yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut:



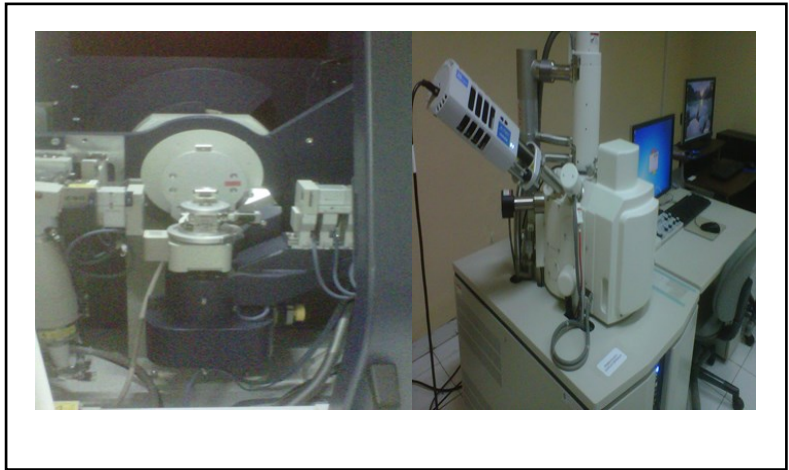
Perubahan volume pada senyawa tersebut di atas kejadiannya tidak bersamaan, pada CaO lebih cepat sedangkan MgO memerlukan waktu yang cukup lama. Akibat dari waktu yang cukup lama ini akan menyebabkan beton akan

mengembang sehingga mengakibatkan struktur beton akan mengalami tegangan dan akibatnya beton akan mengalami keretakan.

6. Karakteristik Alat *SEM (Scanning Electron Microscopy)*

Karakteristik SEM ini berguna untuk melihat morfologi dari semen jenis PCC yang terbentuk akibat penambahan *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* dengan pencampuran komposisi tertentu. Dalam karakterisasi ini contoh uji disiapkan dalam bentuk serbuk halus minimal lolos ukuran 100 *mesh*, contoh serbuk kemudian dilakukan preparasi ke dalam alat SEM. Hasil dari karakterisasi SEM berupa gambar struktur mikro yang terlihat dari pengamatan alat SEM. Alat SEM ini untuk melihat morfologi semen jenis PCC yang menggunakan bahan baku *basalt* sebagai pengganti batu kapur dan *pozzolan* dengan kemampuan perbesaran hingga puluhan ribu kali sehingga diperoleh gambar yang jelas dan tajam.

Alat SEM dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), EDS dihasilkan dari menembakan sinar X pada posisi yang diketahui maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung di sampel tersebut.



Gambar 18. Alat uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)-
Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)
(Sumber : Dok. Pusat Penelitian Fisika LIPI Serpong
Tangerang Selatan)

Pengujian SEM sebaiknya dilakukan pada semua level sampel persentase kadar batu *basalt*, dengan asumsi bahwa karakteristik penampang fisik benda uji akan lebih rapat dan ukuran partikel lebih kecil seiring peningkatan persentase kadar *basalt*. Hasil uji menunjukkan bahwa terjadi pengingkatan pori dan pembesaran ukuran partikel seiring dengan pengingkatan persentase batu *basalt* sehingga pengujian cukup dilakukan sampai dengan kadar *basalt* 5% dengan asumsi bahwa luas pori dan pembesaran ukuran partikel berbanding lurus dengan kadar *basalt* yang digunakan.

Hasil SEM menunjukkan bahan baku *basalt* ketika dilakukan karakteristik mempunyai struktur yang masih jarang dan berongga, sehingga masih banyak pori-pori yang kosong untuk diisi oleh material lain. Bentuk strukturnya beragam dan tidak beraturan yaitu berbentuk meta, tetra dan jarum. EDS memperlihatkan bahwa unsur yang dominan dari bahan baku *basalt* dengan puncak tertinggi adalah Ca= 23,37%, Fe= 4,07%, Si= 4,86% dan Al= 3,21% tetapi semua unsur ini bisa terbentuk menjadi oksida dikarenakan unsur O yang sangat tinggi = 42,90% dengan kandungan carbon C= 20,54%. Hasil analisa SEM semen *type* I jenis PCC tanpa ada penambahan *basalt* terlihat struktur semen cukup seragam tidak ada yang berbentuk jarum tapi semua didominasi bentuk meta dan tetra dan cukup penuh tidak banyak terdapat rongga pori-pori dengan bentuk kecil-kecil, hal ini disebabkan banyaknya kandungan silika dan kalsium yang berasal dari bahan baku *clinker* dengan penambahan *gypsum*, batu kapur dan *pozzolan* seperti diketahui bahwa *pozzolan* banyak mengandung silika dan aluminium serta kalsium sehingga pada saat bereaksi dengan *clinker* maka akan terbentuk CSH yang akan mengisi rongga dari pori-pori semen yang diakibatkan adanya reaksi *Pozzolanik* antara Ca(OH)_2 dengan SiO_2 .

Pada EDS terlihat bahwa unsur yang dominan dari bahan semen jenis PCC tanpa penambahan *basalt* adalah Ca= 40,67%,

Fe= 0,7%, Si= 12,73%, dan Al= 1,36% tetapi semua unsur ini bisa terbentuk menjadi oksida karena unsur O yang sangat tinggi = 35,58% dengan kandungan karbon C= 6,74%. Semen merupakan bahan yang bersifat hidroskopis sangat mudah menyerap air karena kandungan CaO yang dominan dalam semen antara 60-65% dan silika mendominasi dengan kandungan antara 20-22%.

Struktur semen seragam dan tidak ada yang berbentuk jarum tetapi semua didominasi bentuk meta dan tetra tidak banyak terdapat rongga pori-pori dan bentuk partikel lebih besar dibandingkan dengan semen jenis PCC tanpa penambahan *basalt*. Perubahan morfologi struktur akan lebih berkembang ke arah yang lebih besar. Hal ini disebabkan banyaknya kandungan silika dan kalsium yang berasal dari bahan baku *clinker* dan peran dari batu *basalt*, sedangkan *pozzolan* dan *gypsum* tetap ada. Ketika *basalt* dimasukkan sebagai pengganti batu kapur maka sebagian kalsium yang berasal dari batu kapur akan tergantikan silika dan alumina sehingga akan membentuk senyawa baru berupa C_3A yang akan menyelimuti kalsium dan silika. Senyawa C_3A akan memberikan dampak pada kuat tekan umur tertentu menjadi lebih kuat.

EDS memperlihatkan bahwa unsur yang dominan dari bahan semen jenis PCC dengan penambahan *basalt* sebanyak

3% pada puncak tertinggi mengalami perubahan dari Ca menjadi Si yaitu adalah Ca = 6,17%, Fe = 0,89%, Si = 18,49%, dan Al = 9,05% tetapi semua unsur ini bisa terbentuk menjadi oksida dikarenakan unsur O yang sangat tinggi = 51,49% dengan kandungan karbon yang juga cukup tinggi C = 10,37%. Ketika *basalt* ditambahkan maka *basalt* akan menggantikan peran batu kapur. *Basalt* didominasi oleh senyawa silika dan alumina sehingga silika dan alumina yang ada menggantikan kalsium yang ada pada *clinker* dan ini terlihat pada titik puncak yang terjadi.

Penambahan *basalt* 5% memperlihatkan struktur semen cukup seragam tidak ada yang berbentuk jarum tetapi semua didominasi bentuk meta dan tetra dan cukup penuh akan tetapi masih terdapat rongga pori-pori dengan bentuk partikel nampak lebih besar dibandingkan dengan semen jenis PCC dengan penambahan *basalt* 3% dengan begitu nampak perubahan pada morfologi struktur akan menjadi lebih berkembang dan membesar, hal ini disebabkan banyaknya kandungan silika dan kalsium yang berasal dari bahan baku *clinker* dan peran dari batu kapur digantikan oleh *basalt*, sedangkan *pozzolan* dan *gypsum* masih tetap ada akan tetapi akibatnya dari penyelimutan dan saling terikatnya satu sama lain maka akan terjadi pembesaran rongga dan tampak terlihat struktur

membesar bila dibandingkan dengan semen jenis *PCC* dengan penambahan *basalt* sebanyak 3%. Ketika *basalt* dimasukan sebagai pengganti batu kapur maka sebagian kalsium yang berasal dari batu kapur akan tergantikan silika dan alumina yang berasal dari *basalt* sehingga akan membentuk senyawa baru berupa C3A yang akan menyelimuti calsium dan silika, dan senyawa C4AF juga terbentuk pada semen ini sedangkan senyawa C4AF tidak memberikan dampak ketahanan pada kuat tekan yang tinggi hanya memberikan dampak pada perubahan warna semen menjadi lebih hitam.

Unsur silika merupakan senyawa yang berperan sebagai zat pengikat untuk pengingkatan kualitas semen. Menurut SNI S-04-1989-F (DPU: 1989) penambahan mineral *pozzolan* banyak mengandung silika yang masuk pada campuran semen PCC, merupakan salah satu cara meningkatkan mutu semen, yang berarti juga meningkatkan mutu beton yang dihasilkan. Adapun persyaratan kimia *pozzolan* yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan semen PCC sesuai dengan standart SK SNI S-04-1989-F dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1. Persyaratan kimia *pozzolan*

No	Senyawa	Kadar (%)
1	Jumlah oksida SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	70
2	SiO ₂ Maksimum	5
3	Hilang pijar maksimum	6
4	Kadar air maksimum	3

5	Total alkali dihitung sebagai Na ₂ O maksimum	1,5
---	--	-----

Uji SEM menunjukkan bahwa kandungan silika pada kadar *basalt* 5% terjadi penurunan jumlah kadar silika di dalam semen sehingga tidak dilakukan uji pada semua level kadar *basalt* masing-masing benda uji.

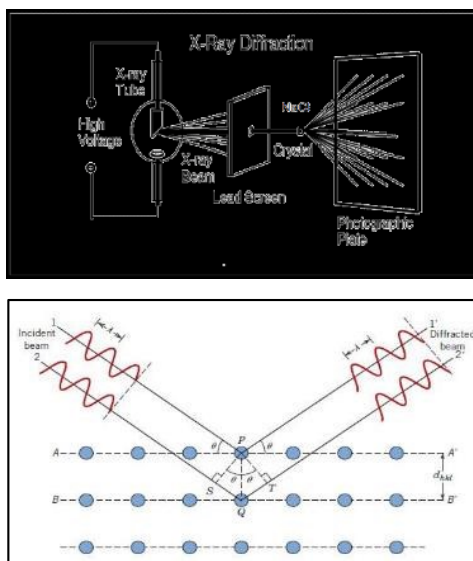
Dari EDS terlihat bahwa unsur yang dominan dari bahan semen jenis PCC dengan penambahan *basalt* 3% didominasi unsur Si sedangkan penambahan *basalt* 5% didominasi unsur Ca dengan kandungan Ca= 55,24%, Fe= 15,30%, Si= 2,92%, dan Al= 2,75% namun semua unsur ini bisa terbentuk menjadi oksida dikarenakan unsur O yang sangat tinggi = 11,34% dengan kandungan karbon C= 10,47%. Dalam hal ini penambahan *basalt* yang berjumlah 5% tidak memberikan dampak peningkatan kekuatan tekan dan hanya perubahan warna pada semen menjadi lebih hitam akibat pembentukan C₄AF yang didominasi oleh unsur Fe.

7. Karakteristik Alat XRD (*X-Ray Diffractometer*)

Karakterisasi semen jenis PCC menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffractometer*) semen dapat dilihat pada gambar pengujian di bawah ini:



Gambar 19. Alat uji *X-Ray Diffraction* (XRD)



Gambar 20. Ilustrasi difraksi sinar XRD

Karakterisasi menggunakan alat XRD diperlukan dalam analisis data dengan maksud untuk melihat struktur yang

terbentuk di dalam semen jenis PCC dengan menggunakan bahan baku penambahan *basalt* dan dibandingkan dengan hasil SEM. Dalam pelaksanaan karakterisasi menggunakan alat XRD contoh uji disiapkan dalam bentuk serbuk halus minimum lolos 100 *mesh* sama dengan saat pelaksanaan uji SEM.

Karakteristik teknis yang akan dilihat pada semen jenis PCC dengan menggunakan XRD dan SEM yang berkaitan dengan pengujian komponen utama dilakukan di Laboratorium Material Puslitbang Fisika-LIPI Serpong.

Pola difraksi *basalt* yang terbentuk memperlihatkan komponen utama dari *basalt* pada garis spektrum dan sudut difraksi tertentu menunjukkan unsur didominasi oleh Ca, Si, Fe, dan Al sama dengan karakterisasi pada alat uji SEM.

Difraksi semen PCC tanpa penambahan *basalt* pada garis spektrum dan sudut difraksi tertentu didominasi oleh Ca, Si, Al, dan Fe, sama dengan karakterisasi pada alat uji SEM dengan membentuk senyawa C₃S, C₂S, C₃A, dan C₄AF. Difraksi semen PCC dengan *basalt* 3% pada garis spektrum dan sudut difraksi didominasi oleh Si, Al, Ca dan Fe hal ini sama dengan karakterisasi pada alat uji SEM. Unsur dari *basalt* mendesak senyawa K yang berasal dari *clinker*. Difraksi semen PCC dengan *basalt* 5% pada garis spektrum dan sudut difraksi

didominasi oleh Ca, Fe, Si dan Al hal ini sama karakterisasi pada alat uji SEM bahwa pengaruh penambahan *basalt* yang terlalau banyak 5% akan menghasilkan senyawa kalsium dan senyawa besi (C₄AF) lebih mendominasi sehingga mempengaruhi kuat tekan menjadi rendah dan hanya memberi efek pada perubahan warna semen menjadi lebih hitam.

8. Model Persamaan

a. Analisis statistik uji kuat tekan umur 3 Hari

$$Y = -97,1758 + 25,34941 X_3 + 13,76571 X_5$$

b. Analisis statistik uji kuat tekan umur 7 Hari

$$Y = -133,843 + 34,07118X_3 + 18,97714X_5$$

c. Analisis statistik uji kuat tekan umur 28 hari

$$Y = 23,9771429 + 27,87X_3 + 18,3657143X_5$$

d. Model statistik perubahan persentase *pozzolan* dan *basalt* terhadap kehalusan

$$Y = 5577,999 - 170,377X_3 - 166,349X_5$$

Model persamaan diatas dapat di gunakan untuk menentukan kuat tekan pada rentang penggunaan batu basalt scoria antara 0% sampai dengan 10%.

9. **Modulus Elastisitas (E_c)**

Modulus elastisitas dapat dihitung dari angka Mutu (K) dan berat mortar dengan persamaan di bawah ini:

$$w_c^{1.5}(0,043)\sqrt{f'c}$$

Kuat tekan *mortar* menurut standar SNI-03-2847-2002 untuk beton normal mempunyai nilai 17,5-40 MPa dan menurut SNI-03-2847-2002.

Selain perhitungan elastisitas *mortar*, nilai modulus elasisitas *mortar* juga di hitung menggunakan alat uji *modulus elastisitas*. Alat tersebut mampu menghitung kuat tekan dan elastisitas benda uji secara bersamaan dan menampilkan hasil uji berupa grafik kuat tekan (kgf) terhadap penampang (cm). Hasil uji pada alat ditampilkan pada sebuah monitor komputer. Pada monitor tersebut dapat dilihat secara langsung peningkatan kuat tekan dan elastisitas *mortar*. Alat uji elasisitas yang digunakan seperti gambar di bawah ini:



Gambar 21. Alat uji elastisitas beton

Seiring dengan waktu, beton akan mengalami penurunan kualitas baik kuat tekan maupun elastisitasnya. Untuk mengetahui penurunan kualitas tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan dari SNI Beton tahun 2013 berikut:

$$f_{c_t} = f_{c_{28}} \cdot \left(\frac{t}{4+0,85t} \right) \dots\dots\dots \text{Pers. 1}$$

Diaman:

f_{c_t} = Kuat tekan beton pada umur t (MPa)

$f_{c_{28}}$ = Kuat tekan beton pada umur 28 hari (MPa)

t = Waktu (Hari)

Persamaan di atas untuk menghitung prediksi kuat tekan pada umur maksimum sampai dengan 365 hari. Sehingga untuk membuat analisis prediksi penurunan kuat tekan pada umur lebih dari 365 hari maka diperlukan koefisien faktor koreksi waktu. Berdasarkan AASHTO LRFD *specifications* (Eq. [16]) faktor koreksi waktu dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$k_{td} = \frac{(t - t_i)0.6}{10 + (t - t_i)0.6}$$

Dimana:

k_{td} = Faktor koreksi waktu

t = Waktu (Hari)

t_i = 1

Menggunakan kedua persamaan di atas maka dapat diprediksipenurunan kualitas beton berdasarkan persamaan berikut:

$$f_{c_t} = f_{c_{28}} \cdot \left(\frac{t}{4 + 0,85t} \right) \cdot \frac{k_{t_{28}}}{k_{td}}$$

Dimana:

f_{c_t} = Kuat tekan beton pada umur t (MPa)

$f_{c_{28}}$ = Kuat tekan beton pada umur 28 hari (MPa)

t = Waktu (Hari)

$k_{t_{28}}$ = Faktor koreksi waktu pada umur 28 hari

k_{td} = Faktor koreksi waktu pada umur t

Kuat tekan maksimal terjadi pada umur *mortar*28 - 100 hari. Penurunan kualitas dari grafik di atas dengan mengabaikan faktor pengaruh pembebanan dan gaya yang berpengaruh terhadap *mortar*. Pada umur 20 tahun, beton masih layak dengan kuat tekan di atas K-250.

ANALISIS BIAYA PRODUKSI PENAMBANGAN

a. Batu Kapur

Batu kapur dengan metode *cross section* tahun 2010 memiliki cadangan sebesar 61.380.225 berdasarkan target produksi PT. Semen baturaja persero sebesar 1.706.250 ton/tahun maka umur tambang batu kapur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Umur\ tambang = \frac{Sisa\ cadangan\ batu\ kapur\ (ton)}{sasaran\ produksi\ (ton/tahun)}$$

$$Umur\ tambang = \frac{61.308.225}{1.706.250} = 35,9\ tahun$$

Umur tambang batu kapur PT. Semen baturaja pada tahun 2017 dapat dihitung dengan rumus berikut = *Sisa umur tambang* = 35,9 – (2017 – 2010) = 28,9 tahun.

Sehingga terhitung dari tahun 2017 dapat diketahui bahwa sisa umur tambang batu kapur PT. Semen baturaja adalah 28,9 tahun atau akan habis pada tahun 2045 (Herlina, 2011).

Berdasarkan hasil *observasi* harga batu kapur di baturaja per m³ adalah Rp102.000 dengan biaya angkut Rp4.000.000 per *Dump Truck* dengan kapasitas angkut 35 ton. Analisis data untuk pengadaan batu kapur adalah sebagai berikut:

➤ Biaya angkut per m³

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \frac{\text{Biaya Angkut}}{(\text{Kapasitas Angkut} / \text{Massa jenis batu kapur})} \\ &= \frac{4.000.000}{35 \text{ ton} / 2,387 \text{ ton/m}^3} \\ &= \frac{4.000.000}{12,57 \text{ m}^3} \\ &= 272.800/\text{m}^3 \end{aligned}$$

➤ Harga per m³

$$\begin{aligned} &= \text{Biaya angkut} + \text{harga per m}^3 \\ &= \text{Rp}272.800\text{m}^3 + \text{Rp}102.000 \\ &= \text{Rp}374.800\text{m}^3 \end{aligned}$$

b. Pozzolan

Berdasarkan hasil observasi harga *pozzolan* dari Tugu Mulyo Lampung Selatan ke PT. Semen baturaja cabang Panjang adalah Rp180/kg. Pengangkutan menggunakan Dump Truck dengan kapasitas 8 ton. Analisis harga per m³ *pozzolan* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Pembelian } \textit{pozzolan} &= \text{Rp}180/\text{kg} \times 8.000\text{kg} \\ &= \text{Rp}1.440.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah angkut (m}^3\text{)} &= \frac{\text{Kapasitas}}{\text{Massa Jenis}} \\ &= \frac{8 \text{ ton}}{2,4 \text{ ton/m}^3} \\ &= 3,33\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Biaya per } m^3 &= \frac{\text{Pembelian } \textit{pozzolan}}{\text{Jumlah}} \\
&= \frac{\text{Rp } 1.440.000}{3,33 \text{ } m^3} \\
&= \text{Rp } 432.000/m^3
\end{aligned}$$

b. Batu *Basalt Scoria*

Secara umum, faktor-faktor yang merupakan permasalahan pokok dalam menejemen biaya dan *transportation* penambangan batu *basalt* mencakup kepemilikan lahan, kepemilikan alat, pengoperasian alat dan perbaikan komponen peralatan. Menurut Dinas Pertambangan dan Energi Lampung tahun 2013 bahwa jumlah cadangan mineral *basalt* di Provinsi Lampung yang tersebar diseluruh kabupaten berjumlah 336.510.000 m³.

Lokasi sumber material batu *basalt scoria* adalah seluruh sumber cadangan yang ada di Provinsi Lampung. Jumlah total sumber mineral batu *basalt* tersebut dapat dihitung luas seluruh sumber mineral *basalt* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
L &= \frac{\textit{Volume Material Basalt}}{\textit{Ketebalan Rata – Rata Basalt}} \\
L &= \frac{336.510.000m^3}{4m} \\
L &= 84.127.500 \text{ } m^2 \approx 8.412,75 \text{ } Ha
\end{aligned}$$

Dari jumlah cadangan *basalt scoria* dan luas lahan maka dapat dilakukan perhitungan dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Perhitungan dilakukan untuk wilayah Provinsi Lampung dengan cadangan batu *basalt* 336.510.000 m³, luas sebaran 8.412,75 Ha.
2. Jenis alat berat yang digunakan untuk penambangan *excavator* PC 200 Standar sebanyak 1 unit.
3. Jenis alat angkut *dump truck* kapasitas 12 m³ *type* mitsubishi puso 220.
4. Jarak tempuh mobilisasi dari Sukadana ke Bandar Lampung 70 km dengan kecepatan rata-rata 40 km/jam.

Analisis harga satuan upah dan bahan dibuat berdasarkan harga yang berlaku di Bandar Lampung tahun 2016 dengan rincian pada tabel berikut:

Tabel 7. Biaya operasional alat

No	Uraian Biaya	Biaya Perjam
I	Excavator PC200 standar	
a	Biaya penyusutan	Rp. 32.000
b	Biaya bunga modal, pajak dan asuransi	Rp. 96.768
c	Bahan bakar	Rp. 129.600
d	Biaya pelumas dan <i>sparepart</i>	Rp. 20.950
e	Biaya upah operator dan asisten	Rp. 41.666
	TOTAL BIAYA I (1 Unit)	Rp. 498.390
II	DumptruckTypeMitsubishi FUSO 220 Ps	
a	Biaya penyusutan	Rp. 21.528
b	Biaya bunga modal, pajak dan asuransi	Rp. 35.933
c	Bahan bakar	Rp. 36.000
d	Biaya pelumas dan <i>sparepart</i>	Rp. 46.890
e	Biaya upah operator dan asisten	Rp. 33.666
	TOTAL BIAYA II	Rp. 174.017

Apabila diasumsikan menggunakan *Excavator* sebanyak 1 unit dan *Damp Truck* sebanyak 15 unit maka total biaya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Rp } 498.390 \times 1 &= \text{Rp } 498.390/\text{Jam} \\ \text{Rp } 174.017 \times 15 &= \text{Rp } 2.610.255/\text{Jam} + \\ &= \text{Rp } 3.108.645/\text{Jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan rincian biaya di atas dapat dihitung biaya produksi per meter kubik adalah sebagai berikut:

➤ Kapasitas Produksi

$$\text{Kapasitas Dump Truck} = 12 \text{ m}^3 \times 2 = 24 \text{ m}^3/\text{unit}$$

$$\text{Kapasitas / jam} = 15 \text{ Unit} \times 24 \text{ m}^3 / 8 \text{ Jam} = 45 \text{ m}^3/\text{jam}$$

➤ Biaya Produksi per m^3

$$\text{Biaya} = \frac{\text{Rp } 3.108.645}{45 \text{ m}^3} = \text{Rp } 69.081/\text{m}^3$$

➤ Analisis penurunan harga bahan pengisi semen type I jenis PCC

Tabel 8. Selih Harga

Analisis Bahan	Harga Bahan (Rp/Kg)	Kebutuhan per 100kg		Total Harga (Rp)	
		Tanpa Basalt	Dengan Basalt	Tanpa Basalt	Dengan Basalt
Batu Kapur	300	2 Kg	0	600	0
<i>Pozzolan</i>	180	12 Kg	11 Kg	2.160	1980
Batu <i>Basalt</i>	69	0	3 Kg	0	2070
Total				2.760	2.187
Selisih (Rp/100 Kg)				573	
Selisih (%/100Kg)				20,77	

Sehingga dengan penggunaan batu *basalt* dapat mengurangi biaya produksi semen *type* I jenis PCC per 100 kg sebesar Rp573 sehingga dengan produksi per hari sebesar 120 ton maka penurunan biaya produksi PT. Semen Baturaja sebesar $(120.000\text{kg}/100\text{kg}) \times \text{Rp}.573 = \text{Rp}.687.600$. Dengan demikian selisih biaya produksi semen mencapai 20,77% setiap produksi bahan pengisi semen *type* I jenis PCC.

➤ Jumlah cadangan batu *basalt scoria* Propinsi Lampung 336.510.000 m³. Sehingga dapat dihitung durasi explorasi batu *basalt* sebagai berikut:

$$\frac{336.510.000 \text{ m}^3}{45\text{m}^3 \times 8\text{Jam} \times 360 \text{ Hari}} \approx 2.596 \text{ tahun}$$

c. Perbandingan Bahan Baku

Berdasarkan hasil perhitungan analisis biaya batu kapur, *pozzolan* dan batu *basalt scoria*, dapat di buat matrik perbandingan biaya dari ketiga bahan tersebut seperti tabel di bawah ini:

Tabel 9. Matrik perbandingan harga bahan baku

Bahan Baku	Harga/m ³	Sumber/ <i>Query</i>	Tujuan
Batu kapur	374.800	Provinsi Sumatera Selatan	PT. Semen Baturaja cabang Panjang, Lampung
<i>Pozzolan</i>	432.000	Provinsi Lampung	
Batu <i>basalt Scoria</i>	69.081	Provinsi Lampung	

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (1983). *ACI Manual of Concrete Practice Part I*. Detroit: ACI.
- Al-Baijat, H. M. (2009). Comparison between Composite Beam of Limestone and Basalt Concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 3, No. 3*, 244-255.
- Amin, M., & Ulva, Z. (2015). Pengendalian Blaine (kehalusan) Semen Terhadap Kuat Tekan Pada Industri Semen di PT. Semen Baturaja (Persero) Panjang. *Jurnal Kelitbangan Vol.3 No.3*, 264-272.
- Andrade, F., Pecchio, M., Bendoraitis, D., Montanheiro, T., & Kihara, Y. (2010). Basalt mine-tailings as raw-materials for Portland clinker. *Ceramica vol.56 no.337*, 1-6.
- Ansari, P. I., & Chandak, R. (2015). Effect Of Basalt Fibre On Portland Pozzolana Cement Concrete. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development Issue 5, Vol. 3*, 63-67.
- Ardha. (2003). *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU Suralaya Untuk Castable Refractory*. Jakarta: Litbang Pengolahan Mineral.
- Ati. (2002). *High-Volume Fly Ash Concrete with High Strength and Low Drying Shrinkage*. Turki: ASCE.
- Bidar, M., Naghavi, N., Mohtasham, N., Sheik-Nezami, M., Fallahrastegar, A., Afkhami, F., . . . Nargesi, I. (2014). Mineral Trioxide Aggregate and Portland Cement for Direct Pulp Capping in Dog: A Histopathological

- Evaluation. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects Vol. 8, No. 3*, 134-140.
- ESDM. (2015). *Indonesia Mineral and Coal Information 2015*. Jakarta: Direktorat Jendral EDSM Republik Indonesia.
- Fadillah, D. A., Sustiawan, F., & Lee, H. A. (2014). Pengaruh Komposisi Nano Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Karya Teknik Sipil Vol 3 No. 4*, 1-10.
- Fediuk, R., & Yushin, A. (2015). The use of fly ash the thermal power plants in the construction. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 93 (2015) 012070*, 1-5.
- Geologinesia. (2016, Maret 19). *Pustaka Batuan*. Retrieved from <http://www.geologinesia.com>: <http://www.geologinesia.com/2016/03/batu-basal-dan-proses-pembentukannya.html>
- Hamimu, L., Hasria, & Jahidin . (2012). Karakterisasi Sifat Fisika Batu Kapur Di Desa Labaha Kecamatan Watopute Kabupaten Muna. *JURNAL APLIKASI FISIKA VOLUME 8 NOMOR 2 AGUSTUS 2012*, 70-77.
- Hardjito. (2001). *Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen*. Kupang: Sinar Harapan.
- Hasaan, M. (2001). Basalt Rock as an Alternative Raw Material in Portland Cement Manufacture. *Materials Letters. Vol. 50. Issue 2-3*, 172-178.
- Herlina, W. (2011). *Studi Perhitungan Cadangan Batu Kapur pada Quarry Pusat PT. Semen Baturaja (Persero) dengan Metode Cross Section dan Software Surpac 6.0.3*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

- Ilmugeografi. (2016, November 21). *Batu Basal : Pengertian, Proses dan Jenisnya*. Retrieved from Website Pusat Studi Geografi Indonesia: <http://ilmugeografi.com/geologi/batu-basal>
- Indah Pratama, S. W., Rauf, N., & Juarlin, E. (2015). Pembuatan dan Pengujian Kualitas Semen Portland Yang Diperkaya Silikat Abu Ampas Tebu. *Jurnal Fisika FMIPA Unhas*, 1-5.
- Kemenperin. (2016, Desember 12). *Artikel Bisnis Indonesia*. Retrieved from www.kemenperin.go.id: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/10042/industri-semen-fokus-pasardomestik/>
- Ketan R., M. G., & Kukarni, S. M. (2013). The Performance of Basalt Fibre in High Strength Concrete. *Journal of Information, Knowledge and Research in Civil Engineering Vol.2 Issu.2*, 117-124.
- King, L., Srinivasan, V., & Purushothaman, T. (2014). Basalt Fiber: An Ancient Material for Innovative and Modern Application. *Middle-East Journal of Scientific Research Vol. 22 (2)*, 308-312.
- Kishore, I. S., Mounika, L., Prasad, C. M., & Krishna, B. H. (2015). Experimental Study on the Use of Basalt Aggregate in Concrete Mixes. *SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE) – volume 2 Issue 4*, 39-42.
- Kozul, R., & Darwin, D. (1997). *Effects of Aggregate Type, Size, and Content on Concrete Strength and Fracture Energy*. Lawrence: University of Kansas Center for Research, INC.
- Kulovaná, T., Eva, V., Jaroslav, P., Siddique, J. A., & Keppert, M. (2016). Engineering properties of composite

- materials containing waste ceramic dust from advanced hollow brick production as a partial replacement of Portland cement. *SAGE Journals Vol 40 Issue 1*, 17-34.
- Laibao, L., Yunsheng, Z., Wenhua, Z., Zhiyong, L., & Lihua, Z. (2013). Investigating the influence of basalt as mineral admixture on hydration and microstructure formation mechanism of cement. *Construction and Building Materials*, 434-440.
- Lea, F. (1998). *Chemistry of Cement*. London: Arnold Publisher.
- Lestari, F. (2012). Minimisasi Limbah Pada Industri Semen Dalam Rangka Implementasi Sistem Manajemen Lingkungan Iso 14001. *Jurnal AGRIPPLUS, Volume 22 Nomor : 02*, 110-116.
- Madiadipoera, T. (1990). *Bahan Galian Industri di Indonesia*. Bandung: Direktorat Sumberdaya Mineral.
- Maryoto, A. (2008). Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, Nomor 2 Volume 10 – Juli 2008*, 103 – 114.
- Militinky, J., & Kovacic, V. (1996). Ultimate Mechanical Properties of Basalt Filaments. *Texs. Res. J. 66 (4)*, 225-229.
- Miswar, K. (2011). Kuat Tekan Beton Terhadap Lingkungan Agresif. *JURNAL PORTAL, ISSN 2085-7454, Volume 3 No. 2*, 45-51.
- Mohammed, H. M., Pusch, R., Al-Ansari, N., Knutsson, S., Jonasson, J.-E., Emborg, M., & Pourbakhtiar, A. (2013). Proportioning of Cement-Based Grout for Sealing Fractured Rock-Use of Packing Models. *Scientific Research Engineering Journal*, 765-774.

- Mufti, A., Onofrei, M., Benmokrane, B., & Banthia, N. (2007). New Canadian Highway Bridge Design Code design provisions for fibre-reinforced structures. *Revue Canadienne de Genie: Canadian Journal of Civil Engineering*, 765-774.
- Munaf, D. (1992). *Pembuatan dan Penyelidikan Perilaku Beton Mutu Tinggi serta Bahan Pembentuknya*. Bandung: Fakultas Teknik dan Perencanaan ITB.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., & Darminto. (2012). Uji XRD DAN XRF PADA BAHAN MENERAL (BATUAN DAN PASIR) SEBAGAI SUMBER MATERIAL CERDAS (CaCO₃ DAN SiO₂). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA) ISSN: 2087-9946 Vol 2 No 1, Juni 2012*, 20-29.
- Nur, R. R., Hartanti, F. D., & Sutikno, J. P. (2015). Studi Awal Desain Pabrik Semen Portland dengan Waste Paper Sludge Ash Sebagai Bahan Baku Alternatif. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 4, No. 2*, 164-168.
- Ólafsson, H., & Þórhallsson, E. (2009). *Basalt Biber Bar, Reinforcement of Concrete Structures*. Bratislava: Reykjavik University.
- Olawuyi, B., & K. O., O. (2010). Compressive Strength of Volcanic Ash/Ordinary Portland Cement Laterized Concrete. *Civil Engineering Dimension, Vol. 12, No. 1*, 23-28.
- Purba, W. (2014). Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Portland Composite Cement (PCC) Dan Portland Cemen Type I (PC 1). *JURNAL TEKNOLOGI Fakultas Teknologi Industri, Volume 4, No. 2*, 47-55.
- Reiterman, P., Hollapek, O., Jogl, M., & Konvalinka, P. (2015). Physical and Mechanical Properties of Composites

Made with Aluminous Cement and Basalt Fibers
Developed for High Temperature Application.
*Advances in Materials Science and Engineering Volume
2015*, 1-10.

Ronald, L., Charles, F., & Michael, E. (1976). *Proportioning and Controlling High Strength Concrete*. Detroit: American Concrete Institute.

Saravanan, D. (2006). Spinning the Rocks-Basalt Fibres. *India Journal of the Institution of Engineers: Textile Engineering Di-vision*. 86, 39-45.

Saraya, M. E.-S. (2011). Study the Pozzolanic Activity of Fresh Basalt. *Journal of Materials Science and Engineering A 1*, 790-800.

Saraya, M. E.-S. (2014). Study physico-chemical properties of blended cements containing fixed amount of silica fume, blast furnace slag, basalt and limestone, a comparative study. *Construction and Building Materials 72*, 104–112.

Sebayang, S. (2002). Pengaruh Kadar Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan Beton Alir Mutu Tinggi. *Jurnal Penelitian Rekayasa Sipil dan Perencanaan Universitas Lampung*, 50-62.

Shrivastav, P. K., & Tare, K. (2015). Basalt Fibre Reinforced Concrete an Alternative to the Synthetic Fiber Reinforced Concrete. *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development Vol. 3, Issue 01*, 316-319.

Sim, J., Park, C., & Moon, D. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*. 36(6-7), 504-512.

- SNI. (2002). *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suarnita, I. W. (2011). Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli. *Jurnal SMARTek, Vol. 9 No. 1*, 1-10.
- Sugiharto, H., & Kusuma, G. H. (2001). Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete pada Self Compacting Concrete. *Dimensi Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, ISSN 1410-9530*, 30-35.
- Suhud, R. (1993). *Beton Mutu Tinggi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Susilorini, M. R., & Santosa, B. (2011). *Pemanfaatan material lokal untuk teknologi beton ramah lingkungan yang berkelanjutan*. Jakarta: Perpustakaan Nasional RI.
- Syafpoetri, N. A., Monita, O., & Lita, D. (2013). Pemanfaatan Abu Kulit Kerang (Anadara Grandis) Untuk Pembuatan Ekosemen. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Riau*, 1-14.
- Tekmira. (2016, Mart 14). *Informasi Mineral dan Batu Bara*. Retrieved from www.tekmira.esdm.go.id: http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Timah/ulasan.asp?xdir=Timah&commId=31&comm=Timah
- Tekmira. (2017, 8 3). *Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara*. Diambil kembali dari www.tekmira.esdm.go.id: http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Gypsum/ulasan.asp?xdir=Gypsum&commId=15&comm=Gypsum
- Uncik, S., & Kmencova, V. (2013). Elseiver. *Conference concrete and concrete structur* (pp. 51-56). Chicago: Procedia Engineering.

- Usman, H., & Akbar, R. S. (2000). *Pengantar Statistika*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Veronika, K., & Zuzana, Š. (2014). Effect of Basalt Powder on Workability and Initial Strength of Cement Mortar. *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*, 260-267.
- Widjoko, L. (2010). Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL Volume 1 No. 1, Oktober 2010*, 52-59.
- Widjoko, L., & Rajiman. (2011). Kinerja Mortar Abu Batu Basalt Scoria dengan Menggunakan Semen Serbaguna Baturaja dan Superplasticiser Structuro 335. *Jurnal Teknik Sipil UBL Vol. 2 No. 1*, 79-87.
- Yamamoto. (2006). *Fly Ash As A Cemen Mixture*. Tokyo, Jepang: CREPE, Public Communications Group.