

PENGARUH AKTIVASI NaOH PADA *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR *VERY HIGH VOLUME FLY ASH*

Edvan Benefisco¹, Stanley Filberto² and Djwantoro Hardjito³

ABSTRAK : Penggunaan semen yang semakin meningkat menyebabkan pencemaran CO₂ yang mempercepat *global warming*. *Fly Ash* (FA) yang merupakan limbah sisa pembakaran batu bara di PLTU adalah salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi pemakaian semen. Namun, mortar dari FA memiliki kuat tekan awal yang rendah akibat reaksi hidrasi *pozzolan* yang lambat. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan aktivasi NaOH pada FA untuk meningkatkan kuat tekan awal dan akhir mortar. Selain itu, metode *water bath* juga dapat meningkatkan kereaktifan FA karena suhu yang meningkat sehingga dapat meningkatkan kuat tekan awal dan akhir mortar. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, metode aktivasi FA kelas C dan FA kelas F dengan larutan NaOH encer yang optimum adalah dengan mencampurkan FA dengan larutan NaOH lalu dimasukkan ke dalam *water bath* dengan suhu 60 derajat. Lama waktu aktivasi optimum untuk FA kelas C adalah 30 menit sedangkan untuk FA kelas F adalah 2 jam. Aktivasi kimia dengan NaOH pada mortar dengan sistem FA dan Ca(OH)₂ menunjukkan peningkatan kuat tekan awal dan akhir yang signifikan. Selain itu, mortar FA dan OPC dengan sistem VHVFA (*very-High Volume Fly Ash*) dengan aktivasi NaOH menggunakan *water bath* pada konsentrasi rendah dapat meningkatkan kuat tekan awal dan akhir dari mortar.

KATA KUNCI : FA kelas C, FA kelas F, aktivasi kimia, mortar HVFA, mortar VHVFA, NaOH, Ca(OH)₂

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material utama yang sering dipakai dalam dunia konstruksi. Komponen utama dalam pembuatan beton adalah semen. Sebesar 8-10% dari total emisi CO₂ dunia berasal dari manufaktur semen (Suhendro, 2014). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi penggunaan semen berupa bahan pengganti alternatif semen yaitu *fly ash* yang menghasilkan lebih sedikit CO₂.

Beton yang memanfaatkan *fly ash* sebagai pengganti semen dengan kadar lebih besar dari 50% dikenal sebagai beton *High Volume Fly ash* (HVFA) (Antoni et al., 2018). Beton HVFA memiliki *workability* yang baik, kekuatan tarik dan tekan maksimum, dan ketahanan jangka panjang (Mehta, 2004). Namun beton HVFA memiliki kelemahan yaitu kekuatan awal yang rendah dan memiliki waktu *initial setting time* yang juga lama (Thomas, 2010). Oleh sebab itu, mortar HVFA diaktivasi dengan larutan NaOH encer mampu mempercepat reaksi hidrasi semen dan juga hidrasi *pozzolan* (Pratiwi et al., 2020). Selain itu, FA yang diaktivasi pada suhu 60 °C dapat meningkatkan reaktivitas FA (Wang & Ishida, 2019).

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180115@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180142@john.petra.ac.id

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

Setelah melakukan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, aktivasi *fly ash* dengan NaOH pada konsentrasi rendah mampu meningkatkan reaktivitas FA. Penelitian sebelumnya (Elizabeth & Soelatip, 2021) dengan aktivasi *fly ash* pada suhu panas menggunakan *treatment oven* dengan tujuan mempercepat reaksi aktivasi masih belum mencapai hasil yang optimum. Penggunaan oven ini menyebabkan penguapan air yang berlebihan sehingga kandungan air di dalam campuran tidak terkontrol. Penelitian sebelumnya juga belum dilakukan dengan penggunaan kadar FA yang tinggi pada mortar (VHVFA). Mortar VHVFA sendiri merupakan mortar dengan kadar *fly ash* lebih dari 60% (Yu et al., 2018). Tujuan dilakukan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh dari konsentrasi larutan NaOH encer pada aktivasi kimia *fly ash* terhadap reaktivitas *fly ash*. Kedua, menganalisa pengaruh suhu dan lama waktu aktivasi *fly ash* dengan larutan NaOH encer menggunakan *water bath* terhadap reaktivitas *fly ash*. Selain itu, penelitian ini menganalisa pengaruh aktivasi kimia pada *fly ash* dengan larutan NaOH encer terhadap kuat tekan dari mortar HVFA dan VHVFA.

2. DETAIL PENELITIAN

Fly ash yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* kelas C hasil pembakaran dari PLTU Paiton dan kelas F dari Tanjung Jati. *Fly ash* ini sudah diambil sejak tanggal 10 Agustus 2021. Untuk air yang digunakan adalah air mineral merk Cleo. Ca(OH)_2 yang digunakan pada penelitian ini diolah dari batu gamping yang didapatkan dari Kabupaten Tuban. Pasir yang digunakan adalah pasir silika. Sebelum pasir silika digunakan pada penelitian dilakukan dahulu uji kehalusan pasir menggunakan standar ASTM C778 (2009).

Penamaan sampel, C melambangkan *fly ash* dengan kalsium tinggi yang berasal dari PLTU Paiton dan F melambangkan *fly ash* dengan kalsium rendah yang diperoleh dari PLTU Tanjung Jati. Pada semua *mix design* yang dilakukan, berat NaOH yang terukur dalam bentuk padatan (*flakes*). Untuk pembuatan pasta dengan sistem *fly ash* dan substitusi Ca(OH)_2 menggunakan kadar w/b 0,4, untuk *fly ash* banding Ca(OH)_2 menggunakan perbandingan 7:3. Pada penelitian ini metode pencampuran untuk larutan NaOH terdiri dari dua jenis pencampuran, yaitu pencampuran NaOH dengan suhu ruangan sekitar 28°C dan pencampuran NaOH kedua menggunakan air dengan suhu ruangan lalu campuran tersebut dimasukkan ke dalam *water bath* dengan suhu panas sekitar 60°C. Untuk mortar dengan sistem *fly ash* dengan Ca(OH)_2 , urutan penamaan kode mortar dimulai dari jenis *fly ash* kelas C dan kelas F, lama waktu aktivasi 5 menit (5M), 30 menit (30M), 1 jam (1H), 2 jam (2H), dan konsentrasi NaOH [0.03, 0.1, 0.3]. Berdasarkan kandungan material untuk menganalisa pengaruh aktivasi NaOH terhadap mortar HVFA dan VHVFA, maka dibuat *binder* yang terdiri dari campuran antara *fly ash* dan OPC. Variasi kadar FA yang digunakan adalah 60% (HVFA) dan 80% (VHVFA) dari total *binder*. Semua campuran memiliki kadar w/b 0,4, semua campuran pada metode ini menggunakan metode aktivasi dengan menggunakan *water bath* dan lama waktu aktivasi 30 menit dan 2 jam.

Tabel 1. Mix Design Mortar Sistem Fly Ash dan Ca(OH)_2 dengan Variasi Konsentrasi NaOH

Kode	Kadar NaOH (M)	b/pasir	w/b	Ca(OH)_2 (gr)	Fly Ash (gr)	NaOH (gr)	Pasir (gr)	Air (gr)
C	0	0.5	0.4	300	700	0	2000	400
C[0.03]	0.03					0.48		
C[0.1]	0.1					1.6		
C[0.3]	0.3					4.8		
F	0					0		
F[0.03]	0.03					0.48		
F[0.1]	0.1					1.6		
F[0.3]	0.3					4.8		

Untuk *Mix design* mortar yang diaktivasi tanpa *water bath* dengan sistem *fly ash* dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat dilihat pada **Tabel 1**. Variasi lama waktu aktivasi dibagi menjadi 3 yaitu 30 menit, 1 jam dan 1 hari. Komposisi pada tabel dibuat untuk menghasilkan 3 benda uji kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm yang diuji kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari. Komposisi *Mix design* mortar yang diaktivasi menggunakan sistem *fly ash* dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat dilihat pada Tabel 3.1 untuk pengujian suhu dan lama waktu aktivasi dengan menggunakan *water bath*. Variasi lama waktu aktivasi dengan *water bath* dibagi menjadi 3, yaitu selama 30 menit (30M), 1 jam (1H), dan 2 jam (2H).

Hasil dari aktivasi menggunakan *water bath* dengan sistem *fly ash* dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menjadi dasar dari *mix design* mortar HVFA dan VHVFA. *Mix design* mortar HVFA dan VHVFA diaktivasi menggunakan *water bath* dibuat untuk mendapatkan kekuatan optimum pada mortar HVFA dan VHVFA dengan uji kuat tekan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Untuk Komposisi *mix design* mortar HVFA dan VHVFA dapat dilihat pada **Tabel 2**.

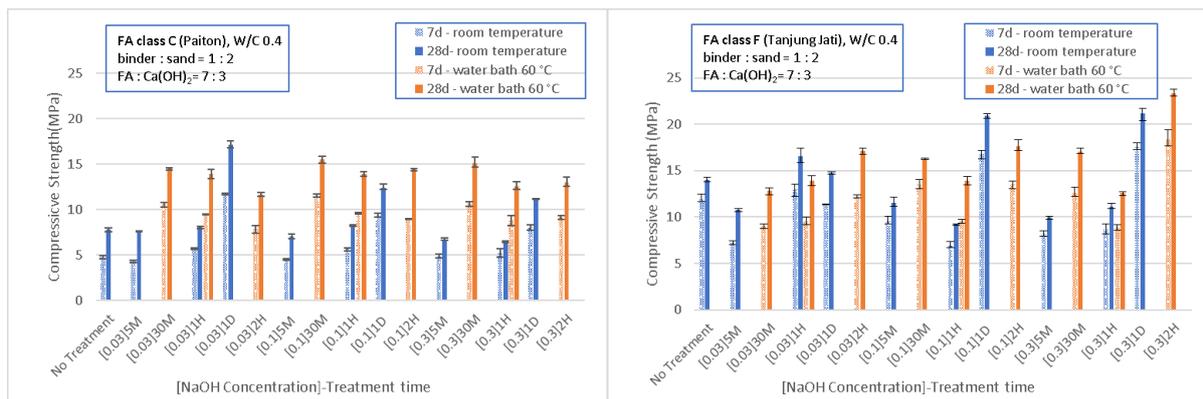
Tabel 2. *Mix Design* Mortar HVFA dan VHVFA Diaktivasi Menggunakan *Water Bath*

Kode	FA60[0.03]-30M	FA60[0.1]-30M	FA60[0.3]-30M	FA80[0.03]-2H	FA80[0.1]-2H	FA80[0.3]-2H
<i>Fly Ash</i> (gr)	720	720	720	960	960	960
NaOH (gr)	0.576	1.92	5.76	0.576	1.92	5.76
Water Bath (derajat)	60					
Lama Waktu	30 menit & 2 jam					
Pasir (gr)	2400	2400	2400	2400	2400	2400
OPC (gr)	480	480	480	480	480	480
Air (gr)	480					
SP (gr)	Sesuai kebutuhan					

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel mortar dibuat menggunakan bahan yaitu pasir silika sebagai agregat halus, *fly ash* yang diambil dari PLTU Paiton dan PLTU Tanjung Jati, dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan hasil olahan dari batu gamping. Dari bahan-bahan tersebut, dibuat mortar *fly ash* kelas C yang diaktivasi dengan NaOH, dengan substitusi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pengaktifasian *fly ash* dengan NaOH dilakukan dengan 2 jenis *treatment* yaitu aktivasi tanpa menggunakan *water bath* dan aktivasi dengan menggunakan *water bath*. Sampel mortar yang dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm yang diuji kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari. Hasil kuat tekan mortar diambil dari rata-rata pengujian 3 sampel.

Adanya perbedaan konsentrasi NaOH digunakan untuk menganalisis pengaruh aktivasi kimia terhadap kuat tekan mortar. Nilai *w/b* yang dipakai adalah 0,4, *binder* terdiri dari 7 *fly ash* : 3 $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 0,03M, 0,1M, dan 0,3M. Lama waktu aktivasi dibedakan menjadi 3 jenis. Untuk aktivasi tanpa menggunakan *water bath* yaitu 5 menit, 1 jam, dan 1 hari. Sedangkan untuk aktivasi menggunakan *water bath* yaitu 30 menit, 1 jam, dan 2 jam. *Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* Paiton kelas C dan *fly ash* Tanjung Jati kelas F. Hasil uji kuat tekan mortar dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kuat Tekan Mortar Fly Ash Kelas C dan F dengan Variasi Konsentrasi NaOH pada Umur 7 dan 28 Hari

Gambar 1 menunjukkan bahwa mortar *fly ash* kelas C yang diaktivasi tanpa *water bath* dengan konsentrasi NaOH 0.03M selama 1 hari memiliki hasil kuat tekan mortar tertinggi. Untuk *treatment* tanpa *water bath*, semakin lama waktu aktivasi semakin meningkat juga kekuatan tekan mortar. Melalui hasil pengujian ini terlihat bahwa pengaktifasian menggunakan NaOH mampu meningkatkan reaktivitas *fly ash* dan kekuatan tekan pada mortar yang signifikan. Sedangkan untuk aktivasi menggunakan *water bath* hasil kuat tekan mortar tertinggi dengan konsentrasi 0.1M selama 30 menit. Ketika aktivasi menggunakan *treatment water bath*, lama waktu aktivasi tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap kekuatan mortar. Begitu juga perbedaan konsentrasi NaOH pada *fly ash* kelas C terlihat tidak signifikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh konsentrasi NaOH pada aktivasi *fly ash* memiliki pengaruh yang sedikit berbeda pada aktivasi dengan dan tanpa *water bath*.

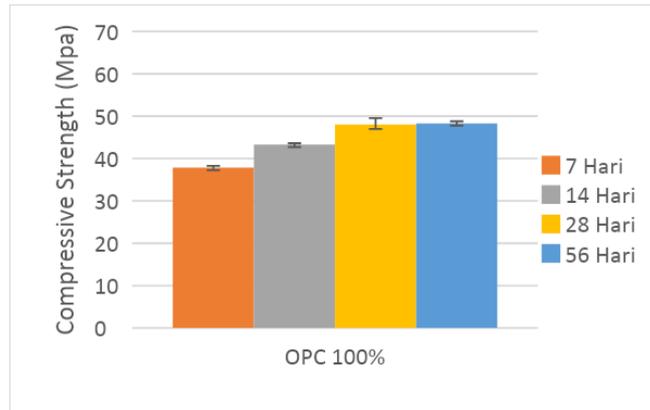
Gambar 1 juga menunjukkan bahwa mortar *fly ash* kelas F yang diaktivasi menggunakan *water bath* dengan konsentrasi NaOH 0.3M selama 2 jam memiliki hasil kuat tekan mortar tertinggi. Perbedaan konsentrasi NaOH pada *fly ash* kelas F terlihat signifikan. Semakin lama waktu aktivasi semakin tinggi kekuatan tekan mortar. Penggunaan *treatment water bath* memberikan peningkatan suhu aktivasi pada mortar sehingga mempercepat reaksi hidrasi pozzolan.

Kedua jenis *fly ash* membuktikan bahwa pengaktifasian menggunakan larutan NaOH encer meningkatkan reaktivitas *fly ash* dan kekuatan tekan pada mortar secara signifikan sebesar 60% dari kekuatan mortar tanpa *treatment*. Hasil kekuatan tekan pada *fly ash* kelas C dengan aktivasi 30 menit *treatment water bath* memberikan kekuatan tekan hampir menyamai aktivasi 1 hari tanpa *water bath*. Sedangkan pada *fly ash* kelas F kekuatan tekan optimum dicapai dengan *treatment water bath* selama 2 jam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode *treatment water bath* dapat meningkatkan kuat tekan mortar dan lama waktu yang paling efektif yaitu 30 menit dan 2 jam pada kedua jenis *fly ash*.

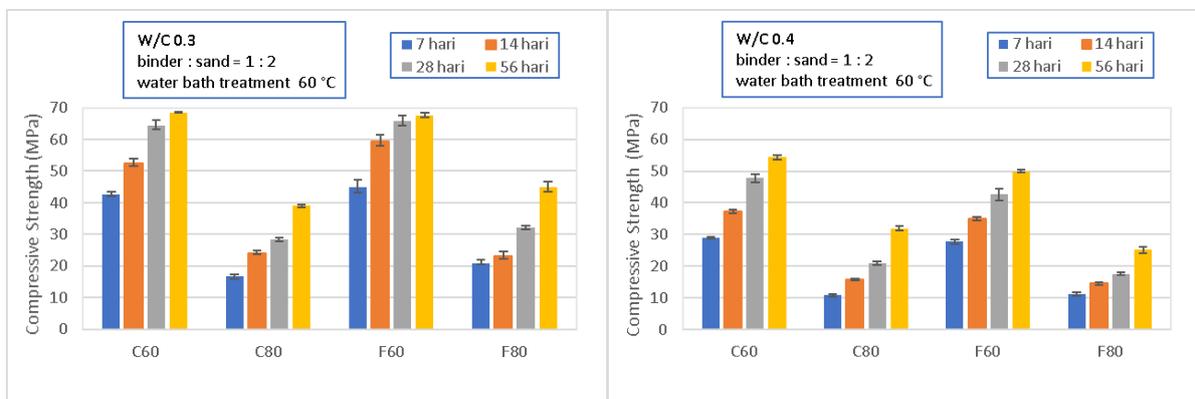
Pengaruh Aktivasi Kimia dengan NaOH Terhadap Kuat Tekan Mortar High Volume Fly Ash Kelas C dan F dengan Sistem Fly Ash dan Semen

Sampel mortar dibuat menggunakan bahan yaitu pasir silika sebagai agregat halus, *fly ash* yang diambil dari PLTU Paiton dan PLTU Tanjung Jati dan OPC. Dari bahan-bahan tersebut, dibuat mortar *fly ash* kelas C yang diaktivasi dengan NaOH. Pengaktifasian *fly ash* dengan NaOH dilakukan dengan *treatment water bath*. Sampel mortar yang dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm yang diuji kuat tekan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Hasil kuat tekan diambil dari rata-rata pengujian 3 sampel.

Mortar kontrol yang dibuat adalah 100% OPC dan mortar HVFA yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu 60% FA + 40% OPC dan 80% FA + 20% OPC. Hasil uji kuat tekan mortar OPC dapat dilihat pada **Gambar 2 dan Gambar 3**.



Gambar 2. Kuat Tekan Mortar Kontrol OPC 100%
Sumber : Elizabeth & Soelatiep (2021)



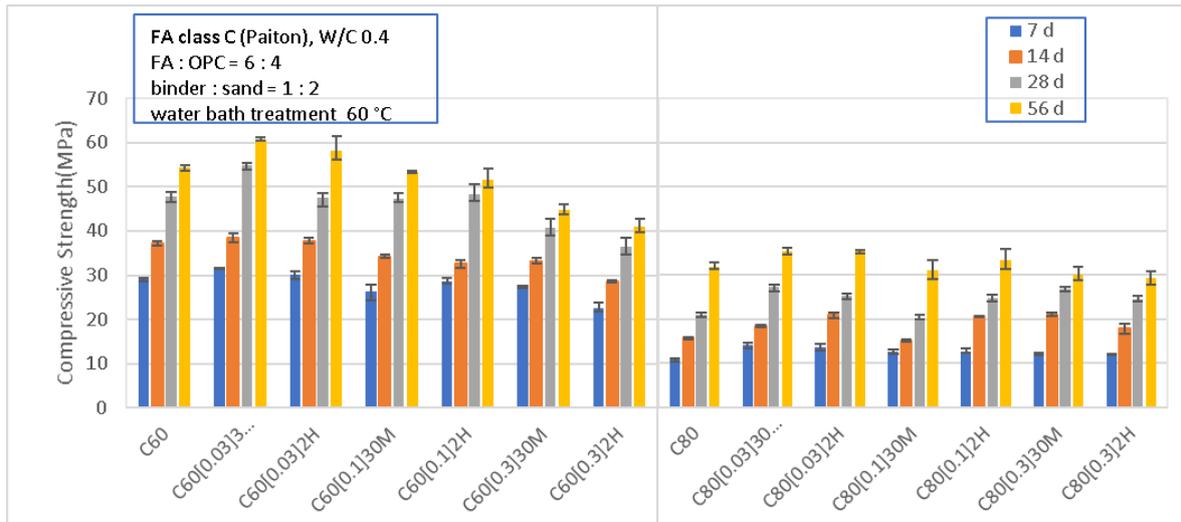
Gambar 3. Kuat Tekan Mortar Kontrol 60% FA dan 80% FA dengan W/C 0.4 dan 0.3

Dari hasil uji kuat tekan mortar terlihat bahwa mortar 100% OPC memiliki kuat tekan awal yang lebih tinggi pada umur 7 dan 14 hari bila dibandingkan dengan mortar HVFA dan VHVFA. Tetapi untuk kuat tekan akhir yaitu umur 56 hari mortar HVFA dengan campuran 60% fly ash dan 40% OPC mampu melampaui kuat tekan mortar 100% OPC. Selain itu, dari hasil uji kuat tekan mortar terlihat bahwa mortar 60% FA dan 80% FA kelas C memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan FA kelas F. Hasil ini berbeda dengan mortar sistem *fly ash* dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang diaktivasi menggunakan *water bath* yang menunjukkan bahwa kuat tekan *fly ash* kelas F lebih kuat karena pada campuran mortar terdapat substitusi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terhadap *fly ash* sehingga ikatan C-S-H yang terjadi pada *fly ash* kelas F lebih banyak.

Untuk mortar *very high volume fly ash* dengan komposisi 80% FA dan 20% OPC memiliki kuat tekan yang rendah. Salah satu cara untuk mengatasi kuat tekan yang terlalu rendah pada mortar *very high volume fly ash* yaitu menggunakan w/c yang rendah. Terbukti ketika w/c campuran mortar diturunkan dari 0.4 menjadi 0.3 kekuatan tekan mortar mengalami peningkatan sekitar 20%-30%.

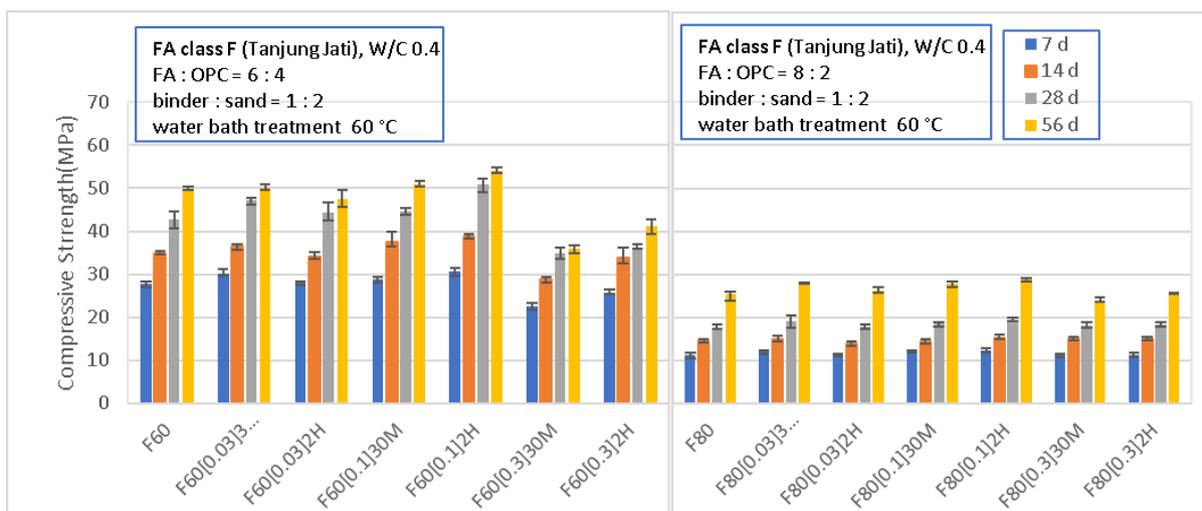
Pengaruh Aktivasi *Fly Ash* dalam Mortar HVFA dan VHVFA

Mortar dengan konsentrasi NaOH yang berbeda dibuat untuk meneliti pengaruh aktivasi terhadap kuat tekan mortar HVFA dan VHVFA pada FA Kelas C. Komposisi campuran yang digunakan yaitu 60% FA dan 40% OPC serta 80% FA dan 20% OPC. Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 0.03M, 0.1M, dan 0.3M. *Treatment* aktivasi yang digunakan adalah aktivasi menggunakan *water bath*. Lama waktu aktivasi terdiri dari 2 jenis yaitu 30 menit dan 2 jam.



Gambar 4. Kuat Tekan Mortar 60% dan 80% FA Kelas C

Gambar 4 menunjukkan hasil uji kuat tekan mortar FA kelas C diatas terlihat bahwa aktivasi kimia dengan menggunakan *water bath* dengan konsentrasi rendah NaOH mampu meningkatkan kuat tekan awal dan akhir mortar. Pada mortar HVFA dengan 60% FA dan mortar VHVFA dengan 80% FA terlihat aktivasi dengan suhu panas *water bath* memiliki hasil kuat tekan yang lebih tinggi untuk beberapa konsentrasi NaOH yang diberikan. Mortar HVFA dengan konsentrasi NaOH 0.03M dengan aktivasi selama 30 menit ataupun 2 jam keduanya memiliki kuat tekan 7 hari dan 56 hari melampaui mortar 100% OPC dan mortar tanpa aktivasi. Lama waktu aktivasi kurang berpengaruh terhadap hasil kuat tekan mortar FA kelas C ini baik HVFA dan VHVFA. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi NaOH, kuat tekan mortar yang dihasilkan semakin berkurang karena NaOH yang berlebih dapat mengganggu reaksi hidrasi OPC. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aktivasi kimia dengan NaOH konsentrasi rendah dapat meningkatkan kuat tekan awal dan akhir mortar HVFA maupun VHVFA. Mortar dengan konsentrasi NaOH yang berbeda dibuat untuk meneliti pengaruh aktivasi terhadap kuat tekan mortar HVFA dan VHVFA pada FA Kelas F. Komposisi campuran yang digunakan yaitu 60% FA dan 40% OPC serta 80% FA dan 20% OPC. Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 0.03M, 0.1M, dan 0.3M. *Treatment* aktivasi yang digunakan adalah aktivasi menggunakan *water bath*. Lama waktu aktivasi terdiri dari 2 jenis yaitu 30 menit dan 2 jam.



Gambar 5. Kuat Tekan Mortar 60% dan 80% FA Kelas F

Dari **Gambar 5** terlihat bahwa aktivasi kimia dengan menggunakan *water bath* dengan konsentrasi NaOH rendah mampu meningkatkan kuat tekan awal dan akhir mortar. Pada mortar HVFA dengan 60% FA dan mortar VHVFA dengan 80% FA terlihat aktivasi dengan suhu panas *water bath* memiliki hasil kuat tekan yang lebih tinggi untuk beberapa konsentrasi NaOH yang diberikan. Mortar dengan konsentrasi NaOH 0.1M dengan aktivasi selama 2 jam memiliki kuat tekan 7 dan 56 hari tertinggi. Mortar teraktivasi dengan kode F60[0.1]2H juga memiliki kuat tekan yang jauh melebihi kuat tekan 56 hari mortar 100% OPC. Semakin lama waktu aktivasi mortar dengan *fly ash* kelas F berpengaruh terhadap hasil kuat tekan mortar baik HVFA dan VHVFA. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi NaOH, kuat tekan mortar yang dihasilkan semakin rendah karena NaOH yang berlebih dapat mengganggu reaksi hidrasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aktivasi kimia dengan NaOH dapat meningkatkan kuat tekan awal dan akhir mortar HVFA maupun VHVFA.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Reaktivitas dari *fly ash* dapat meningkat dengan aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH encer, terlihat dari pengujian suhu, pengujian pH, pengujian *initial setting time* dan kuat tekan. Semakin tinggi konsentrasi NaOH hingga 0.3M, semakin meningkatkan reaktivitas *fly ash* kelas C dan F.
2. *Treatment* aktivasi menggunakan *water bath* dengan suhu 60°C dengan sistem *fly ash* kelas C dan Ca(OH)₂, pengaruh suhu *water bath* memberikan peningkatan pada kuat tekan mortar umur 7 dan 28 hari sebesar 100% dibandingkan dengan mortar tanpa *treatment*. Namun, konsentrasi NaOH serta lama waktu aktivasi kurang berpengaruh pada kuat tekan mortar umur 7 hari dan 28 hari.
3. *Treatment* aktivasi *water bath* dengan sistem *fly ash* kelas F dan Ca(OH)₂, pengaruh konsentrasi NaOH, lama waktu aktivasi, dan suhu 60°C *water bath* memberikan peningkatan pada kuat tekan mortar umur 7 dan 28 hari sebesar 60% dibandingkan dengan mortar tanpa *treatment*.
4. Untuk mortar HVFA dan VHVFA, aktivasi kimia NaOH encer dengan menggunakan *water bath* pada suhu 60°C dapat meningkatkan kuat tekan awal sebesar 10-40% dan kuat tekan akhir sebesar 10-15% dari mortar tanpa *treatment*.
5. Untuk mortar HVFA dan VHVFA dengan *fly ash* kelas C, aktivasi optimum didapatkan dengan konsentrasi NaOH 0.03M dan lama waktu aktivasi selama 30 menit. Peningkatan kuat tekan umur awal mortar tidak terlalu signifikan tetapi pada umur 56 hari cukup signifikan. Hal tersebut ditunjukkan pada mortar dengan kode C60[0.03]30M, kekuatan 28 hari nya sebesar 54.8 MPa sama dengan kekuatan 56 hari mortar tanpa *treatment*.
6. Untuk mortar HVFA dan VHVFA dengan *fly ash* kelas F, aktivasi optimum didapatkan dengan konsentrasi NaOH 0.1M dan lama waktu aktivasi selama 2 jam. Peningkatan kuat tekan umur awal dan akhir mortar tidak terlalu signifikan hanya sebesar 10%. Hal tersebut ditunjukkan pada mortar dengan kode F60[0.1]2H mendapatkan kekuatan 56 hari sebesar 54.02 MPa, meningkatkan sebanyak 10% dibandingkan dengan mortar tanpa *treatment*.
7. Untuk mortar HVFA dan VHVFA, penambahan konsentrasi NaOH yang berlebih hingga 0.3M dapat mengurangi kuat tekan mortar. Hal ini terjadi karena NaOH dapat mengganggu hidrasi OPC dan merusak pembentukan kalsium alumina sulfat. Semakin tinggi konsentrasi NaOH, semakin mengurangi kuat tekan mortar.

Saran

1. Aktivasi *fly ash* menggunakan *treatment water bath* hanya menggunakan satu jenis suhu saja yaitu 60°. Sehingga penelitian lebih lanjut bisa dilakukan dengan suhu aktivasi dan lama waktu yang lebih bervariasi.

5. DAFTAR REFERENSI

- ASTM C778. (2009). “*Standard Specification for Standard Colors for Polymer-Coated Chain Link Fence.*” ASTM, 96(Reapproved), 1–2.
- Antoni, Wibawa, H. S., & Hardjito, D. (2018). “Influence of Particle Size Distribution of High Calcium Fly Ash on HVFA Mortar Properties.” *Civil Engineering Dimension*, 20(2), 51. <https://doi.org/10.9744/ced.20.2.51-56>
- Elizabeth, L., & Soelatiep, D. H. (2021). *Pengaruh Aktivasi Fly Ash Secara Kimia terhadap Kuat Tekan Mortar HVFA*. Tugas Akhir Universitas Kristen Petra.
- Mehta, P. K. (2004). “High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development.” *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, 3–14.
- Pratiwi, W. D., Triwulan, Ekaputri, J. J., & Fansuri, H. (2020). “Combination of Precipitated-Calcium Carbonate Substitution and Dilute-Alkali Fly Ash Treatment in a Very High-volume Fly Ash Cement Paste.” *Construction and Building Materials*, 234, 117273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117273>
- Suhendro, B. (2014). “Toward Green Concrete for Better Sustainable Environment.” *Procedia Engineering*, 95(Scescm), 305–320. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.190>
- Thomas, M. D. A. (2010). “Optimizing Fly Ash Content for Sustainability, Durability, and Constructability.” *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, 191–201.
- Wang, T., & Ishida, T. (2019). “Multiphase Pozzolanic Reaction Model of Low-Calcium Fly Ash in Cement Systems”. *Cement and Concrete Research*, 122(April), 274–287. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.04.015>
- Yu, J., Mishra, D. K., Wu, C., & Leung, C. K. Y. (2018). “Very High Volume Fly Ash Green Concrete for Applications in India.” *Waste Management and Research*, 36(6), 520–526. <https://doi.org/10.1177/0734242X18770241>