

PENGARUH UKURAN PARTIKEL *CALCINED CLAY* DAN PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN DENGAN KALSIMUM HIDROKSIDA PADA MORTAR *LIMESTONE CALCINED CLAY CEMENT (LC3)*

Arthur¹, Kevin Saputra², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : *Limestone calcined clay cement (LC3)* memiliki potensi dalam menggantikan penggunaan semen dalam pembuatan beton. Dimana campuran LC3 sendiri terdiri dari *calcined clay*, kalsium hidroksida, semen dan *gypsum*. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan campuran LC3 pada mortar dapat menghasilkan kuat tekan yang sama dengan mortar OPC, dimana campuran LC3 yang digunakan memiliki persentase penggantian semen terbatas hingga 50% dari binder. Untuk meningkatkan persentase penggantian semen digunakan larutan kalsium hidroksida dengan suhu larutan 50°C. Variasi ukuran partikel *calcined clay* juga dilakukan dengan menggiling *calcined clay* berdiameter 1-2 cm dengan *ball mill* selama 1, 2 dan 4 jam. Hasil penelitian menunjukkan penggantian 15% semen dengan larutan kalsium hidroksida dapat menghasilkan kuat tekan yang sama dengan mortar LC3 kontrol. Dan semakin halus ukuran partikel *calcined clay* yang digunakan semakin tinggi kuat tekan mortar, dengan kuat tekan tertinggi didapat pada mortar dengan *calcined clay* yang digiling selama 2 jam (15% tertahan pada ayakan No. 325). Semakin tinggi persentase kalsium hidroksida yang digunakan menyebabkan menurunnya kuat tekan dan *work ability* dari mortar, namun besarnya penurunan kuat tekan berkurang pada saat *calcined clay* yang digunakan semakin halus.

KATA KUNCI: larutan kalsium hidroksida, *calcined clay*, ukuran partikel, kuat tekan, *work ability*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan *supplementary cementitious materials (SCMs)* memiliki potensi yang besar dalam mengurangi emisi gas karbon dan penggunaan sumber daya alam dalam pembuatan semen, terutama untuk negara berkembang. *SCM* yang paling umum digunakan adalah *fly ash*, akan tetapi ketersediaan *fly ash* sangat terbatas (Scrivener, Martirena, Bishnoi, & Maity, 2017). Material lain yang memiliki potensi sebagai *SCM* adalah *calcined clay* (Scrivener, 2014). Antoni et al (2012) memperkenalkan campuran yang diberi nama *limestone calcined clay cement (LC3)*, campuran tersebut terdiri dari 50% semen, 30% metakaolin, 15% CaCO_3 dan 5% *gypsum*. Mortar yang dihasilkan oleh campuran LC3 dapat menghasilkan kuat tekan yang sama dengan mortar 100% semen (Antoni, Rossen, Martirena, & Scrivener, 2012). Metakaolin sendiri berasal dari kaolin yang terkandung didalam *clay* yang dipanaskan pada suhu 600-800°C (Sabir, Wild, & Bai, 2001). Alujas et al (2015) melakukan penelitian mengenai penggunaan tanah liat dengan kandungan kaolin sebesar 40% (*low grade kaolinitic clay*). Penggantian semen sebesar 30% menggunakan *low grade kaolinitic clay* pada campuran mortar dapat menghasilkan mortar dengan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mortar 100% semen (Alujas, Fernández, Quintana, Scrivener, & Martirena, 2015). Dari hasil yang didapatkan oleh Antoni et al (2012) penggantian semen pada campuran LC3 hanya terbatas sebesar 50%. Untuk meningkatkan persentase penggantian semen diperlukan penggunaan *SCM* lain. Hasil penelitian Setiono et al (2018) menunjukkan

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415057@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415043@john.petra.ac.id

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

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

kalsium hidroksida dapat meningkatkan kuat tekan dari mortar 100% *fly ash* (Setiono, Christiono, Antoni, & Hardjito, 2018), sehingga penggunaan kalsium hidroksida pada campuran LC3 memiliki potensi mengurangi persentase semen dalam campuran LC3. Penelitian yang dilakukan oleh Antoni et al (2018) menunjukkan bahwa semakin halus ukuran *fly ash* yang digunakan semakin tinggi kuat tekan mortar HVFA yang dihasilkan (Antoni, Wibawa, & Hardjito, 2018). Maka dari itu pada penelitian ini akan diteliti bagaimana pengaruh dari ukuran partikel *calcined clay* dan penggantian sebagian semen dengan kalsium hidroksida pada mortar LC3.

2. KOMPOSISI CAMPURAN DAN MATERIAL

Pada penelitian ini w/cm yang digunakan adalah 0,5 dengan perbandingan antara *cementitious material* dan pasir adalah 1:2. Komposisi campuran variabel sampel yang digunakan memvariasi kehalusan dari *calcined clay* dan persentase penggantian semen dengan larutan kalsium hidroksida. Variasi kehalusan dari *calcined clay* dilakukan dengan memvariasi lama penggilingan *calcined clay*. Sedangkan persentase penggantian semen berdasarkan perbandingan larutan kalsium hidroksida dengan *calcined clay* dan perbandingan yang digunakan adalah 1:4, 1:3 dan 1:2. Komposisi variabel sampel dan variabel kontrol dapat dilihat pada **Tabel 1**.

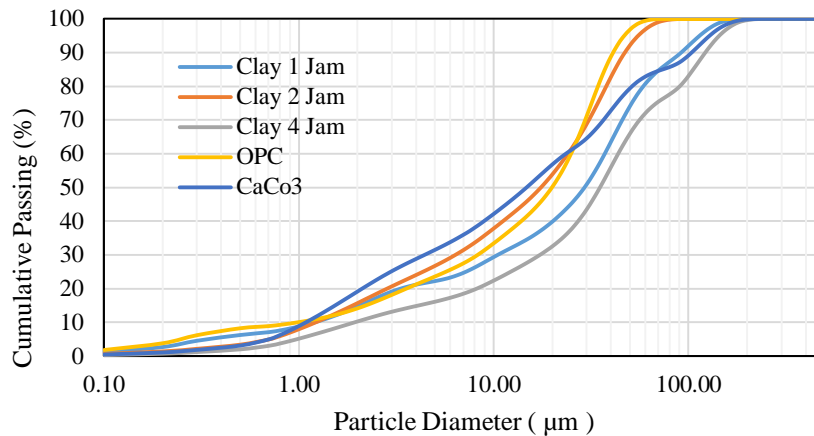
Tabel 1. Komposisi Campuran Variabel Sampel dan Kontrol

No.	Kode Sampel	OPC	Ca(OH) ₂	Calcined Clay	CaCO ₃	Gypsum	Keterangan
1	J1C7,5	42,5%	7,5%	30%	15%	5%	Sampel
2	J1C10	40 %	10 %	30%	15%	5%	
3	J1C15	35 %	15 %	30%	15%	5%	
4	J2C7,5	42,5%	7,5 %	30%	15%	5%	
5	J2C10	40 %	10 %	30%	15%	5%	
6	J2C15	35 %	15 %	30%	15%	5%	
7	J4C7,5	42,5%	7,5 %	30%	15%	5%	
8	J4C10	40 %	10 %	30%	15%	5%	
9	J4C15	35 %	15 %	30%	15%	5%	
10	100% OPC	100%	-	-	-	-	Kontrol
11	42,5% OPC	42,5 %	-	-	57,5%	-	
12	LC3	50 %	-	30%	15%	5%	

Calcined clay yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari batu bata dengan merek MRH yang dibakar dengan suhu 1000-500°C dan dipilih batu bata dengan warna merah cerah. Warna merah cerah pada batu bata menunjukkan batu bata berada di tengah tumpukan pada saat pembakaran dan memiliki suhu pembakaran 600-800°C. Batu bata ditumbuk hingga berukuran 1-2 cm, lalu digiling menggunakan *ball mill* selama 1, 2 dan 4 jam. *Ball mill* yang digunakan berukuran panjang 42 cm dan diameter 35 cm dengan kecepatan 48 rpm. Penggilingan dilakukan dengan perbandingan material dengan silinder baja yang digunakan adalah 1:10. Semen yang digunakan bertipe OPC yang didapatkan dari *ready mix*. Larutan kalsium hidroksida yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dengan mereaksikan CaO dan air. CaO yang digunakan berasal dari Tuban dan jumlah air yang digunakan adalah air dari *water/cementitious material* (w/cm) ditambahkan dengan 0.325 dari berat CaO yang digunakan. Penggunaan suhu 50°C pada larutan kalsium hidroksida dilakukan untuk memanfaatkan panas yang dihasilkan dari reaksi CaO dengan air. Selain itu suhu 50°C merupakan suhu maksimum yang dapat dicapai oleh larutan kalsium hidroksida yang dengan kadar kalsium hidroksida terendah. CaCO₃ yang digunakan memiliki mesh No. 2000 dan *gypsum* yang digunakan berasal dari *gypsumboard* yang dihancurkan lalu digiling selama 1 jam menggunakan *ball mill*. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir silika yang berasal dari Tuban. Hasil PSA dari semen, *calcined clay* dan CaCO₃ dapat dilihat pada **Gambar 1** dan hasil analisa ayakan dari *calcined clay* dapat dilihat pada **Tabel 1**. Analisa ayakan pada *calcined clay* dilakukan dengan mengayak *calcined clay* yang telah digiling menggunakan ayakan No. 200, 325 dan 400.

Tabel 2. Hasil Analisa Ayakan Calcined Clay

No.	Lama Penggilingan	% Tertahan			
		No. 200	No. 325	No. 400	Dasar
1	1	13%	23%	59%	5%
2	2	1%	14%	75%	10%
3	4	4%	13%	36%	47%



Gambar 1. Hasil PSA

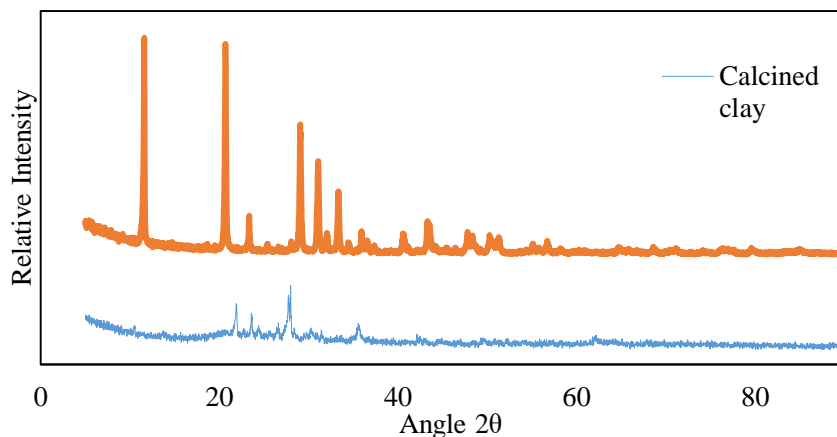
Hasil PSA dari semen, *calcined clay* dan CaCO_3 dapat dilihat pada **Gambar 1** dan hasil analisa ayakan dari *calcined clay* dapat dilihat pada **Tabel 1**. Perbedaan hasil PSA dan analisa ayakan dari *calcined clay* yang digiling selama 4 jam disebabkan adanya gaya tarik antar partikel yang timbul akibat lamanya penggilingan. Sehingga pada saat dilakukan uji PSA partikel dari *calcined clay* menggumpal. Dapat dilihat pada **Gambar 1**, ukuran partikel dari *calcined clay* yang digiling selama 2 jam memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan OPC dengan persentase tertahan sebesar 15% pada ayakan No. 325. Pada **Tabel 3** dapat dilihat pada *Specific gravity* dan *specific surface area* dari material. Selain itu pengujian XRD juga dilakukan pada *calcined clay* dan *gypsum*, yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Specific Gravity dan Specific Surface Area Material

No.	Material	GS	SSA (cm^2/g)
1	<i>Calcined clay</i> (1 jam)	2,44	12873,3
2	<i>Calcined clay</i> (2 jam)	2,48	9578,7
3	<i>Calcined clay</i> (4 jam)	2,55	5749,4
4	OPC	2,92	133231,2
5	CaCO_3	2,69	8596,3

Tabel 4. Kandungan Senyawa Material dari Pengujian XRD

No.	Material	Senyawa	Persentase
1	<i>Gypsum</i>	<i>Calcium Sulfate Hydrate</i>	94%
		<i>Calcium Sulfate</i>	6%
2	<i>Calcined clay</i>	<i>Calcium Sodium Aluminum Silicate</i>	87%
		<i>Potassium Sodium Aluminum Silicate</i>	13%

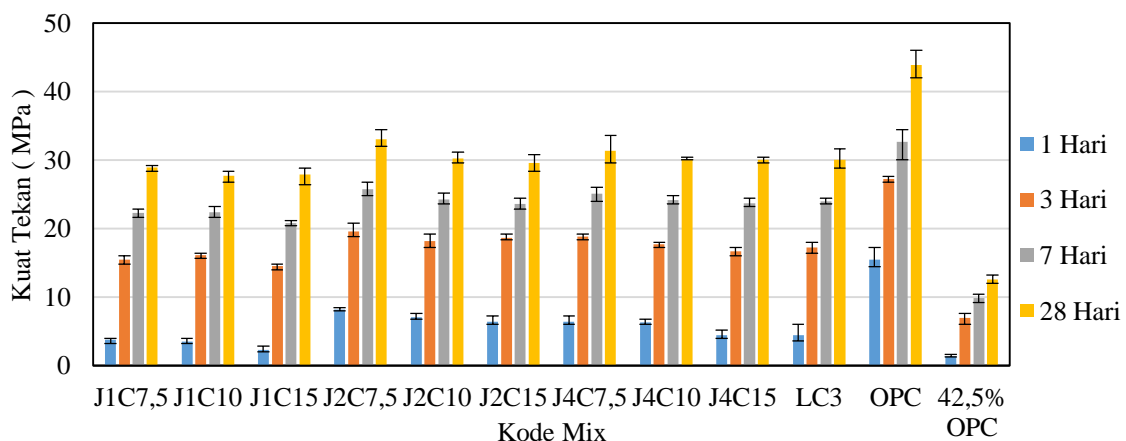


Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian XRD

3. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kuat Tekan Mortar

Uji kuat tekan dilakukan pada saat mortar berumur 1, 3, 7 dan 28 hari. pengujian kuat tekan mortar dilakukan berdasarkan ASTM C 109 / C 109 M – 07. Dapat dilihat pada **Gambar 2** bahwa pada umur 28 hari mortar sampel dengan *calcined clay* yang digiling selama 2 dan 4 jam mampu menghasilkan kuat tekan yang kurang lebih sama dibandingkan dengan mortar kontrol LC3. kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh mortar sampel J2C7,5 yaitu 33 MPa. Dimana mortar kontrol LC3 pada umur 28 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 30 MPa. Pada saat *calcined clay* yang digunakan di perhalus dengan meningkatkan waktu penggilingan menjadi 4 jam pada mortar sampel J4C7,5, kuat tekan mortar yang dihasilkan mengalami sedikit penurunan menjadi 31 MPa. Namun pada saat persentase penggantian semen dengan larutan kalsium hidroksida ditingkatkan. Mortar sampel dengan *calcined clay* yang digiling selama 2 jam mengalami penurunan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan mortar sampel dengan *calcined clay* yang digiling selama 4 jam. Dimana penurunan kuat tekan dari mortar sampel J2C7,5 ke J2C15 sebesar 3,5 MPa. Sedangkan untuk mortar J4C7,5 ke J4C15 penurunan kuat tekan yang dialami sebesar 1,3 MPa.



Gambar 3. Hasil Test Tekan Mortar Sampel dan Mortar Kontrol

Pada saat mortar sampel dibandingkan dengan mortar kontrol OPC, mortar sampel belum dapat mencapai kuat tekan yang sama dengan mortar OPC. Mortar sampel J2C7,5 yang merupakan mortar

dengan kuat tertinggi baru mampu mencapai 75% dari kuat tekan mortar kontrol OPC. Dimana pada penelitian yang dilakukan oleh antoni et al (2012) mortar LC3 mampu mencapai kuat tekan mortar 100% OPC. Pada umur 1 hari mortar sampel dengan *calcined clay* yang digiling selama 2 dan 4 jam menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mortar kontrol LC3. Pada mortar sampel tersebut kandungan semen yang dimiliki lebih sedikit dibandingkan dengan mortar kontrol LC3, dimana besarnya kuat tekan pada umur awal mortar sangat bergantung pada semen yang dikandung di dalam campuran. Peningkatan kuat tekan mortar sampel dibandingkan dengan mortar kontrol LC3 tertinggi dihasilkan oleh mortar J2C7,5 dengan kuat tekan 1,85 kali kuat tekan mortar kontrol LC3. Hal ini disebabkan karena suhu campuran larutan kalsium hidroksida yang digunakan sehingga meningkatkan suhu campuran saat pengecoran dan hal ini yang mempercepat reaksi hidrasi dari campuran.

3.2 Initial Setting Time, Flow dan Kebutuhan Superplastiziser Mortar

Pada **Tabel 5**, mortar sampel rata-rata memiliki waktu *initial setting time* 120 ± 10 menit, kecuali mortar J1C7,5 yang memiliki waktu *initial setting time* 180 menit. Pada mortar kontrol LC dan 42,5% OPC memiliki waktu *initial setting time* 220 dan 225 menit. Sedangkan pada mortar kontrol OPC waktu *initial setting time* adalah 190 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin sedikit penggunaan OPC dalam campuran maka waktu *initial setting time* dari mortar segar semakin lama. Dari 9 campuran sampel yang diteliti ini menunjukkan waktu *initial setting time* yang kurang lebih sama dan lebih cepat dibandingkan dengan 3 campuran kontrol. Dari hasil tersebut diketahui bahwa kehalusan dari *calcined clay* maupun penggunaan kalsium hidroksida sebagai pengganti sebagian semen tidak mempengaruhi *initial setting time* dari mortar segar. Hal yang menyebabkan waktu *initial setting time* dari mortar sampel menjadi lebih cepat dibanding mortar kontrol adalah suhu campuran larutan kalsium hidroksida yang dikunci pada suhu 50°C. Penggunaan suhu 50°C pada larutan kalsium hidroksida menyebabkan suhu dari campuran mortar menjadi meningkat dan mempercepat reaksi hidrasi dari OPC sehingga *initial setting time* dari mortar menjadi lebih cepat. Hasil *slump flow* dan kebutuhan SP pada **Tabel 5**, menunjukkan penggunaan larutan kalsium hidroksida sebagai pengganti sebagian semen mengakibatkan turunnya nilai *slump flow* dari mortar sampel. Semakin tinggi persentase penggantian semen dengan larutan kalsium hidroksida nilai *slump flow* yang dihasilkan semakin menurun. Pada saat penggantian semen sebesar 15%, diperlukan penambahan SP untuk mencapai nilai *slump flow* minimum yaitu 15 cm

Tabel 5. Waktu Initial Setting Time, Slump Flow dan kebutuhan SP mortar

No.	Kode	Setting Time (menit)	Slump flow (cm)	SP (%)
1	J1C7,5	180	16,5	-
2	J1C10	120	15,5	-
3	J1C15	120	15,5	0,133
4	J2C7,5	120	16	-
5	J2C10	115	15	-
6	J2C15	110	15	0,796
7	J4C7,5	120	17	-
8	J4C10	130	15,5	-
9	J4C15	120	15	0,208
10	LC3	220	20	-
11	OPC	190	23,5	-
12	42,5% OPC	225	20,5	-

4. KESIMPULAN

Dari penelitian mortar LC3 dengan memvariasi kehalusan dari *calcined clay* yang digunakan dan menggantikan sebagian semen pada campuran LC3 dengan kalsium hidroksida. Dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Semakin halus ukuran partikel *calcined clay* yang digunakan dalam campuran mortar terbukti dapat menghasilkan mortar dengan kuat tekan yang lebih tinggi. Ukuran partikel optimum berasal dari *calcined clay* yang digiling selama 2 jam (tertahan 15% pada ayakan No. 325), dimana mortar dengan *calcined clay* yang digiling selama 2 jam menghasilkan kuat tekan tertinggi.
2. Penggantian sebagian semen dengan larutan kalsium hidroksida pada mortar LC3 terbukti dapat menghasilkan mortar dengan kuat tekan yang kurang lebih sama dibandingkan dengan mortar LC3 kontrol.
3. Kuat tekan mortar dari mortar sampel belum dapat mencapai kuat tekan dari mortar kontrol 100% OPC. Dimana kuat tekan mortar sampel tertinggi baru mampu mencapai 75% dari kuat tekan mortar 100% OPC.
4. Semua mortar sampel memiliki *intial setting time* yang kurang lebih sama dan lebih cepat dibandingkan dengan mortar kontrol. Lebih cepatnya *initial setting time* dari semua mortar sampel dikarenakan penggunaan suhu larutan kalsium hidroksida sebesar 50°C meningkatkan suhu dari campuran mortar sehingga mempercepat reaksi hidrasi dari OPC.
5. Semakin tinggi persentase penggantian sebagian semen dengan kalsium hidroksida dan semakin halus ukuran partikel dari *calcined clay* yang digunakan, mengakibatkan penurunan terhadap kelecakan mortar segar yang dihasilkan.

5. DAFTAR REFERENSI

- Alujas, A., Fernández, R., Quintana, R., Scrivener, K. L., & Martirena, F. (2015). Pozzolanic Reactivity of Low Grade Kaolinitic Clays: Influence of Calcination Temperature and Impact of Calcination Products on OPC Hydration. *Applied Clay Science*, 108, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.01.028>
- Antoni, M., Rossen, J., Martirena, F., & Scrivener, K. (2012). Cement Substitution by a Combination of Metakaolin and Limestone. *Cement and Concrete Research*, 42(12), 1579–1589. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006>
- Antoni, Chandra, L., & Hardjito, D. (2015). The Impact of Using Fly Ash, Silica Fume and Calcium Carbonate on the Workability and Compressive Strength of Mortar. *Procedia Engineering*, 125, 773–779. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.132>
- Ferreiro, S., Canut, M. M. C., Lund, J., Herfort, D., A, C. H. S., & S, A. P. A. (2019). Influence of Fineness of Raw Clay and Calcination Temperature on the Performance of Calcined Clay-Limestone Blended Cements. *Applied Clay Science*, 169(July 2018), 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.12.021>
- Sabir, B., Wild, S., & Bai, J. (2001). Metakaolin and Calcined Clays as Pozzolans for Concrete: A Review. *Cement and Concrete Composites*, 23(6), 441–454. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5)
- Scrivener, K. (2014). Options for the Future of Cement. *Indian Concrete Journal*, 88(7), 11–21. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0045\(19990501\)39:2<108::AID-PROS5>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0045(19990501)39:2<108::AID-PROS5>3.0.CO;2-9)
- Scrivener, K. (2014). Options for the Future of Cement. *Indian Concrete Journal*, 88(7), 11–21. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0045\(19990501\)39:2<108::AID-PROS5>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0045(19990501)39:2<108::AID-PROS5>3.0.CO;2-9)
- Setiono, K., Christiono, N., Antoni, & Hardjito, D. (2018). Pengaruh Penggantian Sebagian Fly Ash dengan Kalsium Hidroksida terhadap Karakteristik Mortar 100% Fly Ash. Universitas Kristen Petra.

