

PENGARUH SUBSTITUSI SEMEN DENGAN BUBUK *DRY SLUDGE* DARI PROSES *SPINNING* PEMBUATAN TIANG BETON PADA KEKUATAN TEKAN MORTAR

David Prayogo¹, Hansen Christian², Gogot Setyo Budi³, Pamuda Pudjisuryadi⁴

ABSTRAK : Semen diproduksi dengan menggunakan bahan yang tidak tercantikan, serta proses pengolahannya menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, sehingga diperlukan alternatif dalam mengurangi dampak tersebut. Di sisi lain keberadaan limbah produksi *spun pile* kurang dimanfaatkan. Limbah ini mengandung kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang apabila dipanaskan dengan suhu 100°C - 400°C akan menghasilkan kalsium oksida (CaO). Pada penelitian ini telah dipelajari pengaruh substitusi semen dengan bubuk *dry sludge* yang sudah dipanaskan pada suhu 100°C dan 400°C terhadap kekuatan tekan mortar. Penelitian dilakukan substitusi semen dengan bubuk *dry sludge* sebesar 10%, 20%, dan 30%. *Dry sludge* diayak masing-masing menggunakan ayakan No #200 dan #16 ASTM. *Superplasticizer* ditambahkan sehingga semua sampel mempunyai *workability* yang relatif sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian semen dengan bubuk *dry sludge* menurunkan kekuatan tekan mortar. Disamping itu, *sludge* pemanasan suhu 400°C dan maksimum butiran #200 memiliki *flow* yang rendah serta membutuhkan lebih banyak air dibandingkan *sludge* pemanasan suhu 100°C dan maksimum butiran #16.

KATA KUNCI: bubuk *dry sludge*, mortar, kuat tekan

1. PENDAHULUAN

Inovasi material beton dibutuhkan karena sumber daya alam semakin berkurang dan tidak terbaru. Produksi semen dan beton dapat menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) yang dapat meningkatkan pemanasan global. Salah satu alternatif mengurangi produksi gas CO_2 yaitu memanfaatkan material limbah. Salah satu limbah endapan dari produksi *spun pile* (*sludge*) dapat diberdayakan, mengetahui limbah tersebut memiliki kandungan yang relatif sama dengan semen yang kemungkinan bisa dimanfaatkan sebagai campuran beton. *Sludge* sendiri terdapat kandungan senyawa kimia kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang jika dibakar pada suhu 100 - 400°C akan terurai menjadi kalsium oksida (CaO) (Tsimas dan Zervaki, 2010). CaO juga merupakan salah satu kandungan terbesar dari semen portland.

Penelitian penggunaan bubuk *dry sludge* dari air cucian truk *mixer* dan *concrete plant* sebagai pengganti semen sudah pernah dilakukan dan meneliti bahwa CaO bisa digunakan dalam campuran beton (Tsimas dan Zervaki, 2010) dan (Chatveera dan Lertwattanaruk, 2009). Penelitian yang lain dalam penambahan CaO untuk mortar bisa menurunkan kekuatan tekan mortar (Darmawan et al, 2008). Pada penelitian ini dikembangkan pengaruh substitusi bubuk *dry sludge* terhadap semen dengan memanfaatkan variabel suhu pembakaran dan juga gradasi maksimum butiran *sludge*. Pemanfaatan kembali endapan limbah produksi *spun pile* dapat mengurangi pemborosan kuantitas semen, serta dapat meningkatkan pembuatan beton yang berkelanjutan dan peduli terhadap lingkungan.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415006@john.petra.ac.id.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415007@john.petra.ac.id.

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, gogot@petra.ac.id.

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, pamuda@petra.ac.id.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu pemanfaatan material sisa/ limbah yakni dengan memanfaatkan kembali limbah endapan *slosh* dari pembuatan *spun pile* (*sludge*). Penelitian tentang pemanfaatan *slosh* dari *ready-mix concrete plant* pernah dilakukan oleh Chatveera dan Lertwattanaruk (2009). *Sludge* hasil endapan air *slosh ready-mix* yang dipanaskan dalam suhu $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ diketahui memiliki komposisi kimia yang relatif sama dengan semen portland jenis 1. Penguji komposisi kimia *sludge* dari air *slosh* hasil cucian drum truk *mixer* pernah dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar kandungan bubuk *dry sludge* terdiri dari CaO (Tsimas dan Zervaki, 2010).

Limbah dari endapan *sludge* dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen seperti penelitian yang sudah pernah dilakukan. Bubuk *dry sludge* hasil pembakaran 400°C menghasilkan kandungan CaO 42,3% (Tsimas dan Zervaki, 2010). Hasil ini menunjukkan bahwa bubuk *dry sludge* berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti CaO yang terdapat pada semen.

Berangkat dari penelitian bubuk *dry sludge* sebagai pengganti semen, dilakukan penelitian tentang penambahan bubuk CaO sebagai filler terhadap campuran mortar dengan konsentrasi sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12%. Hasilnya terjadi penurunan kekuatan tekan pada mortar beton seiring dengan penambahan kalsium oksida (CaO). Pada umur 28 hari kekuatan tekan campuran dengan substitusi 2% bubuk CaO sebesar 28,24 Mpa dan untuk kontrol (tanpa substitusi) 32,55 Mpa (Darmawan et al, 2008). Penelitian sejenis juga, menjadikan bubuk *dry sludge* sebagai substitusi semen, menunjukkan adanya penurunan kekuatan tekan mortar sebesar 29% terhadap sampel kontrol (Chatveera dan Lertwattanaruk, 2009).

Limbah *sludge* hasil cucian *batching plant* dengan kandungan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang akan menjadi CaO dengan kadar 3,2% jika dipanaskan pada suhu $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ (Chatveera dan Lertwattanaruk, 2009). Limbah *sludge* yang lain dari hasil pencucian truk *mixer* yang dipanaskan pada suhu $400\text{-}500^{\circ}\text{C}$ menghasilkan kandungan CaO 42,3% yang lebih banyak dari pada *sludge* yang dipanaskan pada suhu $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan jika semakin tinggi suhu pembakaran *sludge*, kadar CaO akan semakin meningkat.

Dari beberapa penelitian tentang penambahan dan substitusi kapur sebagai bahan tambahan pada campuran beton, kualitas beton semakin berkurang yang ditunjukkan dengan penurunan kuat tekan yang terjadi. Penambahan CaO pada semen dengan jumlah yang lebih tinggi mengakibatkan kandungan senyawa $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ di dalam semen meningkat sehingga kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen ketika semen bereaksi dengan air bertambah pula. Semakin banyaknya kalsium hidroksida yang terbentuk, maka daya rekat semen akan berkurang sehingga struktur di dalamnya akan lemah dan mengakibatkan kuat tekannya rendah (Darmawan et al, 2008).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Sludge yang digunakan adalah limbah padat yang berasal dari pabrik pembuatan *spun pile* yang ada di daerah Mojokerto. *Sludge* terlebih dahulu diproses dengan pemanasan untuk mereaktifkan kandungan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam *sludge*. Proses pemanasan dilakukan dengan 2 suhu yang berbeda yaitu dipanaskan dengan tingkat suhu 400°C dalam waktu 1 jam di dalam *furnace* Laboratorium Metalurgi UK Petra dan dipanaskan dengan tingkat suhu 100°C dalam waktu 1 x 24 jam di dalam oven Laboratorium Beton UK Petra. Kemudian *dry sludge* suhu 100°C dan suhu 400°C diayak hingga lolos ayakan nomor 16 (1.18 mm) dan nomor 200 (0.075 mm). Penelitian ini menggunakan semen *Portland Pozzoland Cement* (PPC) dari PT. Semen Gresik dan pasir yang digunakan adalah pasir dengan diameter $<5\text{mm}$ yang memiliki *fineness modulus* sebesar 2,043.

Mix design mortar dalam penelitian ini menggunakan 3 jenis variabel yaitu campuran dengan ukuran maksimum *sludge* (1.18 mm dan 0.075 mm), variasi suhu pemanasan *sludge* dan penambahan

superplasticizer. Penambahan *superplasticizer* ke dalam campuran bertujuan untuk memperbaiki *workability* sehingga campuran dapat diaduk dan dicetak. Penelitian ini terbagi menjadi 26 macam *mix design* dengan 9 buah untuk tiap *mix design* seperti ditunjukkan **Tabel 1**. Untuk semen dan pasir menggunakan perbandingan berat yang tetap yaitu 1:2,75 dengan *water/cement ratio* sebesar 0,65.

Tabel 1. Mix Design Mortar

Mix No.	Keterangan			Jumlah Benda Uji (buah)				
				3 Hari	7 Hari	28 Hari		
1	Kontrol	Non SP		3	3	3		
2		SP		3	3	3		
3	#200	100°C	Non SP	10%	3	3	3	
4				20%	3	3	3	
5				30%	3	3	3	
6			SP	10%	3	3	3	
7				20%	3	3	3	
8				30%	3	3	3	
9		400°C	Non SP	10%	3	3	3	
10				20%	3	3	3	
11				30%	3	3	3	
12			SP	10%	3	3	3	
13				20%	3	3	3	
14				30%	3	3	3	
15		#16	100°C	Non SP	10%	3	3	3
16					20%	3	3	3
17	30%				3	3	3	
18	SP			10%	3	3	3	
19				20%	3	3	3	
20				30%	3	3	3	
21	400°C		Non SP	10%	3	3	3	
22				20%	3	3	3	
23				30%	3	3	3	
24			SP	10%	3	3	3	
25				20%	3	3	3	
26				30%	3	3	3	

Hal pertama yang dilakukan yaitu mempersiapkan peralatan dan material yang akan dibutuhkan sesuai dengan *mix design*, antara lain semen, pasir dan *sludge*. *Sludge* diambil dari pabrik pembuatan *spun pile*, Mojekero, Jawa Timur, Indonesia. *Sludge* berasal dari hasil endapan air *slosh spun pile* yang ditempatkan pada kolam endapan seperti pada **Gambar 1**. Air *slosh* yang didiamkan pada kolam

endapan akan membentuk *sludge* yang kemudian dikeruk ke tempat penampungan *sludge*. *Sludge* yang didapat dalam kondisi setengah kering dan tercampur dengan kerikil (**Gambar 2**).



Gambar 1. Kolam Endapan *Air Slosch Spun Pile*



Gambar 2. Tempat Penampungan *Sludge*

Untuk penelitian, *sludge* masing-masing dipanaskan pada suhu 100°C selama 24 jam dan suhu 400°C selama 1 jam di dalam *furnace* pemanas seperti pada **Gambar 3**. *Sludge* kemudian diayak dengan menggunakan ayakan masing-masing nomor 16 (1.18 mm) dan nomor 200 (0.075 mm).



Gambar 3. *Furnace Pemanas*

Setelah melalui proses pengayakan, bubuk *sludge* digunakan sebagai bahan substitusi semen. Material-material seperti pasir, semen, air dan *sludge* yang sudah siap dicampur hingga merata. Setelah campuran merata, mortar beton dicetak dalam mold berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Untuk *mix design* dengan penambahan *superplasticizer*, setelah campuran merata, *superplasticizer* (SP) dituangkan dan campuran mortar diaduk kembali hingga SP bereaksi, kemudian campuran mortar diuji *flow table*. Dalam penelitian ini, *workability* yang digunakan adalah 15 cm \pm 1 cm. Jika *flow* campuran mortar masih belum mencapai diameter 15 \pm 1 cm, dilakukan penambahan *superplasticizer* kembali hingga *flow* mortar memenuhi diameter 15 \pm 1 cm. Setelah campuran merata, mortar beton dicetak dalam cetakan. Cetakan

dibuka 1 hari setelah dilakukan pengecoran dan *dicuring* dengan merendam mortar kedalam bak berisi air hingga 1 hari sebelum pengetesan dilakukan dan dibiarkan berada dalam suhu ruangan.

Pengujian yang dilakukan meliputi *compression test* dan *setting time*. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan saat mortar berumur 3, 7 dan 28 hari menggunakan alat tes tekan di Laboratorium Universitas Kristen Petra. Mortar dikeluarkan dari bak *curing* 1 hari sebelum pengujian kuat tekan dan didiamkan. Hasil kuat tekan yang dianalisa merupakan hasil kuat tekan rata-rata dari 3 sampel mortar.

Pengujian *setting time* bertujuan untuk menentukan waktu pengikatan pasta semen untuk mulai setting. Pengujian *setting time* dilakukan menggunakan alat *vicat needle* dan dilakukan terhadap pasta mortar dengan campuran bubuk *sludge* sebagai sampel uji *setting time*. Komposisi campuran pasta mortar yang diuji tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Mix Design Pasta

Mix No	Kadar <i>Sludge</i>	Suhu <i>Sludge</i>
1	0%	-
2	10%	100°C
3	20%	
4	30%	
5	10%	400°C
6	20%	
7	30%	

4. HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengujian kadar kandungan CaO dan SiO₂ dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kandungan CaO dan SiO₂ pada *Sludge* Lolos Ayakan Nomor #16

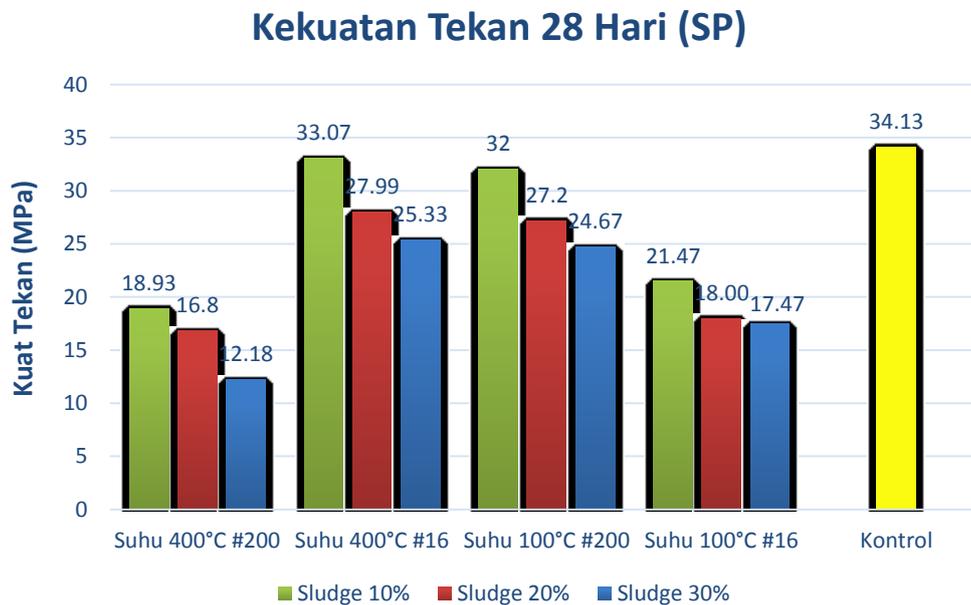
Parameter	Suhu Kamar	Suhu 100°C	Suhu 400°C
CaO (%)	8,93	11,93	13,13
SiO ₂ (%)	50,83	63,39	64,09

(Data dari Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya)

Pengujian kandungan CaO dan SiO₂ dilakukan untuk mengetahui perbedaan kandungan CaO dan SiO₂ dalam *sludge* jika dipanaskan pada suhu tertentu. **Tabel 3** menunjukkan kandungan CaO dan SiO₂ pada *sludge* yang dipanaskan pada suhu kamar, suhu 100°C di Laboratorium Beton U.K. Petra dan 400°C di Laboratorium Metalurgi U.K. Petra. Dari hasil pengujian, didapat kadar kandungan CaO dan SiO₂ semakin meningkat seiring besarnya suhu.

Sampel yang diuji kandungan CaO dan SiO₂ diambil dari material lolos ayakan no 16 (diameter 1,18 mm), dimana sampel tersebut masih mengandung butiran pasir, sehingga kadar SiO₂ yang diperoleh dari pengujian kemungkinan ada pengaruh dari SiO₂ yang terkandung dalam pasir.

Perbandingan kekuatan tekan mortar dengan kandungan substitusi *sludge* masing-masing 10%, 20%, 30% pada umur 28 hari dapat dilihat pada **Gambar 4**.



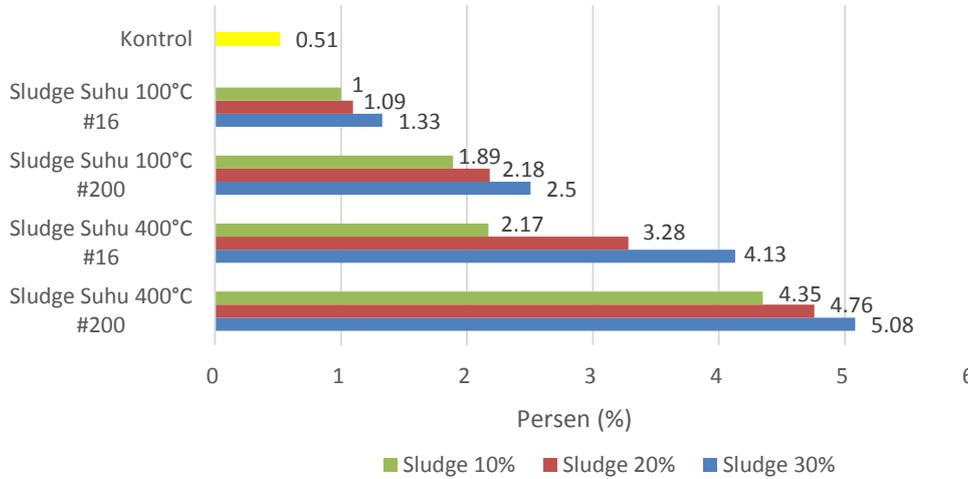
Gambar 4. Diagram Perbandingan Kekuatan Tekan Sampel Umur 28 Hari

Pada **Gambar 4** menunjukkan bahwa seluruh sampel mortar dengan substitusi *sludge*, memiliki kuat tekan yang lebih rendah terhadap sampel kontrol. Disamping itu, semakin besar kadar substitusi *sludge* terhadap semen menyebabkan semakin besar penurunan kuat tekan mortar.

Berdasarkan analisa kekuatan tekan mortar dengan menggunakan SP dapat disimpulkan bahwa, sampel dengan gradasi maksimum butiran #200 memiliki *specific surface area* yang lebih besar dari pada #16, hal itu menyebabkan *flow* terhadap campuran sangat kecil sehingga sampel kekurangan air. Disamping itu terhadap sampel suhu 400°C memiliki tingkat *water absorption* yang lebih besar daripada sampel suhu 100°C, hal itu menyebabkan nilai *flow* campuran sangat kecil karena kekurangan air. Masalah tentang penyerapan air tersebut dapat diatasi dengan bantuan *superplasticizer*, sehingga sampel dapat lebih *workable* dengan masing-masing sampel diikat pada *flow* sebesar 15±1 cm.

Perpaduan antara suhu dan gradasi maksimum butiran *sludge*, menyebabkan adanya tarik menarik terhadap kebutuhan air campuran. Kadar air masing-masing campuran dikunci sama besar agar menjaga sampel seragam. Adanya peran antara suhu dan gradasi maksimum butiran menyebabkan sampel memiliki 2 kondisi air efektif untuk membuat ikatan C-S-H dengan berbagi kompensasi kebutuhan air. Kondisi yang pertama yaitu sampel dengan suhu 100°C ayakan #200, dan sampel dengan suhu 400°C ayakan #16.

Kebutuhan SP



Gambar 5. Kebutuhan Superplasticizer

Kebutuhan SP (**Gambar 5**) dipengaruhi dengan tingkat penyerapan air oleh campuran. Kadar SP akan semakin meningkat dengan seiring meningkatnya suhu dan halusness *sludge*. Korelasi terhadap suhu dan gradasi butir *sludge* dipengaruhi dengan *specific surface area* dan *water absorption sludge*.

Tabel 4. Hasil Pengujian Setting Time

Mix No	Kadar Sludge	Suhu Sludge	Initial Setting Time (menit)	Final Setting Time (menit)
1	0%	-	120	300
2	10%	100°C	130	330
3	20%		150	360
4	30%		172	390
5	10%		140	345
6	20%	400°C	175	385
7	30%		190	400

Berdasarkan **Tabel 4** terlihat bahwa substitusi semen dengan *sludge* dapat meningkatkan *initial* dan *final setting time*. Pada masing-masing *initial* dan *final setting time* *sludge* suhu 100°C dan 400°C terjadi peningkatan seiring bertambahnya kadar *sludge*. Pasta dengan campuran *sludge* suhu 100°C memiliki *initial* dan *final setting time* yang lebih kecil dibandingkan pasta dengan campuran *sludge* suhu.

Dari **Tabel 4** juga dapat diketahui durasi *initial setting time* dan *final setting time* dari setiap mix design masih sesuai dengan standar ASTM. Standar tersebut menetapkan durasi minimal *initial setting time* yaitu 45 menit dan durasi maksimal *final setting time* yaitu 6 - 7 jam.

5. KESIMPULAN

1. Semakin besar kandungan bubuk *dry sludge* yang disubstitusikan terhadap semen dalam campuran mortar dan beton, maka kekuatan tekan akan mengalami penurunan. Pada hasil uji tekan sampel dengan kandungan *sludge* 10%, 20%, dan 30% menunjukkan adanya penurunan kekuatan seiring bertambahnya kandungan bubuk *dry sludge*.

2. Penggunaan *sludge* yang dipanaskan sebagai pengganti semen menyebabkan *workability* mortar mengalami penurunan, hal itu disebabkan *water absorption sludge* yang lebih tinggi dibandingkan semen. Tingkat kebutuhan air pada campuran sesuai dengan kebutuhan *superplasticizer*, semakin butuh air maka kadar SP semakin tinggi. Kebutuhan SP paling tinggi yaitu pada sampel 30%, suhu 400°C, ayakan #200 sebesar (5.08%) dan kebutuhan SP terendah pada sampel 10%, suhu 100°C, ayakan #16 sebesar (1%).
3. Pengaruh terhadap suhu dan ukuran maksimum butiran *sludge* juga mempengaruhi tingkat *flow* mortar, yaitu semakin tinggi suhu pembakaran dan semakin halus ukuran maksimum *sludge*, menyebabkan *water absorption* campuran meningkat.
4. Substitusi bubuk *dry sludge* terhadap semen pada campuran pasta menyebabkan *setting time* campuran lebih lama. Pada hasil uji *setting time* sampel dengan kandungan *sludge* 10%, 20%, dan 30% menunjukkan adanya peningkatan waktu *setting*.

6. DAFTAR REFERENSI

- ASTM:C109M - 02. (2007). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. Annual Book of ASTM Standards*, 4, 1–6.
- ASTM: C 1437 - 07. (2007). *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. Annual Book of ASTM Standards*, 1-2.
- BS EN 196-3. (2005). *Methods of Testing Cement Determination of Setting Times and Soundness*.
- BS EN 12620. (2013). *Aggregates for Concrete*.
- Chatveera, B. dan Lertwattanakul, P. (2009). Use of Ready-Mixed Concrete Plant Sludge Water in Concrete Containing an Additive or Admixture. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1901-1908.
- Darmawan, A., Hastuti, R., Reni, Y. (2008). Kajian Pengaruh Penambahan Kalsium Oksida (CaO) terhadap Suhu Reaksi dan Kuat Tekan Semen Portland. *Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Diponegoro, Semarang*.
- Tsimas, S. dan Zervaki, M. (2010). Reuse of Waste Water from Ready-Mixed Concrete Plants. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(1), pp. 7 – 17. Retrieved from <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/14777831111098444>.