

PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN FLY ASH DENGAN BERBAGAI KALSIMUM HIDROKSIDA TERHADAP KARAKTERISTIK MORTAR 100% FLY ASH

Kent Setiono¹, Nico Christiono², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : *Fly ash* telah banyak digunakan sebagai *additive* maupun pengganti semen yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan semen. Permasalahan yang sering terjadi dalam penggunaan *fly ash* adalah kadar kalsium yang dimiliki *fly ash* lebih rendah dibandingkan kadar kalsium pada semen yang menyebabkan rendahnya kuat tekan campuran mortar ataupun beton. Oleh karena itu diperlukan penambahan senyawa kalsium hidroksida pada campuran mortar yang berfungsi untuk meningkatkan kuat tekan mortar 100% *fly ash*. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan ini, dapat disimpulkan bahwa penggantian *fly ash* dengan berbagai jenis sumber kalsium hidroksida pada campuran mortar 100% *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan mortar itu sendiri. Kalsium hidroksida yang paling berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan mortar adalah kalsium hidroksida yang bersumber dari limbah karbit dan gamping. Kadar optimum penggantian *fly ash* dengan kalsium hidroksida untuk campuran yang menggunakan *fly ash* tipe C dan tipe F adalah 40% dan 50% penggantian, dimana kuat tekan yang dicapai adalah 41.03 MPa dan 36.8 MPa untuk *fly ash* tipe C dan F pada umur 28 hari. Penggantian *fly ash* dengan kalsium hidroksida juga berbanding lurus dengan kebutuhan *Superplasticizer* (SP) tiap campuran, dimana semakin tinggi penggantian *fly ash* dengan kalsium hidroksida, semakin banyak pula kadar SP yang dibutuhkan.

KATA KUNCI: 100% *fly Ash*, *fly Ash* tipe C, *fly ash* tipe F, kalsium hidroksida, limbah karbit, gamping, *superplasticizer*.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan *fly ash* telah banyak digunakan baik sebagai *additive*, maupun sebagai pengganti semen yang bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi yang dibutuhkan dalam pembuatan beton, dimana pada umumnya *fly ash* ini diklasifikasikan menjadi 2 tipe yaitu tipe F dan tipe C (Wardhono, 2018).

Fly ash sebagai material pengganti semen sudah banyak digunakan, baik *fly ash* tipe C, ataupun *fly ash* tipe F. Dalam penggunaannya sebagai pengganti semen, banyak kadar semen yang digantikan dengan *fly ash* ini dapat mencapai 50% yang disebut dengan *High Volume Fly Ash* (Gunaseelan & Ramalingam, 2016). Bahkan dalam perkembangannya, pergantian semen dengan *fly ash* baik tipe C maupun tipe F bisa mencapai 100% (Cross & Stephens, 2008; Law, 2016)

Berkaitan dengan penggunaan *fly ash* 100% baik tipe C maupun tipe F, kadar kalsium yang dimiliki cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kadar kalsium yang dimiliki oleh semen. Hal ini menyebabkan kuat tekan dari beton 100% *fly ash* lebih rendah dari beton yang menggunakan semen. Oleh karena itu perlu ditambahkan senyawa kalsium hidroksida pada campuran beton 100% *fly ash* (George & Sofi, 2017). Kalsium hidroksida merupakan senyawa yang bisa didapatkan dengan cara mencampurkan air dengan senyawa kalsium oksida (Shakhashiri, 2003).

Penelitian mengenai penambahan senyawa kalsium hidroksida ke dalam campuran beton sudah beberapa kali dilakukan (Barbhuiya, Gbagbo, Russell, & Basheer, 2009; Dueramae, Tangchirapat,

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415155@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415066@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

Chindaprasirt, Jaturapitakkul, & Asce, 2013; Handoyo & Sutanto, 2016; Makaratat, Jaturapitakkul, & Laosamathikul, 2010; Thomas & Angdiarto, 2018). Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tersebut, menggunakan senyawa kalsium hidroksida sebagai tambahan terbukti dengan penambahan senyawa kalsium hidroksida tersebut dapat meningkatkan kuat tekan dari beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh substitusi sebagian *fly ash* dengan berbagai senyawa kalsium hidroksida yang berasal dari berbagai sumber terhadap karakteristik mortar seperti kuat tekan, kebutuhan *superplasticizer*, dan *initial setting time*.

2. DETAIL PENELITIAN

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe C yang diambil dari PLTU Paiton unit 9, Probolinggo, Jawa Timur. Dan *fly ash* tipe F yang diambil dari PLTU Suralaya, Cilegon, Jawa Barat. Kandungan kimia dalam *fly ash* dapat dilihat pada **Tabel 1**. Air yang digunakan adalah air suling. Empat jenis kalsium hidroksida yang digunakan merupakan hasil reaksi kalsium oksida dengan air, hasil reaksi batu gamping dengan air, limbah karbit dan kalsium hidroksida yang dibeli dari toko. Pasir yang digunakan adalah pasir silika dan *superplasticizer* yang digunakan adalah Viscocrete 1003 tipe *polycarboxylate* dari Sika.

Tabel 1. Kandungan Kimia Hasil Tes XRF

Sumber	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO ₂	SO ₃	LOI
Paiton	36.57	19.06	11.32	19.5	2.45	6.21	1.35	0.75	0.21	0.15	1.3	0.63
Suralaya	45.21	28.06	8.24	6.83	3.27	3.09	1.39	0.84	0.28	0.16	0.58	1.58

Limbah karbit yang digunakan pada penelitian ini diambil dari area pembuangan sisa produksi dari PT. Surabaya Mekabox yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Limbah karbit yang dihasilkan tiap bulannya dapat mencapai 50 ton. Pada penelitian kali ini, limbah karbit didapatkan dalam bentuk basah sehingga harus dikeringkan terlebih dahulu jika ingin digunakan dalam campuran. Pengeringan limbah karbit dilakukan pada oven bersuhu 110°C selama 24 jam.



Gambar 1. Area Pembuangan Hasil Sisa Produksi Gas Asetilen

Jumlah air yang digunakan untuk mereaksi-kal kalsium oksida dan gamping adalah 150% dari berat CaO dan gamping yang akan direaksikan, pemberian jumlah air ini sengaja diberikan secara berlebih agar memastikan CaO dan gamping yang direaksikan sudah bereaksi sepenuhnya. Hasil reaksi tadi dikeringkan di dalam oven bersuhu 110°C selama 24 jam untuk memastikan bahwa seluruh kalsium hidroksida yang digunakan dalam kondisi kering. Semua kalsium hidroksida yang didapatkan dari limbah karbit, hasil reaksi kalsium oksida, hasil reaksi gamping dan kalsium hidroksida yang dibeli dari toko ditumbuk terlebih dahulu, lalu diayak menggunakan ayakan mesh no.100 (ukuran 150 µm).

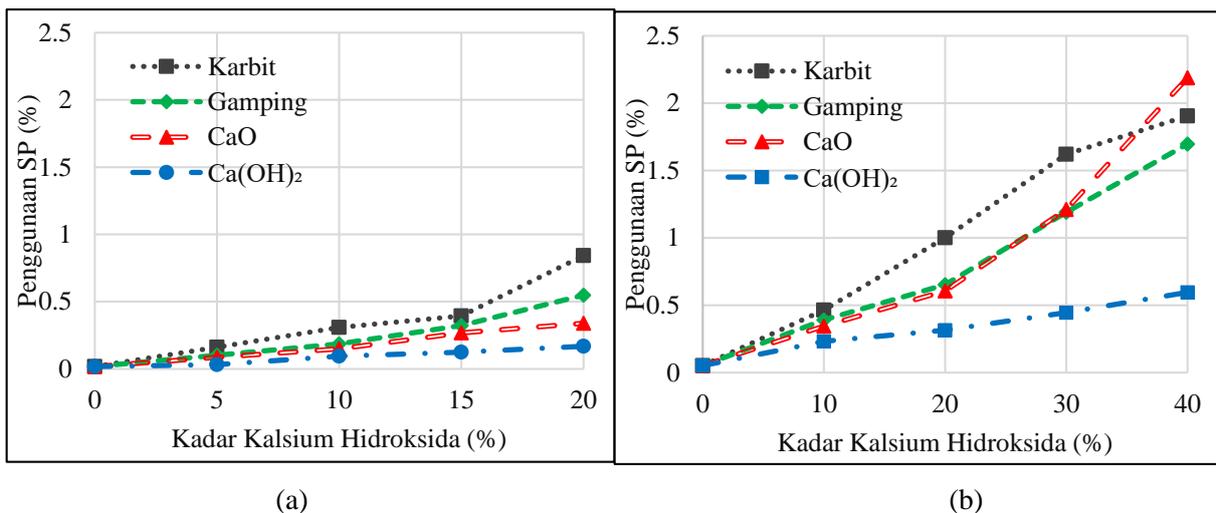
Komposisi jumlah campuran *cementitious* dan jumlah pasir yang digunakan pada campuran mortar pada penelitian ini adalah 1:2, dengan perbandingan *water/cementitious* (w/cm) sebesar 0.25. *Cementitious*

yang dimaksud adalah *fly ash* tipe C maupun tipe F dan kalsium hidroksida. Kadar kalsium yang digantikan berbeda-beda tergantung tipe *fly ash* yang digunakan dalam campuran, untuk campuran yang menggunakan *fly ash* tipe C, kadar penggantian *fly ash*-nya sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%. Sedangkan campuran yang menggunakan *fly ash* tipe F, kadar penggantian *fly ash*-nya sebesar 20%, 20%, 30%, 40%.

Pencampuran mortar dimulai dengan menyiapkan semua bahan-bahan dalam kondisi kering dan alat-alat yang akan digunakan. Bahan-bahan kering yang sudah disiapkan kemudian dicampur dalam kondisi kering. Setelah campuran merata, air dimasukkan lalu dilanjutkan dengan pencampuran menggunakan *mixer*. Jika adonan yang sudah tercampur dianggap masih kurang lecah maka perlu ditambahkan *Superplasticizer* (SP) untuk memenuhi persyaratan kelecakan yang sudah ditentukan, yaitu sebesar 15 ± 1 cm dalam *flow table test*. Kemudian campuran dicetak dalam bekisting kubus berukuran $5 \times 5 \times 5$ cm³, dan dilakukan penggetaran untuk memadatkan campuran. *Curing* sampel dilakukan dengan memasukkan adonan ke dalam oven bersuhu 60°C selama 24 jam, setelah itu disimpan dalam plastik *zipper* hingga waktu pengujian yang sudah ditetapkan. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kuat tekan, kebutuhan SP, dan *initial setting time*. Kuat tekan yang didapatkan dalam penelitian kali ini diperoleh dalam waktu 7, 28, dan 56 hari dimana data kuat tekan tersebut didapatkan dari rata-rata dari 3 sampel mortar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Penggantian *Fly Ash* dengan Kalsium Hidroksida terhadap Kebutuhan SP



Gambar 2. Kebutuhan SP pada Campuran : (a) *Fly Ash* Tipe C dan (b) *Fly Ash* Tipe F

Karena dalam penelitian ini campuran mortar memiliki diameter *flow*, dan *w/cm* yang konstan, maka dibutuhkan *superplasticizer* (SP) untuk menjaga adonan agar tetap dalam diameter yang diinginkan yaitu 15 ± 1 cm. Dapat dilihat pada Gambar 2, kebutuhan SP yang dibutuhkan oleh campuran untuk mencapai diameter *flow* 15 ± 1 cm terus meningkat seiring dengan semakin banyaknya jumlah *fly ash* yang digantikan dengan kalsium hidroksida. Keempat jenis kalsium membutuhkan tambahan SP yang berbeda-beda untuk mencapai *flow* yang diinginkan. Berdasarkan data yang telah diperoleh, kalsium hidroksida yang berasal dari limbah karbit merupakan kalsium hidroksida yang paling banyak membutuhkan SP, diikuti secara berurutan oleh kalsium hidroksida yang berasal dari gamping, CaO, dan kalsium hidroksida yang dibeli dari toko.

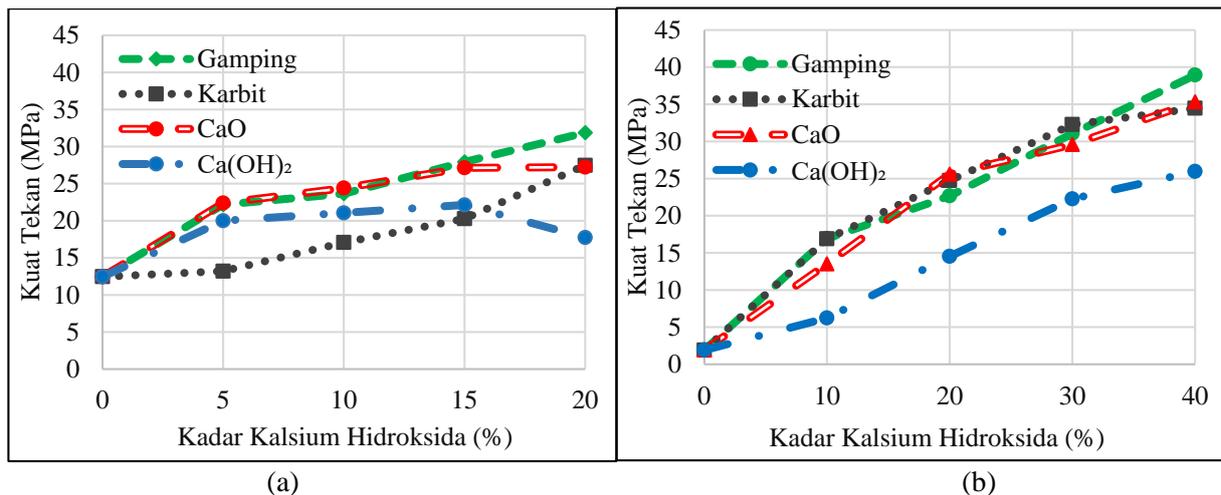
3.2 Pengaruh Penggantian *Fly Ash* dengan Kalsium Hidroksida terhadap Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan spesimen dilakukan pada 7, 28, dan 56 hari, dimana pengujian kuat tekannya didapatkan dari rata-rata 3 sampel. Nilai kuat tekan dari keseluruhan campuran baik campuran yang menggunakan *fly ash* tipe C maupun F dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kuat Tekan Campuran yang Menggunakan Penggantian *Fly Ash* dengan Berbagai Tipe Kalsium Hidroksida

Sumber kalsium	Fly ash C (%)	Ca(OH) ₂ (%)	SP (%)	Kuat tekan (MPa)	
				7 hari	28 hari
Kontrol	100	0	0.02	6.8	12.46
Gamping	95	5	0.1	11.7	22.18
	90	10	0.19	9.4	23.65
	85	15	0.32	20.15	27.93
	80	20	0.55	22.87	31.87
Karbit	95	5	0.16	10.67	13.2
	90	10	0.31	16.73	17.07
	85	15	0.39	14.53	20.27
	80	20	0.84	24.33	27.47
CaO	95	5	0.09	14.61	22.39
	90	10	0.25	14.4	24.4
	85	15	0.27	13.02	27.13
	80	20	0.34	16.81	27.23
Toko	95	5	0.03	9.07	20
	90	10	0.1	8.93	21.06
	85	15	0.12	8.58	22.13
	80	20	0.17	3.02	17.75

Sumber kalsium	Fly ash F (%)	Ca(OH) ₂ (%)	SP (%)	Kuat tekan (MPa)	
				7 hari	28 hari
Kontrol	100	0	0.05	1.01	1.91
Gamping	90	10	0.39	5.02	17
	80	20	0.65	12.18	22.67
	70	30	1.19	26	31.07
	60	40	1.7	29.73	38.93
Karbit	90	10	0.46	8.4	16.89
	80	20	1	23.33	24.74
	70	30	1.62	29.2	32.27
	60	40	1.91	30.27	34.47
CaO	90	10	0.34	6.14	13.6
	80	20	0.61	16.8	27.2
	70	30	1.21	20.87	29.8
	60	40	2.19	22.8	35.33
Toko	90	10	0.23	2.77	5.74
	80	20	0.32	5.38	14.8
	70	30	0.45	17.07	22.27
	60	40	0.6	20.4	25.95



Gambar 3. Kuat Tekan Campuran pada 28 hari : (a) *Fly Ash* Tipe C, (b) *Fly Ash* Tipe F

Gambar 3 menunjukkan grafik peningkatan kuat tekan seiring meningkatnya jumlah penggantian *fly ash* dengan kalsium hidroksida pada mortar 100% *fly ash*. Kuat tekan 28 hari pada campuran dengan *fly ash* tipe C berkisar antara 14.93 sampai 31.87 MPa, sedangkan hasil kuat tekan untuk campuran dengan *fly ash* tipe F berkisar antara 1.91 sampai 38.93 MPa tergantung banyak penggantian *fly ash* dengan

kalsium hidroksida-nya. Penggantian *fly ash* tipe C dengan kalsium hidroksida yang diperoleh dari reaksi gamping hingga 20% dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 255.8% dari mortar kontrol. Sedangkan pada *fly ash* tipe F, penggantian *fly ash* dengan kalsium hidroksida gamping sebanyak 40% dapat meningkatkan kuat tekan mortar sebesar 2038% dari mortar kontrol.

Terdapat perbedaan kuat tekan antara campuran kalsium hidroksida yang satu dengan lainnya diduga karena reaktivitas yang dimiliki oleh masing-masing kalsium hidroksida berbeda sehingga reaksi *pozzolan* yang terjadi pun juga semakin lambat menyebabkan kuat tekan yang diperoleh pun juga bermacam-macam tergantung dari kalsium hidroksida yang digunakan. Dilihat dari hasil analisa pH yang telah dilakukan pada **Tabel 3**, kuat tekan dari mortar berbanding lurus dimana semakin tinggi nilai pH yang dimiliki oleh kalsium hidroksida, maka kuat tekan mortar yang diperoleh pun juga akan semakin besar.

Tabel 3. pH Material

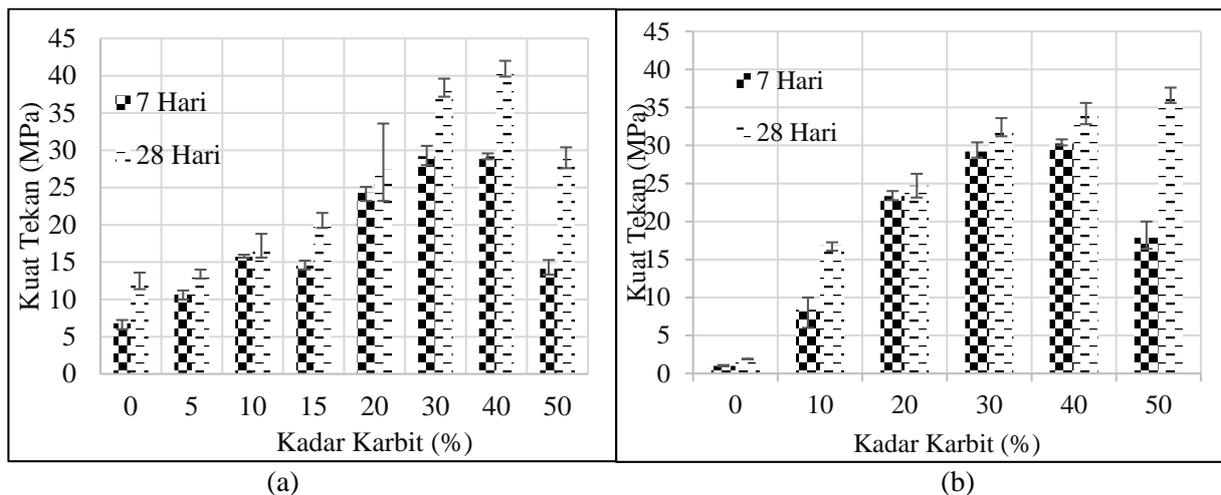
Material		pH Larutan	
		Setelah Mengendap	Setelah 30 menit
<i>Fly Ash Paiton</i>		12.4	12.6
<i>Fly Ash Suralaya</i>		10.1	10.1
Ca(OH) ₂ yang bersumber dari :	Gamping	11.9	12.2
	Limbah karbit	11.9	12.1
	CaO	11.9	12
	Toko	11.9	11.9

3.3 Kadar Optimum Penggantian Sebagian *Fly Ash* dengan Kalsium Hidroksida dari Limbah Karbit

Berdasarkan hasil kuat tekan yang didapat pada **Gambar 3**, tren kekuatan dari mortar cenderung terus naik seiring dengan semakin banyaknya jumlah *fly ash* yang digantikan dengan kalsium hidroksida. Oleh karena itu, variasi jumlah penggantian *fly ash* ditambahkan pada campuran yang menggantikan *fly ash* dengan kalsium hidroksida yang berasal dari limbah karbit. Penggantian dilakukan hingga mencapai 50% dari jumlah *fly ash* karena bila penggantian dilakukan lebih dari itu maka campuran akan susah untuk dikerjakan karena membutuhkan jumlah *superplasticizer* yang terlalu banyak, sedangkan limbah karbit sendiri dipilih untuk mempresentasikan kalsium hidroksida yang lainnya karena pada umur 7 hari, penggantian *fly ash* dengan limbah karbit menunjukkan hasil kuat tekan yang paling signifikan. Kuat tekan pada setiap campuran dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kuat Tekan Campuran yang Menggunakan Penggantian *Fly Ash* dengan Kalsium Hidroksida dari Limbah Karbit

<i>Fly Ash C</i> (%)	Limbah Karbit (%)	<i>Fly Ash C</i>			<i>Fly Ash F</i>		
		SP (%)	7 hari (MPa)	28 hari (MPa)	SP (%)	7 hari (MPa)	28 hari (MPa)
100	0	0.018	6.8	12.46	0.052	1.01	1.91
95	5	0.161	10.67	13.20	-		
90	10	0.308	15.73	17.07	0.464	8.4	16.89
85	15	0.394	14.53	20.27	-		
80	20	0.842	24.33	27.47	1.001	23.33	24.74
70	30	1.397	29.21	38.07	1.62	29.2	32.27
60	40	2.312	29.20	41.03	1.905	30.27	34.47
50	50	5.478	14.12	28.93	3.077	17.87	36.8

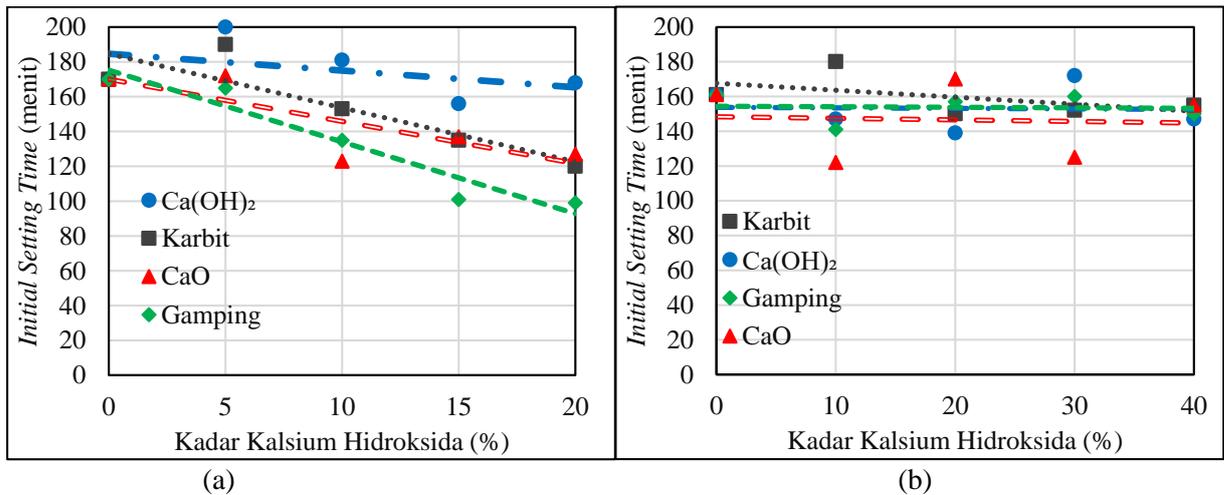


Gambar 4. Kuat Tekan Campuran yang Menggunakan Penggantian *Fly Ash* dengan Kalsium Hidroksida dari Limbah Karbit : (a) *Fly Ash* Tipe C, (b) *Fly Ash* Tipe F

Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa kadar optimum yang dibutuhkan oleh campuran yang menggunakan *fly ash* tipe C untuk mencapai kekuatan tertinggi adalah dengan melakukan penggantian *fly ash* dengan limbah karbit sebanyak 40% dimana kekuatan yang didapatkan mampu mencapai 41.03 MPa pada umur 28 hari nya. Sedangkan pada campuran yang menggunakan *fly ash* tipe F, kadar optimum yang didapatkan untuk umur 7 hari dan 28 hari berbeda dimana pada umur 7 hari kadar optimum yang didapatkan adalah 40% dimana kuat tekan mampu mencapai 30.27 MPa dan ketika jumlah penggantian mencapai 50% maka kekuatan akan menurun. Tetapi pada umur 28 hari, kadar optimum justru dicapai oleh campuran yang menggunakan penggantian sebanyak 50%, hal ini diduga karena *superplasticizer* yang digunakan pada campuran terlalu banyak sehingga *superplasticizer* justru memberikan sifat retardasi pada campuran dan menghambat reaksi awal campuran yang menyebabkan kuat tekan 7 hari campuran menjadi lebih rendah. Tren kuat tekan yang didapatkan dari penggantian *fly ash* tipe F dengan limbah karbit ini sendiri sebenarnya belum selesai karena semakin banyak jumlah *fly ash* tipe F yang digantikan dengan limbah karbit, maka kuat tekan yang dicapai oleh campuran tersebut juga akan semakin tinggi, namun karena penggantian *fly ash* tipe F di atas 50% tidak dapat dikerjakan karena membutuhkan *superplasticizer* yang terlalu banyak, maka kadar optimum penggantian *fly ash* tipe F dengan limbah karbit diambil pada batas akhir dimana campuran tersebut masih bisa dikerjakan, yaitu 50%.

3.4 Pengaruh Penggantian *Fly Ash* dengan Kalsium Hidroksida terhadap *Initial Setting Time*

Karena kalsium hidroksida yang digunakan sebagai pengganti *fly ash* berasal dari beberapa sumber dan kadarnya yang berbeda-beda, maka diperlukan pengujian *initial setting time* untuk mengetahui efek dari penggantian *fly ash* dengan kalsium hidroksida terhadap lama waktu pengikatan awal mortar. Alat yang digunakan untuk pengujian *initial setting time* adalah *penetrometer* dimana pengujian ini dilakukan pada suhu ruangan yang berkisar pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$.



Gambar 5. Initial Setting Time Mortar dengan 4 Jenis Kalsium :
(a) Fly Ash Tipe C, (b) Fly Ash Tipe F

Initial setting time pada mortar segar yang menggunakan *fly ash* tipe C dapat dilihat pada **Gambar 5(a)**, dimana dapat dilihat dengan semakin banyaknya jumlah *fly ash* yang digantikan dengan kalsium hidroksida, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *initial setting time* juga semakin cepat. Sedangkan pada **Gambar 5(b)**, dapat dilihat bahwa *initial setting time* dari mortar yang menggunakan penggantian *fly ash* tipe F memiliki *initial setting time* yang cenderung konstan dimana rata-rata memiliki lama waktu di atas 120 menit untuk mencapai *initial set*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bisa disimpulkan bahwa :

1. Penggantian sebagian *fly ash* dengan kalsium hidroksida pada kadar tertentu, baik *fly ash* tipe C maupun *fly ash* tipe F terbukti mampu meningkatkan kuat tekan.
2. Kalsium hidroksida terbaik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kuat tekan dari mortar secara berurutan adalah kalsium hidroksida yang berasal dari limbah karbit, gamping, CaO dan yang langsung dibeli dari toko.
3. Kadar optimum penggantian *fly ash* tipe C dengan kalsium hidroksida adalah 40% dimana kuat tekan benda uji yang menggunakan campuran tersebut mampu mencapai kuat tekan hingga 41.03 MPa pada umur 28 hari.
4. Kadar optimum penggantian *fly ash* tipe F dengan kalsium hidroksida adalah 50% dimana kuat tekan benda uji yang menggunakan campuran tersebut mampu mencapai kuat tekan hingga 36.8 MPa pada umur 28 hari.
5. *Initial Setting Time* pada campuran *fly ash* tipe C cenderung semakin cepat dengan semakin banyaknya jumlah *fly ash* yang digantikan dengan kalsium hidroksida. Sedangkan pada campuran *fly ash* tipe F, *initial setting time* cenderung tidak terlalu berubah meskipun jumlah *fly ash* yang digantikan semakin banyak.
6. Kebutuhan *superplasticizer* cenderung semakin meningkat dengan semakin banyaknya jumlah *fly ash* yang digantikan dengan kalsium hidroksida pada suatu campuran. Hal ini berlaku pada *fly ash* tipe C maupun *fly ash* tipe F.

5. DAFTAR REFERENSI

- Barbhuiya, S. A., Gbagbo, J. K., Russell, M. I., & Basheer, P. A. M. (2009). "Properties of Fly Ash Concrete Modified with Hydrated Lime and Silica Fume". *Construction and Building Materials*, 23(10), 3233–3239. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.001>
- Cross, D., & Stephens, J. (2008). *Evaluation of the Durability of 100 Percent Fly Ash Concrete*. *Bioscience and Bioengineering*, 93(November 2006), 101–103.
- Dueramae, S., Tangchirapat, W., Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., & Asce, A. M. (2013). *Influence of Activation Methods on Strength and Chloride Resistance of Concrete Using Calcium Carbide Residue – Fly Ash Mixture as a New Binder*, 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001808](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001808).
- George, S., & Sofi, A. (2017). "Enhancement of Fly Ash Concrete by Hydrated Lime and Steel Fibres". *Materials Today: Proceedings*, 4(9), 9807–9811. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.271>
- Gunaseelan, A., & Ramalingam, K. M. (2016). "Experimental Study on Performance of High Volume Fly Ash Concrete". *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2(12), 187–195. Retrieved from <http://www.ijirst.org/articles/IJIRSTV2I12041.pdf>
- Handoyo, B. A., & Sutanto, D. R. (2016). *Studi Awal Pengembangan Beton 100% Fly Ash Kelas C Tanpa Aktivator*. Universitas Kristen Petra.
- Law, D. W. (2016). "100 % Cement Replaced High Volume Fly Ash Concrete." *Concrete in Australia*, 42(4), 37–41.
- Makaratat, N., Jaturapitakkul, C., & Laosamathikul, T. (2010). "Effects of Calcium Carbide Residue-Fly Ash Binder on Mechanical Properties of Concrete." *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(11), 1164–1170. [https://doi.org/Doi.10.1061/\(Asce\)Mt.1943-5533.0000127](https://doi.org/Doi.10.1061/(Asce)Mt.1943-5533.0000127)
- Shakhashiri. (2003). Lime : Calcium Oxide — CaO.
- Thomas, C. N., & Angdiarto, S. P. (2018). *Pengaruh Variasi Water/Fly Ash Ratio dan Metode Pencampuran Kalsium pada Pasta 100% Fly Ash Tipe C*. Universitas Kristen Petra.
- Wardhono, A. (2018). "Comparison Study of Class F and Class C Fly Ashes as Cement Replacement Material on Strength Development of Non-Cement Mortar." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012019>