

PENGAPLIKASIAN LUMPUR SIDOARJO KADAR TINGGI PADA MORTAR DAN BETON

Lucky Chandra¹, Teguh Hermawan Widodo², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan material lumpur Sidoarjo, khususnya sebagai material pengganti semen (*pozzolan*) telah dilakukan. Penelitian ini berfokus pada penggunaan lumpur Sidoarjo dengan kadar yang tinggi, yaitu >50%, serta membandingkan hasil tersebut dengan *fly ash*. Analisa terhadap material dilakukan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui karakteristik dari material tersebut. Analisa juga dilakukan terhadap pengaruh ukuran butiran menggunakan PSA (*Particle Size Analysis*). Lumpur dilakukan treatment dari pengeringan, pembakaran hingga digiling menggunakan bar-mill dengan lama penggilingan bervariasi untuk mendapatkan ukuran butiran berbeda. Presentase kadar yang digunakan adalah 50%, 55% dan 60% dari total *cementitious material*. Mortar dan beton digunakan ukuran 5x5x5 cm³ dan 15x15x15 cm³ lalu dilakukan pengujian berupa kuat tekan, *workability* dan *setting time*. Hasil menunjukkan semakin halus ukuran butiran, semakin tinggi kuat tekan dan *workability*-nya. Di antara kadar 50%-60% penggantian semen dengan lumpur Sidoarjo, kadar 50% merupakan yang paling efektif. Pada beton dengan lumpur Sidoarjo menghasilkan *slump test* sebesar 8,5 cm dengan kuat tekan 34,07 MPa pada umur 37 hari.

KATA KUNCI : lumpur Sidoarjo, kadar penggantian, *treatment*, kehalusan, *high-volume*

1. PENDAHULUAN

Bencana luapan lumpur Sidoarjo (*Sidoarjo mud*) yang terjadi sejak tanggal 29 Mei 2006, memberikan dampak negatif yang sangat berpengaruh bagi penduduk sekitar, baik di sektor perekonomian, sosial maupun banyak sektor lain. Berbagai usaha telah dilakukan untuk menanggulangi bencana, namun belum memberikan hasil yang maksimal. Bencana yang terjadi diawali di desa Ronokenongo, Kecamatan Porong, Sidoarjo menggenangi banyak area sehingga kegiatan penduduk sekitar terhenti dengan keberadaan lumpur.

Penelitian oleh Hardjito, Antoni, Wibowo, & Christianto (2012) menggunakan lumpur Sidoarjo yang telah melalui proses *treatment* digiling menggunakan *bar-mill* untuk mencapai kehalusan tertentu, yaitu <63µm, 63-150µm, 150-300µm. Persentase kadar lumpur Sidoarjo yang digunakan adalah 30%, 35%, dan 40% dari berat semen. Mortar dengan ukuran 5x5x5 cm³ diuji kuat tekannya pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin halus dan semakin kecil ukuran butiran lumpur Sidoarjo, semakin tinggi nilai kuat tekannya. Penggantian semen dengan lumpur Sidoarjo pada kadar 30% merupakan yang paling efektif, namun pada kadar lumpur 35% dan 40% masih dapat digunakan karena memenuhi nilai minimum *Strength Activity Index* (SAI). SAI merupakan nilai perbandingan kuat tekan campuran beton yang menggunakan material *pozzolan* dengan yang tanpa menggunakan material *pozzolan*. Pada *workability*, semakin halus ukuran butiran dan semakin besar persentase yang digunakan semakin baik pula *workability* yang dihasilkan mortar segar.

¹Mahasiswa Universitas Kristen Petra, lucky.chandra1992@gmail.com

²Mahasiswa Universitas Kristen Petra, wan_wan_widodo@yahoo.com

³Dosen Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

⁴Dosen Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

Melanjutkan penelitian oleh Hardjito et al. (2012), dimana telah dilakukan penelitian dengan kadar lumpur hingga 40%, peneliti ingin mencoba menambahkan kadar dan kehalusan lumpur Sidoarjo yang lebih tinggi. Peneliti menggunakan dua tahap. Tahap pertama yaitu penambahan kadar lumpur Sidoarjo sebesar 50%, 55%, dan 60% dengan lama penggilingan 2 jam, 4 jam, dan 8 jam pada campuran mortar sehingga digolongkan menjadi *high-volume Sidoarjo mud*. Tahap kedua adalah menggunakan kadar campuran mortar yang paling optimum yang kemudian dikembangkan menjadi campuran beton yang diharapkan mampu memberikan hasil yang baik. Peneliti menggunakan konsep yang sama seperti beton *high-volume fly ash*. Kehalusan lumpur Sidoarjo yang digunakan $63\mu\text{m}$ dengan variabel lama penggilingan 2 jam, 4 jam dan 8 jam. Pada penelitian ini dapat diketahui kadar lumpur Sidoarjo yang paling efektif dalam penggunaannya sebagai material *pozzolan high-volume*, sehingga lumpur Sidoarjo yang dianggap sebagai limbah dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan pekerjaan konstruksi.

2. METODE PENELITIAN

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah persiapan material lumpur Sidoarjo berupa beberapa *treatment*, mulai dari pencetakan lumpur, pengeringan, pembakaran hingga penggilingan.

Proses *treatment* terbagi menjadi beberapa tahap yaitu pencetakan lumpur menjadi bentuk bata, kemudian pengeringan dengan suhu 110°C dilanjutkan dengan suhu 200°C , lalu proses pembakaran dengan suhu 945°C yang meningkat secara bertahap mencapai suhu puncak selama ± 36 jam dan proses pendinginan selama ± 12 jam. Berdasarkan penelitian oleh Antoni, Hardjito, Wibowo & Chandra (2012), suhu pembakaran optimum sebesar 600°C selama 2 jam, namun proses *treatment* pada penelitian ini mengacu pada ketentuan dari pemilik bilik pembakaran. Pengeringan bertujuan agar mengurangi asap yang timbul saat pembakaran dan tidak terjadi susut yang berlebihan.

Proses selanjutnya adalah penggilingan yang bertujuan untuk memperoleh lumpur dengan beberapa variasi kehalusan. Variasi kehalusan ini diperoleh dengan membedakan durasi penggilingan. Proses penggilingan menggunakan gaya tumbuk antara batangan besi yang dimasukkan ke dalam drum besi pada mesin giling yang kemudian diputar dengan kecepatan konstan.

Pengujian material dilakukan terhadap lumpur Sidoarjo berupa *particle size analysis* (PSA), dan analisa XRF. Pasir dan agregat kasar dilakukan pengujian *water content*, *fineness modulus*, dan gradasi ukuran agregat. Setelah pengujian material dilakukan, maka dilanjutkan ke tahap berikutnya, yaitu pembuatan sampel.

Tahap kedua yaitu pembuatan sampel berupa mortar dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Mortar yang dibuat dibagi menjadi 3 bagian yaitu: mortar tanpa campuran *pozzolan*, mortar dengan campuran *pozzolan fly ash*, mortar dengan campuran *pozzolan* lumpur Sidoarjo. Dapat dilihat pada **Tabel 1** komposisi yang digunakan dalam mortar yang dibuat. Rasio perbandingan air dan *cementitious material* sebesar 0.35. Kadar *superplasticizer* yang digunakan pada mortar tanpa *pozzolan* dan lumpur Sidoarjo sebesar 1,5% dari berat *cementitious material*, sedangkan pada mortar dengan *fly ash* digunakan sebesar 0,1% dari berat semen.

Tahap ketiga dari penelitian ini adalah pembuatan beton dengan komposisi maksimum yang didapat pada mixing yang pertama dalam pengujian kuat tekan 28 hari. Perbandingan antara agregat kasar dan halus menggunakan garis regresi pada perhitungan DOE didapatkan sebesar 48% agregat halus dan 52% agregat kasar. Kadar *superplasticizer* sebesar 0,4% dari jumlah *cementitious material*. Dalam mixing kedua ini dilakukan 2 variabel yaitu tanpa penggantian lumpur Sidoarjo dan dengan penggantian 50% lumpur Sidoarjo. Komposisi untuk *mixing* beton dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Komposisi Mortar yang Digunakan

Mortar	Kadar Pozzolan (%)	Semen (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Water (liter/m ³)	Super plasticizer (litr/m ³)
Tanpa Pozzolan	-	660	-	1509	231	9.90
Fly ash	50	330	330	1509	231	0,33
	55	270	390	1509	231	0,27
	60	240	420	1509	231	0,24
Lumpur Sidoarjo	50	330	330	1509	231	9.90
	55	270	390	1509	231	9.90
	60	240	420	1509	231	9.90

Tabel 2. Komposisi Beton yang Digunakan

Kadar Lumpur (%)	Semen (kg/m ³)	Lumpur Sidoarjo (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Superplasticizer (litr/m ³)	w/b ratio
-	423	-	910	986	1,69	0,35
50	211,5	211,5	910	986	1,69	0,35

3. HASIL DAN ANALISA

3.1 Analisa XRF dan PSA

Analisa material lumpur Sidoarjo digunakan metode XRF untuk mengetahui karakteristik dari lumpur Sidoarjo. Berdasarkan hasil analisa XRF, kandungan lumpur Sidoarjo telah memenuhi syarat sebagai bahan *pozzolan*, karena memiliki nilai SiO₂, Fe₂O₃, dan Al₂O₃ yang lebih besar dari 70%. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, kandungan sampel lumpur Sidoarjo menyerupai sampel pada penelitian Nuruddin et al. (2010) seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kandungan Senyawa Pozzolan Lumpur Sidoarjo

Oksida	1	2	Oksida	1	2
CaO	4.90	2.13	MnO ₂	0.21	0.14
SiO ₂	54.90	56.75	Cl	1.14	0.00
Al ₂ O ₃	20.44	23.31	P ₂ O ₅	1.06	0.00
Fe ₂ O ₃	10.64	7.37	Br	0.01	0.00
K ₂ O	2.35	1.04	TiO ₂	1.16	0.38
MgO	1.76	2.95	SrO	0.07	0.00
SO ₃	1.31	0.96	Na ₂ O	0.00	2.70

Sumber: 1. Sampel Lumpur Sidoarjo Nuruddin et al. (2010)
2. Sampel Lumpur Sidoarjo yang diuji.

Berdasarkan **Tabel 4**, lumpur Sidoarjo dengan lama penggilingan 8 jam mendapatkan hasil PSA dengan ukuran yang paling halus. Lumpur Sidoarjo dengan lama penggilingan 8 jam pada nilai d(50) memiliki ukuran 6.632 µm, dibandingkan dengan lama penggilingan 2 jam dan 4 jam sebesar 15.180 µm dan 7.991 µm. Hal serupa juga terlihat pada nilai d(10), dimana lama penggilingan 8 jam memiliki ukuran butiran paling halus dibandingkan dengan 2 jam dan 4 jam, yaitu sebesar 0.768 µm. Namun, pada nilai d(90), lama penggilingan 4 jam memiliki nilai ukuran butiran yang paling kecil, yaitu 114.402 µm. Hal ini terjadi dikarenakan pengujian PSA dilakukan dalam bentuk bubuk, sehingga memungkinkan terdapat gumpalan yang menyebabkan ketidakakuratan hasil yang didapat.

Pengujian PSA (*Particle Size Analysis*) didapatkan hasil bahwa semakin lama penggilingan dilakukan, semakin halus material Lumpur Sidoarjo yang dihasilkan. Hasil analisa *Spesific Surface Area* (SSA) menunjukkan bahwa semakin lama penggilingan dilakukan, semakin besar nilai SSA yang didapat. Lama penggilingan 8 jam memiliki nilai SSA yang paling besar, yaitu 2.580 m²/g , diikuti lama

penggilingan 4 jam dan 2 jam sebesar 2.240 m²/g dan 1.300 m²/g. Hal ini semakin memberikan penjelasan bahwa semakin lama penggilingan dan semakin halus ukuran butiran, maka semakin besar SSA yang berdampak semakin cepat reaksi kimia dari material tersebut.

Tabel 4. Hasil Particle Size Analysis Lumpur Sidoarjo

Lama Penggilingan (jam)	d(10) (µm)	d(50) (µm)	d(90) (µm)	SSA (m ² /g)
2 jam	1.832	15.180	475.604	1.300
4 jam	0.937	7.991	114.402	2.240
8 jam	0.768	6.632	342.661	2.580

3.2 Pengaruh Kadar dan Kehalusan Lumpur Sidoarjo terhadap Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar menggunakan alat *Universal Testing Machine* pada umur sampel 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan nilai kuat tekan mortar pada mortar tanpa lumpur Sidoarjo (*no mud*), penggantian kadar *fly ash* dan lumpur Sidoarjo sebesar 50%, 55%, dan 60% dengan lama penggilingan 2 jam, 4jam, dan 8 jam beserta peningkatan nilai kuat tekan dan SAI.

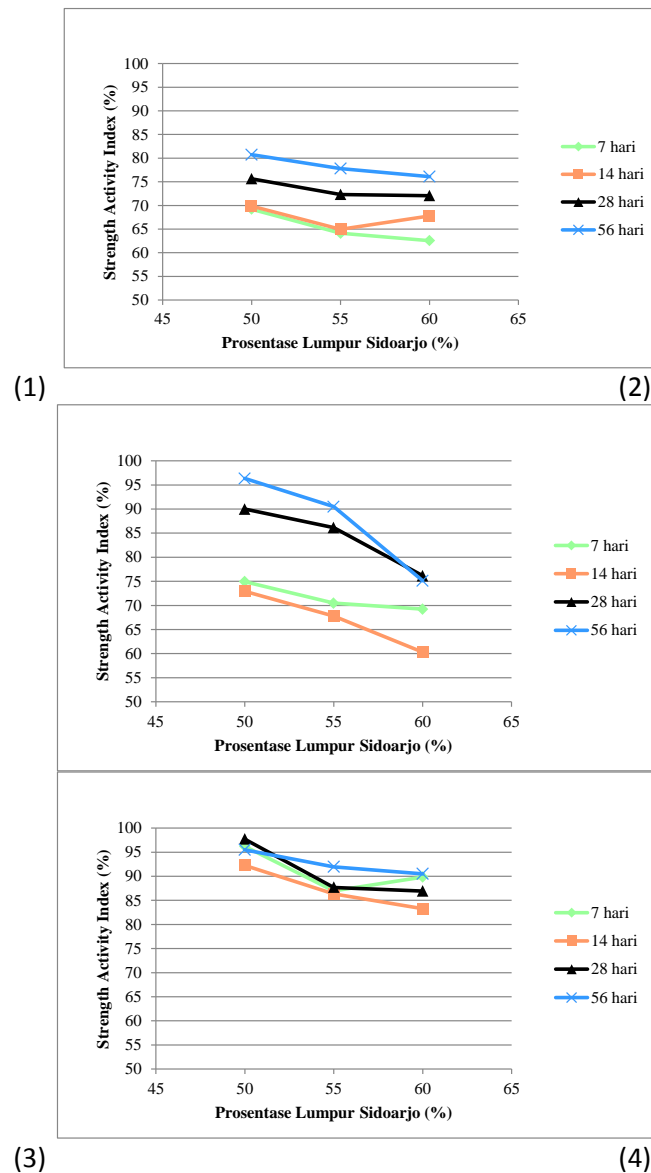
Dari hasil penelitian kali ini, didapatkan bahwa penggunaan kadar lumpur 50% dapat digunakan sebagai material *pozzolan* dan menghasilkan kuat tekan yang paling efektif di antara variasi penggunaan kadar penggantian 50%-60%. Hal ini dapat dilihat pada sampel SM50G2, SM50G4 dan SM50G8 yang cenderung memiliki nilai SAI yang lebih besar dibandingkan dengan sampel lainnya. Namun kadar penggantian 55% dan kadar penggantian 60% masih dapat digunakan untuk membuat mortar karena memenuhi nilai minimum SAI pada umur 28 hari.

Tabel 5. Hasil Kuat Tekan dan Prosentase Peningkatan Kuat Tekan

Umur	7 hari		14 hari		28 hari		56 hari	
	Kuat tekan (MPa)	%	Kuat tekan (MPa)	%	Kuat tekan (MPa)	%	Kuat tekan (MPa)	%
no mud	42.00	80.77	51.73	99.48	52.00	100.00	54.67	105.13
FA50	25.30	58.39	36.00	83.08	43.33	100.00	43.47	100.32
FA55	28.67	66.37	36.13	83.63	43.20	100.00	43.73	101.23
FA60	27.33	64.15	31.73	74.48	42.60	100.00	43.60	102.35
SM50G2	29.07	73.91	36.13	91.86	39.33	100.00	44.13	112.20
SM55G2	26.93	71.62	33.60	89.36	37.60	100.00	42.53	113.11
SM60G2	26.27	70.11	35.07	93.59	37.47	100.00	41.60	111.02
SM50G4	31.47	67.24	37.73	80.62	46.80	100.00	52.67	112.54
SM55G4	29.60	66.07	35.07	78.28	44.80	100.00	49.47	110.42
SM60G4	29.07	73.41	31.20	78.79	39.60	100.00	41.07	103.71
SM50G8	40.40	79.53	47.73	93.96	50.80	100.00	52.20	102.76
SM55G8	36.53	80.11	44.67	97.96	45.60	100.00	50.27	110.24
SM60G8	37.73	83.47	43.07	95.29	45.20	100.00	49.47	109.45

Dari data dan analisa pada **Tabel 5**, dapat dilihat bahwa semakin halus ukuran butiran material *pozzolan* yang digunakan semakin cepat juga reaksi *pozzolanic*-nya. Hal ini disebabkan oleh perbedaan SSA (*Specific Surface Area*) atau luas permukaan sentuh dari pertikel, dimana semakin besar SSA dari material *pozzolan* semakin cepat pula reaksi kimia dari material tersebut. Hal ini dapat dilihat dari kuat tekan SM50G8 yang lebih besar dibandingkan SM50G4 dan SM50G2 pada umur 7 hari.

Dari hasil kuat tekan dan SAI-nya, dapat disimpulkan bahwa lama penggilingan 8 jam merupakan lama penggilingan yang paling efektif dari lumpur Sidoarjo agar menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi. Namun berdasarkan SAI, lumpur dengan lama penggilingan 4 jam sudah memenuhi persyaratan SAI yaitu >75% (ASTM C 618-05, 2002) pada umur 28 hari sehingga dapat digunakan sebagai material *pozzolan*. Lumpur dengan lama penggilingan 2 jam tidak memenuhi standar SAI dikarenakan pada kadar 55% dan 60% memiliki nilai SAI <75%.

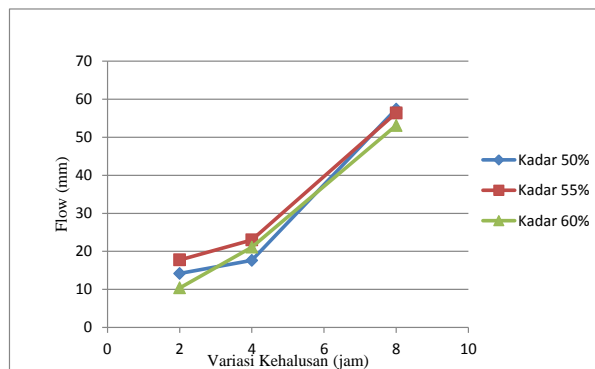
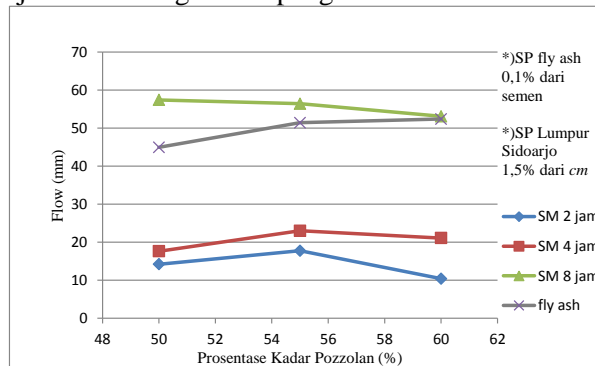


Gambar 1. Grafik *Strength Activity Index* (SAI) Mortar; (1). *Fly Ash*; (2). Lumpur Sidoarjo Lama Penggilingan 2 jam; (3). Lumpur Sidoarjo Lama Penggilingan 4 jam; (4). Lumpur Sidoarjo Lama Penggilingan 8 jam

3.3 Pengaruh Kadar dan Kehalusan Lumpur Sidoarjo terhadap *Workability* Mortar

Pengujian *workability* dilakukan pada berbagai variasi kehalusan dan variasi kadar. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari kadar penggunaan lumpur dan tingkat kehalusannya terhadap *workability* atau kelecakan dari mortar. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *flow table*.

Dari **Gambar 2** terlihat bahwa nilai *flow* terbesar dicapai oleh mortar lumpur Sidoarjo 8 jam dengan prosentase 50%. Penambahan kadar lumpur Sidoarjo tidak terlalu mempengaruhi nilai *flow*. Semakin besar ukuran butiran dari lumpur Sidoarjo yang digunakan, maka nilai dari *flow*-nya semakin rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan karena semakin besar ukuran dari partikel lumpur yang digunakan, semakin besar juga gesekan yang terjadi antara partikel-partikel lumpur sehingga tingkat kelecakannya berkurang. Ukuran partikel yang besar juga lebih mudah terikat dengan pasta mortar sehingga menjadi lebih tidak lecah dibandingkan dengan ukuran partikel lebih kecil. Selain hal tersebut pengaruh bentuk dari partikel lumpur Sidoarjo sendiri sangat mempengaruhi kelecakan dari mortar.



(1)

(2)

Gambar 2. (1). Grafik Persentase Peningkatan Diameter Mortar Lumpur Sidoarjo: Variabel Kadar; (2). Grafik Persentase Peningkatan Diameter Mortar Lumpur Sidoarjo: Variabel Kehalusan

3.4 Pengaruh Lumpur Sidoarjo pada Kuat Tekan Beton.

Pada **Tabel 6** terlihat tren pengaruh penggunaan lumpur Sidoarjo pada beton. Nilai SAI yang dicapai pada umur 7 hari sebesar 68.78% dan terjadi peningkatan SAI pada umur 14 hari hingga mencapai 84.12%. Pada umur 37 hari terjadi peningkatan nilai SAI hingga mencapai 90.37%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 37 hari dengan alasan keadaan laboratorium yang tidak dapat digunakan, sehingga terjadi penundaan pengujian.

Tabel 6. Hubungan Kuat Tekan Variasi Kadar: Strength Activity Index Beton

Umur	7 hari		14 hari		37 hari	
	Kuat tekan (MPa)	SAI (%)	Kuat tekan (MPa)	SAI (%)	Kuat tekan (MPa)	SAI (%)
no mud	32.74	100.00	34.96	100.00	37.70	100.00
SM50G8	22.52	68.78	29.41	84.12	34.07	90.37

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan menganalisa data-data di laboratorium dan juga dibandingkan dengan studi pustaka lainnya, dapat dihasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan lumpur Sidoarjo dengan kadar tinggi mampu menghasilkan nilai kuat tekan dan SAI yang baik.
2. Kadar paling efektif dalam penggantian kadar semen antara 50% - 60% adalah pada kadar 50%. Namun apabila ditinjau pada nilai SAI, kadar 55% dan 60% masih memenuhi nilai standar SAI pada umur 28 hari (kecuali lama penggilingan 2 jam).
3. Semakin lama penggilingan dilakukan, didapatkan ukuran butiran lumpur Sidoarjo yang semakin halus, dimana meningkatkan *workability* dan kuat tekan.
4. Semakin sedikit kadar penggantian dan semakin halus ukuran butiran, maka waktu *setting time* yang dibutuhkan lebih banyak.

5. DAFTAR REFERENSI

- Antoni, Hardjito, D., Wibowo, F., & Chandra, N.W.(2012). Influence of Heat Treatment Temperature, Particle Finess, and Replacement Ratio of Sidoarjo Mud as Pozzolanic. *Material*.1-4
- ASTM C 618-05. (2002). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International.
- Hardjito, D., Antoni, Wibowo, G. M., & Christianto, D. (2012). Pozzolanic Activity Assessment of LUSI (LUMPUR SIDOARJO) Mud in Semi High Volume Pozzolanic Mortar. *Materials*, 5, 1654-1660.
- Nuruddin, M. F., Bayuaji, R., Masilamani, M. B., & Biyanto, T. R. (2010). Sidoarjo Mud: A Potential Cement Replacement Material. *Civil Engineering Dimension*, 12(1), 18-22.