

# Studi Awal Desain Pabrik Semen *Portland* dengan *Waste Paper Sludge Ash* Sebagai Bahan Baku Alternatif

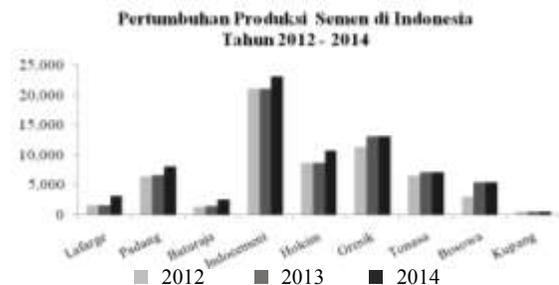
Rasdiana Rahma Nur, Firda Dwi Hartanti, dan Juwari Purwo Sutikno  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: joecheits@yahoo.com

**Abstrak**—Saat ini, perkembangan infrastruktur nasional diperlukan material penunjang yaitu semen (*Portland Cement*). Industri semen di Indonesia telah mengalami perkembangan yang pesat dalam produksi semen dan penggunaan batu kapur sebagai bahan baku pembuatan semen juga semakin meningkat. Saat ini sudah banyak dilakukan eksplorasi dan eksploitasi gunung kapur. Konsumsi batu kapur meningkat dari tahun 2012 ke tahun 2013. Dari rincian tersebut, penggunaan batu kapur untuk produksi semen merupakan penggunaan yang terbanyak hingga 87,4% dari konsumsi total. Oleh karena itu, saat ini banyak penelitian dilakukan untuk mencari bahan baku alternatif agar produksi semen tetap berjalan dengan baik. Salah satu penelitian menggunakan *waste paper sludge ash* yang memiliki *chemical components* yang sama dengan komposisi yang diperlukan dalam pembuatan semen. Secara garis besar, desain proses pembuatan semen *Portland* menggunakan bahan baku alternatif *waste paper sludge ash* dibagi ke dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah persiapan bahan baku terdiri atas penambangan dan proses penghancuran (*crushing*). Tahap kedua adalah pembakaran bahan baku dan klinkerisasi di dalam *suspension preheater* dan *rotary kiln*, dilanjutkan pendinginan di dalam *cooler*. Proses terakhir yaitu proses akhir (*finishing*) dengan menambahkan zat aditif ke dalam klinker untuk membentuk produk semen *Portland*. Operasi pabrik direncanakan kontinyu 24 jam/hari selama 300 hari dalam setahun. Untuk memproduksi semen 2.000.000 ton/tahun diperlukan bahan baku sebanyak 2.074.971,46 ton/tahun. Pabrik direncanakan berumur 10 tahun dengan *pay out time* sebesar 3,6 tahun dan *internal rate of return* sebesar 33,7% dan *interest* 11% sehingga dari segi teknis dan ekonomi, pabrik ini layak untuk didirikan.

**Kata Kunci**—Semen *Portland*, *Waste paper sludge ash*, alternatif, klinkerisasi

## I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi infrastruktur memegang peranan penting dalam pembangunan nasional. Untuk terus melakukan perkembangan pembangunan nasional, diperlukan material penunjang yaitu semen (*Portland Cement*). Untuk konstruksi bangunan, semen adalah bahan yang digunakan untuk mengikat bahan seperti batu, pasir, batu bata, dan sebagainya. Saat ini industri semen di Indonesia telah mengalami perkembangan yang pesat dalam produksi semen.



Gambar 1. Grafik produksi semen di Indonesia (Asosiasi Semen Indonesia)

Meningkatnya pertumbuhan semen hingga saat ini masih dipengaruhi oleh tingginya pembangunan yang dilakukan oleh sektor swasta dan tingginya kebutuhan perumahan bagi masyarakat. Selain itu dengan semakin gencarnya Pemerintah dalam menjalankan beberapa proyek dalam program MP3EI telah mempengaruhi permintaan semen di dalam negeri [1].

Dengan peningkatan produksi semen nasional dari tahun ke tahun, penggunaan batu kapur sebagai bahan baku pembuatan semen juga semakin meningkat. Indonesia memiliki potensi gunung kapur yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Akan tetapi, saat ini sudah banyak dilakukan eksplorasi dan eksploitasi gunung kapur. Seperti yang diperlihatkan pada tabel 1 berikut tentang penggunaan batu kapur di Indonesia[2].

Tabel 1.  
Statistik Penggunaan Batu Kapur di Indonesia (2012 – 2013)  
(Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batu Bara)

	2012	2013
<b>Produksi (ton)</b>	45.101.040,14	53.745.686,43
<b>Konsumsi (ton)</b>	4.869.821,14	5.777.408,53
<b>Ekspor (ton)</b>	1.274.590,00	1.528.852,80
<b>Impor (ton)</b>	41.505.809,00	49.497.130,70

Konsumsi batu kapur meningkat dari tahun 2012 ke tahun 2013. Batu kapur sebagai konsumsi nasional banyak digunakan untuk produksi semen dan kapur, produksi ornamen, produksi barang gelas, dan sebagainya. Dari rincian tersebut, penggunaan batu kapur untuk produksi semen merupakan penggunaan yang terbanyak hingga 87,4% dari konsumsi total yaitu sebesar 5.047.263,31 ton. Oleh karena itu, saat ini banyak bermunculan penelitian-penelitian yang

bertujuan untuk mencari bahan baku alternatif agar produksi semen di masa mendatang tetap berjalan dengan baik [3].

Penelitian terhadap bahan baku alternatif pembuatan semen sudah banyak dilakukan baik itu dari sampah maupun dari limbah industri lainnya. Salah satu limbah industri yaitu *paper sludge ash* yang dihasilkan dari industri *pulp* dan kertas. *Paper sludge ash* yang adalah hasil dari lumpur yang mengendap dalam sistem instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang kemudian dilewatkan ke dalam *belt press* dan dibakar sehingga menghasilkan *ash*. Sampai saat ini *paper sludge ash* belum dimanfaatkan secara optimal sehingga menjadi masalah bagi industri *pulp* dan kertas.

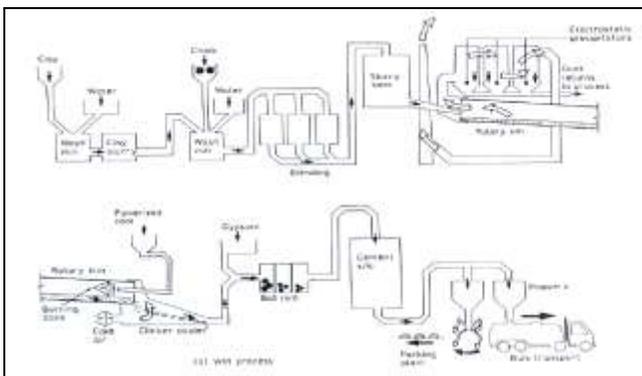
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### II.1. Tipe-tipe Proses Pembuatan Semen

Ditinjau dari kadar air umpan, maka teknologi pembuatan semen dibagi menjadi dua macam, yaitu:

#### a. Proses Basar (*Wet Process*)

Proses basah diawali dengan pengecilan ukuran bahan baku (*raw material*) menggunakan *crusher*. Setelah digiling, setiap jenis bahan baku disimpan di tempat yang terpisah. Proses penggilingan disertai penambahan air ke *wash mill*, sehingga campuran bahan baku yang dihasilkan berupa *slurry* yang mengandung air 25-40 %.



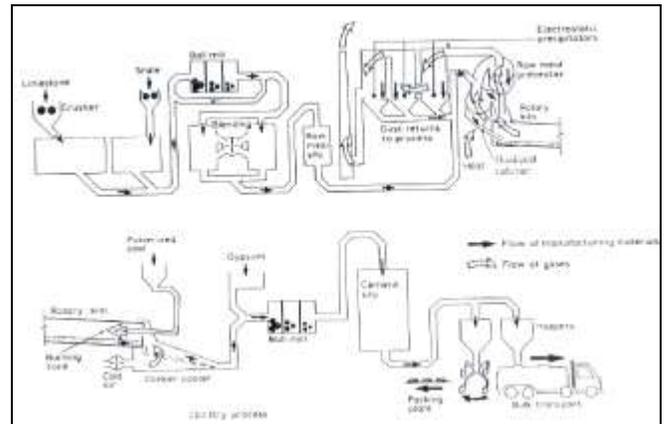
Gambar 2. Diagram proses pembuatan semen dengan proses basah

*Slurry* diaduk sehingga menghasilkan campuran yang homogen. *Slurry* yang telah homogen umumnya dibakar menggunakan *long rotary kiln* untuk menghasilkan *clinker* lalu didinginkan di dalam *cooler*. Bahan tambahan yang diperlukan untuk membuat *clinker* menjadi semen *Portland* adalah *gypsum* yang telah digiling. *Clinker* dan *gypsum* digiling menggunakan *ball mill*, sehingga dihasilkan semen dalam bentuk bubuk dan siap dikemas [4].

#### b. Proses Kering (*Dry Process*)

Proses penyiapan *raw materials* pada proses kering sama dengan proses basah. Proses pencampuran dilakukan pada kondisi kering atau tanpa penambahan air, pada tahap pencampuran inilah yang membedakan proses kering dengan

proses basah. Proses Kering dimulai dengan penghancuran bahan baku dan dimasukkan ke dalam alat *grinding mill* dengan proporsi yang benar, bahan baku tersebut dikeringkan dan diperkecil ukurannya menjadi bubuk yang halus.



Gambar 3. Diagram proses pembuatan semen dengan proses kering

Campuran *meal* diayak dan dimasukkan ke piring berputar yang disebut sebagai *granulator*. Pada keadaan ini, butiran keras yang berdiameter sekitar 15mm terbentuk. Butiran tersebut di' masak' di *pre-heating* dengan mengalirkan gas panas dari *kiln*. Butiran kemudian masuk ke kiln dan membentuk *clinker*, untuk operasi selanjutnya sama dengan proses pada proses basah [4].

### II.2. Seleksi Proses

Untuk produksi semen *Portland* ini, dipilih proses kering (*dry process*). Pemilihan proses kering didasarkan pada beberapa aspek jika dibandingkan dengan proses basah. Dari aspek ukuran *kiln* yang digunakan, proses kering menggunakan *kiln* yang lebih kecil dan lebih pendek dibandingkan dengan proses basah. Proses kecil membutuhkan energi bahan bakar yang lebih sedikit sehingga dari aspek ekonomi, proses kering lebih ekonomis.

## III. URAIAN PROSES

### III.1. Kapasitas dan Waktu Produksi

Pabrik direncanakan memproduksi semen *Portland* dengan kapasitas 2.000.000 ton/tahun atau (277.777,8 kg/jam). Operasi pabrik dilakukan secara kontinyu, 24 jam/hari, selama 300 hari dalam setahun.

### III.2. Spesifikasi Bahan Baku

Bahan baku utama dalam pembuatan semen *Portland* adalah batu kapur (*limestone*), tanah liat (*clay*), *copper slag*, pasir silica, dan *waste paper sludge age* (WPSA) sebagai bahan alternatif. Spesifikasi bahan baku dapat dilihat pada tabel 2.

Batu kapur yang dipilih adalah batu kapur *high grade* dengan kandungan  $\text{CaCO}_3$  dalam batuan tergolong tinggi yaitu antara 97 – 99% [5]. Sedangkan tanah liat yang digunakan memiliki komponen terbesar  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Umumnya, tanah liat memiliki senyawa alumina silika dengan kadar  $\text{H}_2\text{O}$

Tabel 2.  
Komposisi Kimia pada Batu Kapur dan WPSA

No	Komponen	Limestone	WPSA	Clay	CS	Silika
		% Massa				
1.	CaCO <sub>3</sub>	97	43,51			
2.	MgCO <sub>3</sub>	0,3				
3.	SiO <sub>2</sub>	0,08	25,70	65	32,6	85
4.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,87	5	56,1	10
5.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	18,86	17	5	1
6.	H <sub>2</sub> O	2,52		12	4,3	3
7.	CaO				2	1
8.	MgO		5,15	1		
9.	SO <sub>3</sub>		1,05			
10.	K <sub>2</sub> O		1,31			
11.	Na <sub>2</sub> O		1,56			
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

maksimal 25% dan kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> minimal 14% [6]. Batu kapur dan tanah liat direncanakan dipasok dari Tuban, Jawa Timur.

*Copper slag* (CS) digunakan sebagai penghantar panas dalam pembentukan luluhan terak (klinker) semen. *Copper slag* diperoleh dari limbah pabrik peleburan tembaga, PT. SMELTHING Co, Gresik. Kandungan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sekitar 52-64%. Sedangkan pasir silika mempunyai kandungan SiO<sub>2</sub> yang tinggi yaitu sekitar 80-90%. Pasir silika ditambahkan ketika pada proses pembuatan semen kadar SiO<sub>2</sub>nya masih belum memenuhi standar proses.

*Waste paper sludge ash* (WPSA) yang digunakan mengandung silika dan alumina (dalam bentuk metakaolin), serta kapur (CaO) yang berkontribusi secara kimia sebagai bahan pembuat semen *Portland*. WPSA memiliki komponen CaO sebagai komponen terbanyak yaitu sekitar 43,51% dan SiO<sub>2</sub> 25,7% [6].

Dalam penelitian ini, bahan baku utama batu kapur (*limestone*) *high grade* yang digunakan dan bahan baku alternatif WPSA memiliki komponen seperti pada tabel 2 [8].

### III.3. Spesifikasi Produk

Produk yang direncanakan adalah semen *Portland* jenis OPC (*Portland Cement* Tipe I). Produk diinginkan sesuai dengan target spesifikasi yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-2004 dengan rincian sebagai berikut:

Uraian	OPC
SiO <sub>2</sub> , % minimum	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % maksimum	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % maksimum	-
MgO, % maksimum	5,0
SO <sub>3</sub> , % maksimum	
• Jika C <sub>3</sub> A ≤ 8,0%	3,0
• Jika C <sub>3</sub> A > 8,0%	3,5

### III.4. Persiapan Bahan Baku

Pada tahap proses persiapan bahan baku dibagi menjadi dua bagian yaitu proses penambangan dan proses pengeringan dan

penggilingan.

Untuk proses penambangan, awalnya dilakukan pembersihan lahan dengan cara memabat dan mengupas lapisan permukaan tanah yang dapat mengganggu proses penambangan. Selanjutnya dilakukan pengeboran (*drilling*). Pengeboran dilakukan untuk membuat lubang pada batu kapur sebagai tempat meletakkan bahan peledak. Jarak dan kedalaman lubang pengeboran disesuaikan dengan kondisi batuan dan lokasi penambangan. Setelah dilakukan pengeboran, kemudian dilakukan tahanan peledakan (*blasting*).

Selanjutnya, batu kapur dan tanah liat dimasukkan ke dalam *hopper*. Batu kapur dan tanah liat yang telah dimasukkan ke dalam *hopper* kemudian dihancurkan. Untuk batu kapur menggunakan *hammer crusher* dimana dilakukan pengecilan ukuran batu kapur dari tambang hingga diameter 90 mm. Sedangkan tanah liat akan dipotong menjadi lebih kecil dengan *clay cutter*.

Batu kapur dan tanah liat yang telah diperkecil ukurannya lalu diangkut menuju *secondary crusher* dimana kedua bahan ini akan dicampur dan ditampung ke dalam *limestone-clay mix bin*. Begitu juga dengan bahan baku lainnya seperti *copper slag*, pasir silika, dan *waste paper sludge ash* akan dimasukkan ke dalam *bin* masing-masing sebelum menuju ke area *raw mill* [9].

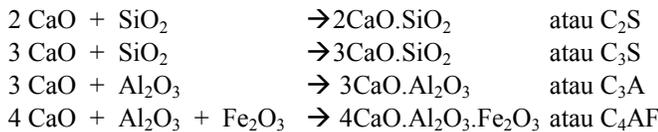
Keempat *bin* (*limestone-clay mix*, *copper slag*, pasir silika, dan *waste paper sludge ash*) dengan komposisi tertentu diumpangkan ke dalam *raw mill*. *Raw mill* yang dipakai adalah bentuk *vertical roller mill*. Di dalam *raw mill* bahan baku tersebut mengalami penggilingan dan pencampuran serta pengeringan sehingga diperoleh produk *raw mill* dengan kehalusan ayakan 90 mikron dan kandungan air kurang dari 1%. Dari *raw mill*, tepung baku dimasukkan kedalam *blending silo*. Fungsi dari *blending silo* adalah untuk menghomogenkan produk *raw mill* agar komposisi kimia dari produk tersebut selalu tetap sehingga siap untuk diumpangkan ke *rotary kiln*.

### III.5. Pembakaran dan Pendinginan

Material yang keluar dari *blending silo* akan dimasukkan ke dalam *suspension preheater* dimana dilakukan pemanasan awal dan proses kalsinasi awal sebelum masuk ke dalam *rotary kiln*. *Suspension preheater* terdiri dari *cyclone* untuk memisahkan bahan baku dari gas pembawanya. *Suspension preheater* ditambahkan kalsiner untuk proses kalsinasi. Proses kalsinasi dilakukan dalam kondisi operasi 900°C. Reaksi kalsinasi CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> sebagai berikut:



Proses kalsinasi dalam *suspension preheater* tidak terjadi dalam konversi sempurna sehingga masih ada sisa CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> yang belum ikut tereaksi. Setelah keluar dari *suspension preheater*, kemudian material masuk ke dalam *rotary kiln* sebagai umpan *rotary kiln*. Di dalam *rotary kiln* dilakukan proses kalsinasi lanjutan dan proses klinkerisasi. Kondisi operasi yang dipakai dalam *rotary kiln* memiliki suhu 1450°C [10]. Reaksi klinkerisasi pada temperatur 1100-1450°C sebagai berikut:



Setelah dilakukan pembakaran material di dalam *rotary kiln* maka proses selanjutnya adalah pendinginan yang mendadak menggunakan udara luar yang dihembuskan melalui *fan* melalui bawah *cooler*. Material panas yang jatuh dari dalam kiln akan diterima oleh *grate plate* yang tertata pada permukaan *cooler*, dengan ditiup udara dari bawahnya (diairasi) sambil *grate plate* digerakkan maju mundur yang dikontrol secara otomatis untuk membawa terak (klinker) menuju *clinker silo*.

### III.6. Proses Akhir (Finishing)

Setelah klinker didinginkan, kemudian ditambahkan *gypsum* dengan perbandingan 90% : 10% dan dilanjutkan dengan penggilingan akhir sampai kehalusan tertentu. Semen dari produk *finish mill* kemudian diangkut oleh *air slide* masuk ke semen *cillo*. Dari *cillo* penyimpanan, semen dilewatkan ke *vibrating screen* untuk memisahkan semen dari kotoran pengganggu seperti logam, kertas, plastik atau bahan lain yang terikut dalam semen. Setelah bersih semen masuk kedalam *bin* semen. Untuk semen curah langsung dibawa ke *bin* semen curah dan selanjutnya diangkut oleh truk untuk didistribusikan ke konsumen. Sedangkan untuk semen kantong, semen dibawa ke *bin roto packer* untuk dilakukan pengisian dan pengantongan semen.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1. Produksi

Dari hasil perhitungan, semen *Portland* dengan kapasitas sebanyak 2.000.000 ton/tahun (277.777,8 kg/jam) diproduksi dengan memperoleh spesifikasi komponen kimia seperti pada tabel 4.

Tabel 4.  
Spesifikasi Produk Semen *Portland*

Komponen	Produk (kg)
C <sub>2</sub> S	120.079,14
C <sub>3</sub> S	42.905,09
C <sub>3</sub> A	45.596,59
C <sub>4</sub> AF	33.046,72
MgO	5.401,38
K <sub>2</sub> O	27.777,78
Na <sub>2</sub> O	1.265,97
TiO <sub>2</sub>	1.493,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	197,18
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	14,61
<b>Total</b>	<b>277.777,8</b>

Untuk menghasilkan produk dengan kapasitas di atas diperlukan bahan baku *limestone* 205,7 ton/jam; *clay* 15,77 ton/jam; *copper slag* 13,72 ton/jam; pasir silika 13,72 ton/jam; dan WPSA 93,9 ton/jam.

### IV.2. Ekonomi

Setelah didapat hasil produksi, maka bisa dilakukan analisa ekonomi sebagai berikut:

Tabel 5.  
Hasil Perhitungan Analisa Ekonomi

Keterangan	Unit	Jumlah
<i>Total investment cost</i>	Rp	905.004.485.583
<i>Interest</i>	% per thn	11
IRR	%	33,7
POT	tahun	3,6
BEP	%	48,9
Harga bahan baku	Rp/tahun	754.732.416.960
Harga jual produk	Rp/tahun	2.400.000.000.000
<i>Project life</i>	tahun	15
Waktu konstruksi	tahun	2
Operasi pertahun	hari/tahun	300

## V. KESIMPULAN

Dari hasil yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa studi awal perencanaan operasi pabrik dilakukan secara kontinyu selama 24 jam/hari, dengan total 300 hari dalam setahun. Kapasitas produksi pabrik semen *Portland* sebesar 2.000.000 ton/tahun dengan bahan baku sebanyak 2.074.971,46 ton/tahun. *Lifetime* pabrik yang dioperasikan selama 15 tahun dengan masa konstruksi dua tahun dengan rincian analisa ekonomi sebagai berikut:

- *Total capital investment* : Rp 905.004.485.583
- IRR : 33,7%
- *Payback Periode* : 3,6 tahun
- *Break Even Point* : 48,9%

Dari hasil analisa ekonomi tersebut di atas, terlihat bahwa IRR sebesar 21,8% berada di atas bunga pinjaman 11%. Selain itu, terlihat bahwa fluktuasi bahan baku tidak mempengaruhi signifikan terhadap kenaikan atau penurunan nilai IRR pabrik sehingga pabrik semen *Portland* layak untuk didirikan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Orang tua beserta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa kepada kami; Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember; Setiyo Gunawan, ST., Ph.D selaku sekretaris Jurusan Teknik Kimia; Juwari Purwo Sutikno, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan arahan yang sudah diberikan ; Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D., Prof. Dr. Ir. M. Rachimoallah, Dip.Est., dan Fadlilatul Taufany, S.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran guna untuk perbaikan tugas pra desain pabrik ini; Bapak dan Ibu Dosen pengajar dan seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri –ITS; Teman-teman Perdalpro’s Crew

2014-2015; dan berbagai pihak lainnya yang telah memberikan bantuan dalam pembuatan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asosiasi Semen Indonesia, Administrator. (2014, November 28). "Kebutuhan Semen Domestik". Available: <http://www.asi.or.id>.
- [2] Haryadi, Harta. (2010, October 20). "Perkembangan dan Prospek Bahan Galian Industri". Available: <http://www.tekmira.esdm.go.id>.
- [3] Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batu Bara, Administrator. (2014, November 29). "Statistika Penggunaan Batu Kapur di Indonesia". Available: <http://www.litbang.esdm.go.id>.
- [4] Salah, Dr Basil. (2010, January 11). "Concrete Technology". Available: <http://www.uotechnology.edu.iq/>.
- [5] CCI, Tim. "Studi tentang Prospek Industri Semen di Indonesia". Jakarta: PT. Citra Cendekia Indonesia. (2013).
- [6] Hewlett, Peter C. "Lea's Chemistry of Cement and Concrete". New York: Elsevier Science & Technology Books. (2004).
- [7] Dunster, Dr Andrew M. "Paper Sludge and Paper Sludge Ash in Portland Cement Manufacture". Leeds: University of Leeds. (2007).
- [8] Sani, Mohd Syahrul Hisyam, Fadhluhartini bt Muftah, Marzuki Ab Rahman. "Properties of Waste Paper Sludge Ash (WPSA) as Cement Replacement in Mortar to Support Green Technology Material". Pahang: Universiti Teknologi MARA Pahang. (2011).
- [9] Perry, Robert H. "Perry's Chemical Engineer's Handbook 8<sup>th</sup> edition". Singapore: McGraw Hill Book Co. (2008).
- [10] Peray, Kurt. "Cement Manufacturer's Handbook". New York: Chemical Publishing Co., Inc. (1979).