



ST-6

STUDI PUSTAKA POTENSI *HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETE* SEBAGAI MATERIAL BETON YANG *SUSTAINABLE* UNTUK DITERAPKAN DI Indonesia

Angelina Eva Lianasari

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta

e-mail: eva.lianasari@uajy.ac.id

ABSTRAK

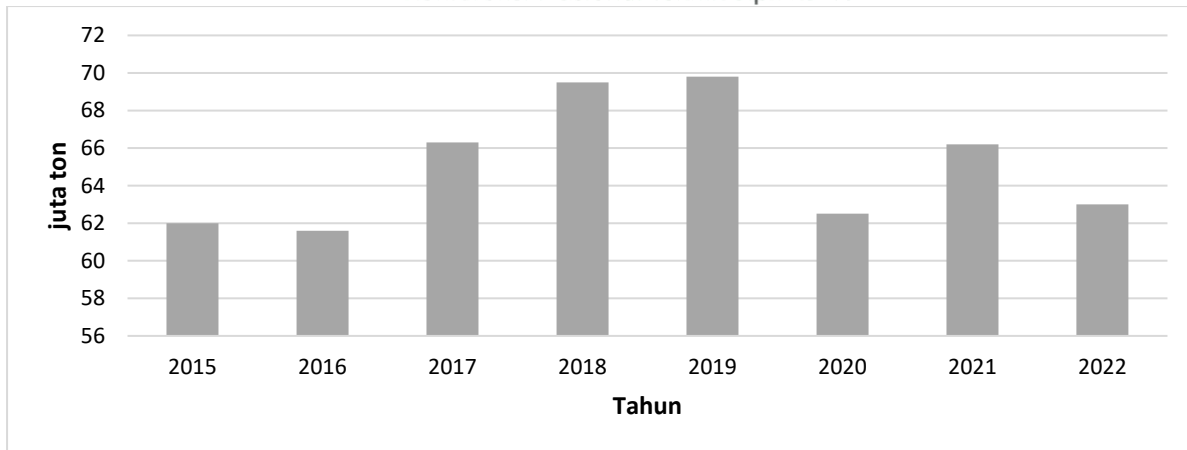
Permintaan beton pertahun yang selalu bertambah yang diprediksi dapat mencapai menjadi 18 miliar ton per tahun pada tahun 2050. Sehingga berpengaruh pada konsumsi penggunaan semen yang meningkat. Produksi semen Portland dunia tiap tahun mencapai 1,5 milyar ton dan menyumbang 7 persen emisi CO₂. *Fly ash* sebagai material pozzoland memiliki potensi sebagai bahan pengganti semen. *Fly ash* merupakan limbah yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen. Melihat potensi tersebut maka *fly ash* dimungkinkan digunakan sebagai material pengganti sebagian semen sebagai salah satu cara mengurangi emisi CO₂. Studi literatur ini dimaksudkan untuk merangkum, membahas, dan mengidentifikasi potensi beton HFVA untuk digunakan sebagai material beton berkelanjutan. Studi literatur ini diharapkan menjadi racangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penggunaan limbah industri.

Kata kunci: *high volume fly ash concrete*, *sustainable*, beton HVFA

PENDAHULUAN

Mehta (2006) memprediksi bahwa permintaan beton dunia akan terus meningkat hingga mencapai 18 miliar ton per tahun di tahun 2050. Dengan meningkatnya penggunaan beton maka konsumsi Semen Portland sebagai bahan pengikat hidraulik utama dalam beton akan meningkat. Dalam proses produksi, semen merupakan produk industri yang boros energi (4 GJ/ton semen). Semen juga bertanggung jawab atas emisi CO₂ yang besar hampir 7% dari emisi CO₂ global. Pembuatan satu ton klinker semen portland melepaskan hampir satu ton CO₂ ke atmosfer dengan produksi semen tahunan dunia mencapai 1,5 miliar ton.

Indonesia merupakan negara penghasil semen no 7 di dunia. Tahun 2022 produksi semen di Indonesia 64 juta ton menurut USGS (United States Geological Survey). Berdasarkan laporan Semen Indonesia, total volume permintaan semen di Indonesia sebanyak 63 juta ton pada 2022 (<https://dataindonesia.id/industri-perdagangan/detail/permintaan-semen-di-indonesia-menurun-pada-2022>). Sedangkan konsumsi semen di Indonesia pada kuartal 1 2022 mencapai 17,12 juta ton atau tumbuh 5,5 persen (year-on-year) terhadap konsumsi semen di Indonesia pada kuartal 1 2021 (<https://www.dataindustri.com/produk/tren-data-konsumsi-semen-di-indonesia>). Berdasarkan data Asosiasi Semen Indonesia (ASI) untuk menghasilkan 1 ton semen di Indonesia membutuhkan energi sebesar 780 kilo kalori batu bara dan 120 kWh listrik (103.181,4 kilo kalori) (Biro Perencanaan Sekertariat Jendral Kementerian Perindustrian, 2012). Untuk menghasilkan 1 ton semen membutuhkan klinker sebanyak 1,3-1,6 ton. Sehingga jika dikalkulasikan proses pembuatan semen di Indonesia per-tahun akan melepaskan sekitar 83,2 juta ton CO₂ ke atmosfer. Hal ini yang menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan akibat proses pembakaran pada pembuatan semen.



Gambar 1. Volume Permintaan Semen Domestik 2015-2022 (sumber : Data Semen Indonesia)

Menilik kondisi dan kebutuhan pembangunan infrastruktur, maka perlu dipertimbangkan adanya bahan pengikat konstruksi alternatif yang berkelanjutan untuk mengurangi penggunaan semen secara global. Dalam mengembangkan beton berkelanjutan (*sustainable concrete*) tidak hanya melibatkan minimalisasi emisi CO₂, tetapi juga terdiri dari dua prinsip utama; mengurangi dan menggunakan kembali. Dalam filosofi ini, menggunakan produk sampingan industri sebagai bahan tambahan pengganti semen sehingga dapat meminimalkan dampak lingkungan dengan mengurangi produksi semen dan menggunakan kembali limbah industri sehingga jumlah yang dikirim ke tempat pembuangan akhir berkurang. Sehingga mengurangi biaya produksi dan biaya pemeliharaan tempat pembuangan akhir, Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020).

Lianasari, A. E., & Siahaan, R. P. (2019), menyampaikan salah satu alternatif pengurangan penggunaan semen adalah dengan teknologi beton high volume *fly ash* (HVFA). Teknologi ini memanfaatkan *fly ash* (bahan pozzolan) yang merupakan limbah industri batu bara sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan persentase yang cukup besar (lebih dari 50%). *Fly ash* telah digunakan sebagai bahan tambahan semen parsial dengan jumlah penggantian kurang dari 30%. Namun, dengan kemajuan penelitian yang berfokus pada penggunaan *fly ash* untuk menggantikan semen, pemanfaatan *fly ash* untuk aplikasi konstruksi kini telah mencapai penggantian hingga penggantian di atas 50%.

FLY ASH

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin bertambah, sehingga memicu pemerintah Indonesia untuk membangun sarana Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Proses dihasilkannya listrik dari tenaga uap tidak terlepas dari proses pembakaran dalam hal ini dengan menggunakan bahan bakar berupa batu bara. *Fly ash* adalah limbah dari sisa pembakaran batu bara. *Fly ash* dan *bottom ash* dihasilkan dari proses perubahan dari energi panas pembakaran batu bara menjadi energi listrik. (Lianasari, AE, Choirul, 2017). *Fly ash* telah dikategorikan menjadi Limbah Non Bahan Berbahaya dan Beracun (Non B3) sesuai Peraturan Pemerintah (PP) 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (<https://www.cnbcindonesia.com/market/20210421154337-17-239670/bukan-limbah-potensi-faba-di-indonesia-capai-11-juta-ton>). Jika limbah *fly ash* tidak dimanfaatkan maka hanya akan menjadi tumpukan limbah di tempat pembuangan akhir yang nantinya akan mencemari lingkungan.

Produksi *fly ash* tahunan di seluruh dunia lebih dari 777,1 juta ton dan rata-rata pemanfaatan *fly ash* saat ini hanya sekitar 53,5% dari total abu, Heidrich, C., Feuerborn, H., & Weir, A. (2013). Indonesia sampai tahun 2025, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara masih mendominasi sebagai sumber energi dan mencapai 50% penggunaannya. Namun, pertimbangan lingkungan tetap menjadi komitmen pemerintah untuk menerapkan teknologi ramah lingkungan. <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/indonesia-berkomitmen-terapkan-teknologi-ramah-lingkungan-untuk-pembangkit-listrik>



Hal tersebut karena batu bara menjadi sumber energi yang paling murah. Sampai dengan tahun 2019 terdapat 15.027.100 ton *fly ash* yang dihasilkan. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki 253 PLTU hingga 20 April 2022. Dari jumlah tersebut, PLTU terbanyak berada di Kalimantan yaitu 39 unit. PLTU. <https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/peta-sebaran-pltu-di-indonesia-terbanyak-di-kalimantan-timur>

Moon, G. D., Oh, S., & Choi, Y. C. (2016), *fly ash* kelas F umumnya menunjukkan sifat pozzolanik, sedangkan kelas C menunjukkan sifat pozzolanik dan sementitus secara bersamaan. Reaksi pozzolanik dari *fly ash* kelas F hanya terjadi dengan adanya kalsium hidroksida. Akibatnya, *fly ash* Kelas F relatif tetap *inert* selama 24 jam pertama. *Fly ash* kelas C dapat cukup reaktif pada usia awal, sehingga menghasilkan waktu retardasi yang lebih pendek daripada *fly ash* kelas F. Menurut ASTM C618 *fly ash* kelas F memiliki kandungan CaO yang rendah (maksimum 18%), sedangkan *fly ash* kelas C memiliki kandungan CaO yang lebih tinggi (>18%).

Tabel 1. *Chemical requirement* dari *fly ash*, sumber ASTM C618

	Kelas F	Kelas C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ %	50	50
CaO %	18 max	18
SO ₃ max %	5.0	5.0
moisture content, max %	3.0	3.0
LoI, max %	6.0	6.0

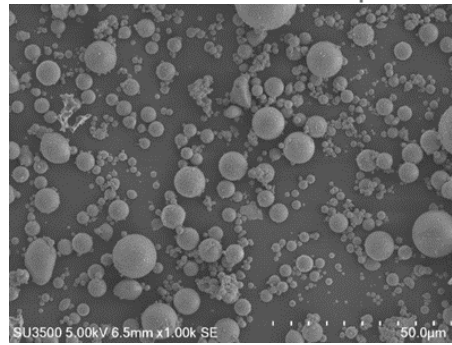
Karena memiliki sifat *pozzolanik* maka *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Hal tersebut menguntungkan untuk beberapa kondisi beton, baik itu berupa perubahan sifat pada beton segar ataupun pada beton yang telah mengeras. Perubahan sifat pada beton segar adalah pada sifat mudah dikerjakan, *setting time*, dan susut pengerasan. Sedangkan pada beton keras perubahan ada pada sifat mekaniknya (kuat tekan, tarik belah, modulus elastisitas, durabilitas).

BETON *HIGH VOLUME FLY ASH* (HVFA)

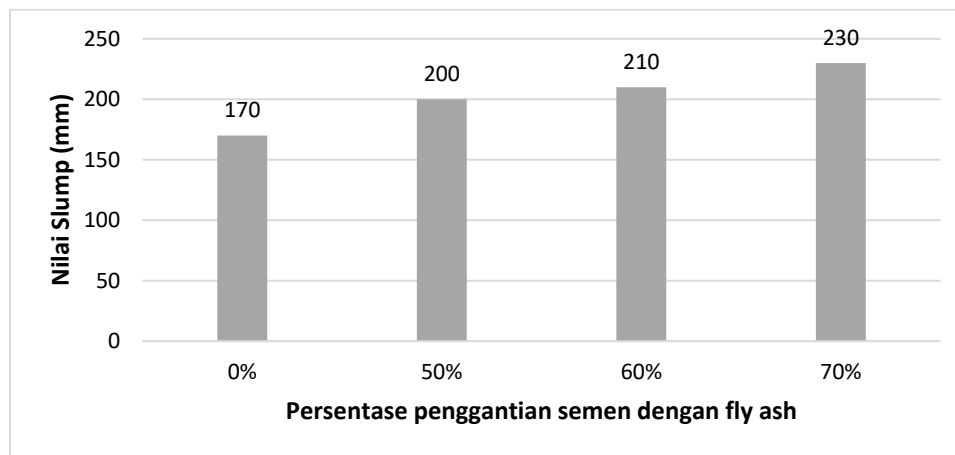
Fly ash telah digunakan sebagai bahan pengganti semen secara parsial melalui antara 15 dan 25%. Namun, dengan kemajuan penelitian yang berfokus pada *fly ash* sebagai bahan pengganti semen Portland, pemanfaatan *fly ash* untuk aplikasi konstruksi kini telah mencapai penggantian hingga di atas 50% yang disebut sebagai *High Volume Fly Ash* (HVFA). Penggunaan *fly ash* dalam jumlah besar pada beton dan pengaruh faktor-faktor yang mempengaruhi sifat beton segar, sifat mekanik dan durabilitas beton.

Sifat Beton Segar

Dengan adanya *fly ash* pada beton sebagai pengganti sebagian semen, secara umum akan terjadi perubahan sifat pada beton segar yaitu meningkatnya nilai *slump* beton, hal ini sebagai parameter untuk melihat kondisi beton mudah dikerjakan. Partikel *fly ash* berbentuk bulat sehingga mengurangi gesekan antar partikel. *Fly ash* memiliki permukaan yang halus dan berbentuk bulat, sehingga mengurangi gesekan internal antara butiran. Puthipad, N., Ouchi, M., Rath, S., & Attachaiyawuth, A. (2016).



Gambar 2. Hasil Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) *Fly Ash*, sumber Lianasari (2019)



Gambar 3. Nilai Slump Naik Seiring Bertambahnya Jumlah *Fly Ash*, sumber Lianasari (2017)

Durán-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P., & Bentz, D. P. (2011), *setting time* beton HVFA menunjukkan waktu *setting time* dan *final set* yang lebih lama berkisar dibandingkan dengan campuran beton konvensional tanpa *fly ash* (tabel 2).. Hal ini juga bergantung pada berbagai parameter termasuk kehalusan semen dan rasio semen-air (w / c).

Tabel 2. *Slump* dan *Setting time*, sumber Durán-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P., & Bentz, D. P. (2011),

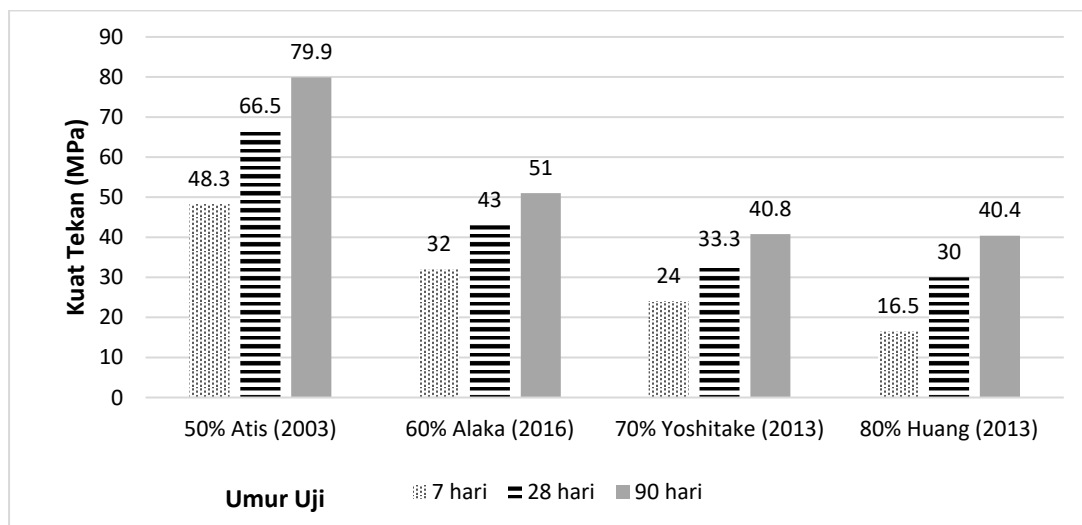
fly ash (%)	slump (mm)	Initial set (hour:minute)	final set (hour:minute)	selisih dari 0% FA		selisih dari 0% FA	
				initial (minute)	final (minute)	initial	final
0	210	05:15	06:23	0	0	0	0
15	235	05:25	07:00	10	37	10 menit	37 menit
30	240	06:02	08:00	47	97	47 menit	1 jam 37 menit
45	245	06:30	08:55	75	152	1 jam 15 menit	2 jam 32 menit
60	245	08:25	11:32	190	309	3 jam 10 menit	5 jam 9 menit
75	250	08:45	12:55	212	392	3 jam 32 menit	6 jam 32 menit

Beton HVFA susut pengeringan yang lebih rendah daripada beton konvensional tanpa *fly ash*. Susut pengeringan menurun dengan peningkatan persentase *fly ash*. Beton HVFA dengan 70% *fly ash* memiliki susut pengeringan yang lebih rendah daripada HVFA dengan 50% *fly ash*, Bilodeau A. and Malhotra, V.M.

(2000) dalam Durán-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P., & Bentz, D. P. (2011). Disampaikan juga bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton HVFA cenderung meningkatkan susut pengeringan dibandingkan dengan tanpa *superplasticizer*.

Kuat Tekan Beton HVFA

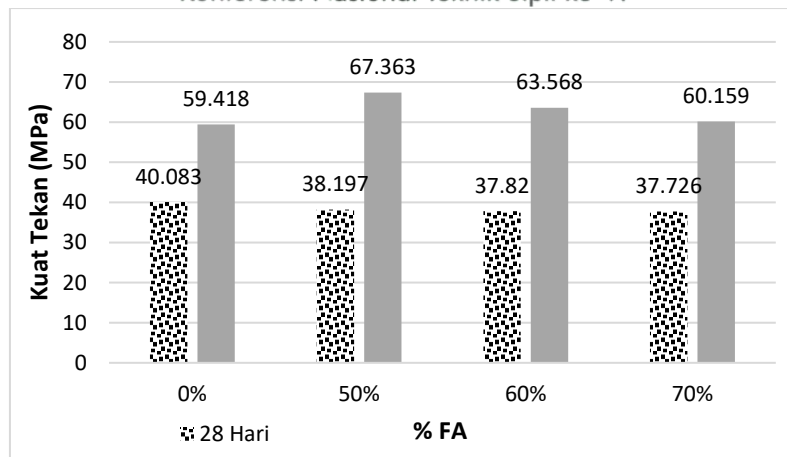
Penggunaan *fly ash* dalam jumlah besar pada beton akan mempengaruhi sifat mekanik beton, dalam hal ini disampaikan oleh Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020) kuat tekan beton dari berbagai pengujian beton HVFA (gambar 3) serta mixed design yang digunakan (tabel 3).



Gambar 4. Berbagai kuat tekan beton HVFA dengan kadar *fly ash* berbeda, sumber Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020)

Tabel 3. Mixed design beton HVFA sumber Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020) dan Lianasari (2017)

	Afis (50%FA)	Alaka (60%FA)	Afis (70%FA)	Huang (80%FA)	Lianasari (50%FA)	Lianasari (60%FA)	Lianasari (70%FA)
PC	200	153	120	136	318,771	255,017	191,263
Fly ash	200	230	280	544	318,771	382,525	446,279
Coarse aggregate	1200	1149	1200	1092	842,010	842,010	842,010
Fine aggregate	600	766	600	296	700,643	700,643	700,643
water	132	145,54	112	163	160,515	160,515	160,515
SP (liter)	5,6	7,66	5,6	4,9	3,825	3,825	3,825



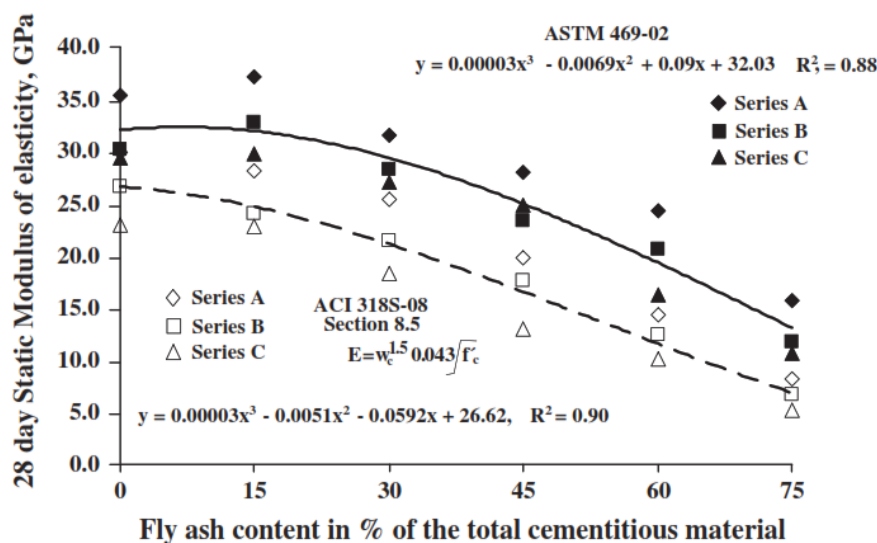
Gambar 5. Kuat tekan beton HVFA dengan kadar *fly ash* berbeda, sumber Lianasari (2017)

Peningkatan kekuatan tekan campuran HVFA pada usia lebih tua dipengaruhi oleh kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 amorf dan luas permukaan spesifik dari *fly ash*. Sifat fisik, kimia, dan mineralogi *fly ash* dari asal yang berbeda cenderung tidak sama, malah terkadang dari sumber yang sama sifat fisik, kimia, dan mineralogi juga berbeda. Perubahan ini dalam sifat-sifat abu terbang Perubahan sifat abu terbang ini dapat berdampak besar pada sifat mekanik campuran HVFA.

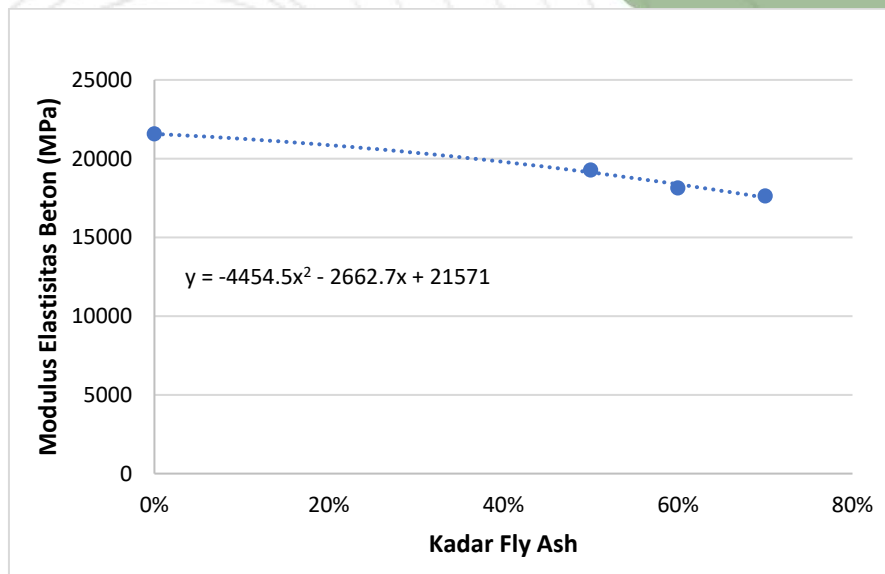
Pada gambar 5, kuat tekan beton HVFA pada umur 28 hari lebih rendah daripada beton normal, namun dalam perkembangan seiring dengan bertambahnya umur beton, kuat tekan pada umur yang lebih tua lebih tinggi dari beton normal. Hal ini diakibatkan karena penundaan pembentukan kalsium-silikat-hidrat (C-S-H). Pembentukan karena reaksi pozzolanik menjadi reaksi utama seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada umur yang lebih tua (di atas 28 hari), peningkatan kuat tekan Beton HVFA terutama dihasilkan dari reaksi *pozzolan fly ash*.

Modulus Elastisitas Beton HVFA

Berdasarkan paparan Durán-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P., & Bentz, D. P. (2011). hubungan antara modulus elastisitas dengan kandungan *fly ash* dalam beton HVFA berbanding terbalik. Modulus elastisitas akan turun seiring dengan kenaikan kandungan *fly ash* pada beton HVFA. Hal yang sama seperti yang disampaikan Lianasari (2017).



Gambar 6. Modulus Elastisitas beton berdasarkan kadar *fly ash* berbeda, sumber Durán-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P., & Bentz, D. P. (2011).



Gambar 7. Hasil pengujian modulus elastisitas rata-rata setiap variasi beton umur 28 hari (Lianasari, 2017)

Kuat Lentur dan Tarik Belah Beton HVFA

Pengujian kuat lentur dan tarik belah beton memiliki pola yang sama dengan penujian kuat tekan beton. Penggunaan persentase *fly ash* yang bertambah akan menurunkan kuat tarik belah dan kuat lentur beton HVFA.

Tabel 4. Kuat Tarik belah dan kuat lentur beton HVFA, sumber Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020)

FA	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Lentur (Mpa)
50%	4,2	6,11
60%	3,1	4,75
65%	2,8	4,1
70%	2,53	3,8

Permeabilitas pada Beton HVFA

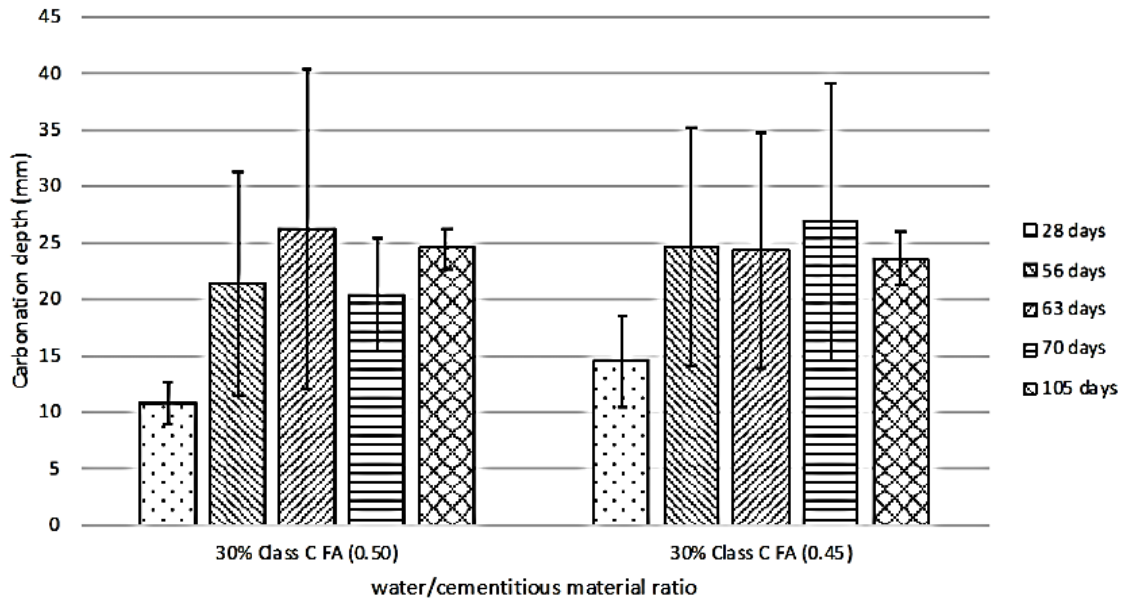
Permeabilitas beton HVFA sangat rendah. meskipun kekuatan HVFA beton pada umur 28 hari tidak terlalu tinggi. Nilai permeabilitas air dari beton HVFA setara dengan beton normal, namun untuk umur di atas 56 hari beton HVFA menunjukkan permeabilitas air yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Terhadap ion klorida, beton HVFA juga menunjukkan kondisi yang sama, pada usia 90 hari permeabilitas lebih rendah dari beton normal. Dengan kondisi tersebut, maka dapat disimpulkan durabilitas dari beton HVFA lebih baik dari beton normal karena lebih rapat dan sulit ditembus oleh air dan ion klorida, Naik, T. R., Singh, S. S., & Hossain, M. M. (1994).

Dalam beton HVFA ada peningkatan jumlah C3A karena adanya alumina di dalam campuran, serta C-S-H yang dibentuk oleh reaksi pozzolan. Dengan demikian, kapasitas pengikatan klorida tinggi pada beton HVFA yang meminimalkan ion klorida bebas yang tersedia untuk memulai korosi, Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020). Jika terjadi penetrasi ion klorida, alumina dalam *fly ash* dapat bereaksi dengan klorida, namun beton HVFA hanya mengalami sedikit penetrasi ion klorida yang berkurang secara signifikan sehingga kondisi tersebut dapat dihindarkan. Serangan kimia pada beton HVFA

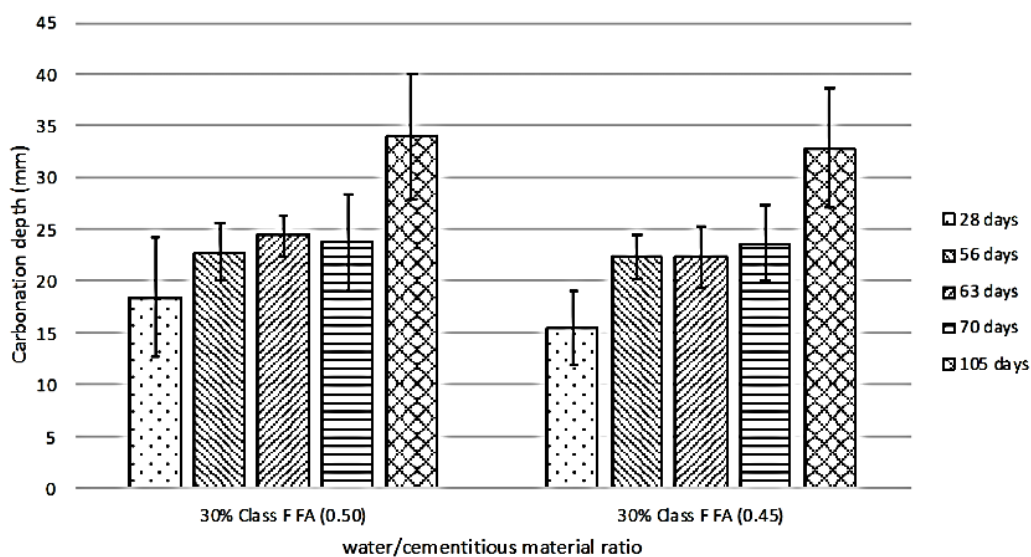
dapat dikurangi karena resistensi beton HVFA terhadap sulfat, asam laktat, asam asetat, dan asam klorida meningkat. Hal ini dikarenakan pengurangan kandungan CH menjadi CSH.

Karbonasi pada Beton HVFA

Berdasarkan pengujian, ternyata ketahanan beton HVFA pada karbonasi rendah. Hal ini dikarenakan proses *cementitious* berkurang dengan adanya digantikannya semen dengan *fly ash* dalam jumlah tinggi. Senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hasil reaksi *cementitious* bereaksi dengan SiO_2 . Hal ini menyebabkan lapis pasif berkurang, beton menjadi bersifat lebih asam. Sehingga peningkatan penggunaan *fly ash* memiliki efek negatif pada kedalaman karbonasi. Aguayo, F., Torres, A., Kim, Y.-J., & Thombare, O. (2020).



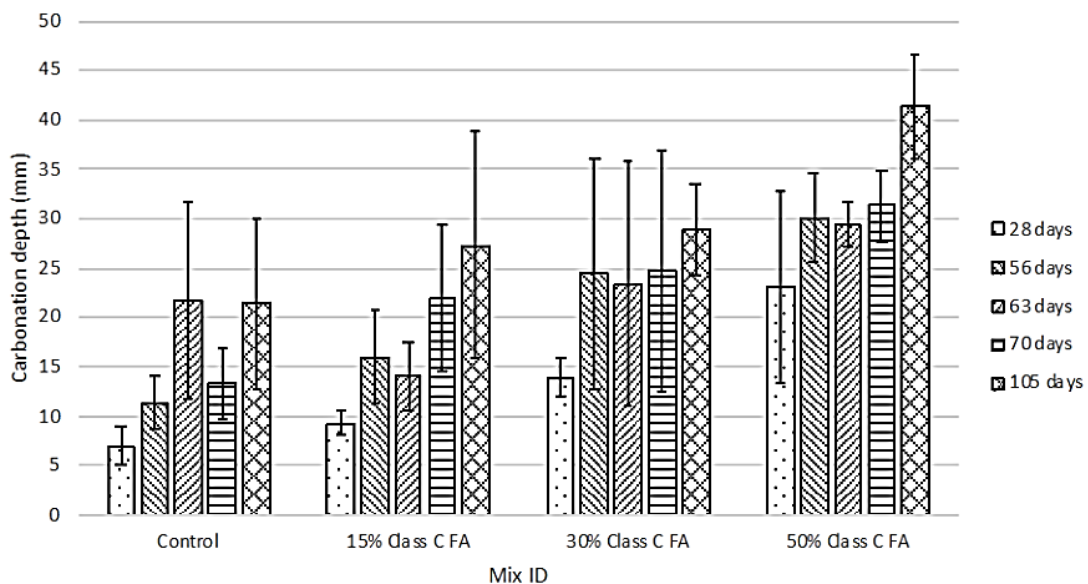
Gambar 8. Kedalaman Karbonasi beton HVFA kadar tinggi Ca dengan rasio w/c 0,5 dan 0,4, sumber Aguayo, F., Torres, A., Kim, Y.-J., & Thombare, O. (2020).



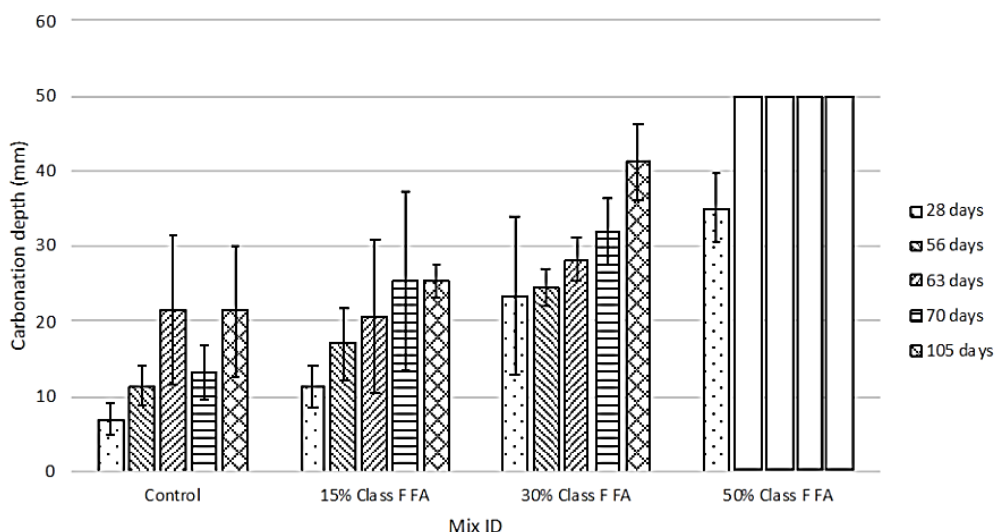
Gambar 9. Kedalaman Karbonasi beton HVFA kadar rendah Ca dengan rasio w/c 0,5 dan 0,4, sumber Aguayo, F., Torres, A., Kim, Y.-J., & Thombare, O. (2020).

Di lain pihak, campuran beton yang lebih padat akan lebih tahan terhadap ancaman karbonasi karena porositas yang lebih rendah. Hal ini memperlambat masuknya CO_2 . Peningkatan rasio w/c akan meningkatkan koefisien karbonasi. Koefisien karbonasi menjadi lebih rendah jika campuran beton menggunakan rasio w/cm yang lebih rendah, dikarenakan struktur pori yang lebih padat maka beton memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap karbonasi. Pada gambar 8 dan gambar 9 terlihat pada usia beton HVFA di atas 90 hari kedalaman karbonasi menjadi lebih rendah jika menggunakan rasio w/c rendah.

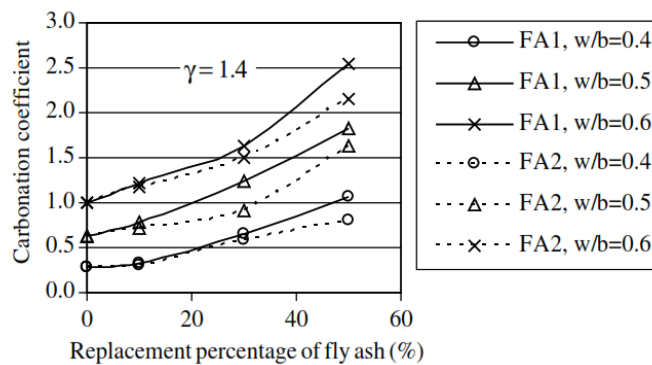
Kandungan Ca (Kalsium) pada fly ash berpengaruh pada kecepatan karbonasi. *Fly ash* dengan Ca rendah akan lebih tinggi karbonasi yang terjadi. Penetrasi karbonasi lebih dalam. Peningkatan kandungan semen memiliki efek positif terhadap karbonasi. Untuk campuran yang menggunakan *fly ash* berkalsium rendah, laju masuknya CO_2 lebih nampak. sehingga dapat disimpulkan bahwa *fly ash* berkalsium tinggi lebih tahan terhadap karbonasi dibandingkan dengan *fly ash* berkalsium rendah. CaO yang ada dalam pasta semen terhidrasi akan ditransfer ke dalam CaCO_3 pada saat karbonasi dari paparan CO_2 . Sehingga tingkat karbonasi beton diatur oleh pengikatan CO_2 . Selain itu, kandungan *portlandite* (Ca(OH)_2) yang lebih rendah memberikan pH awal menjadi rendah (beton bersifat asam).



Gambar 10. Kedalaman Karbonasi beton HVFA kadar Ca tinggi dengan kandungan *Fly Ash* yang berbeda, sumber Aguayo, F., Torres, A., Kim, Y.-J., & Thombare, O. (2020).

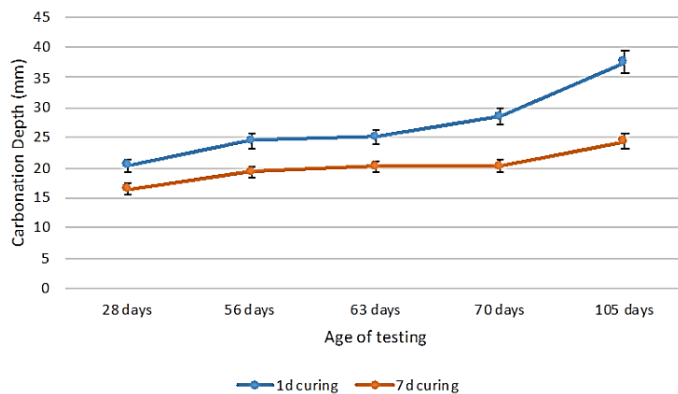


Gambar 11. Kedalaman Karbonasi beton HVFA kadar Ca rendah dengan kandungan *Fly Ash* yang berbeda, sumber Aguayo, F., Torres, A., Kim, Y.-J., & Thombare, O. (2020).



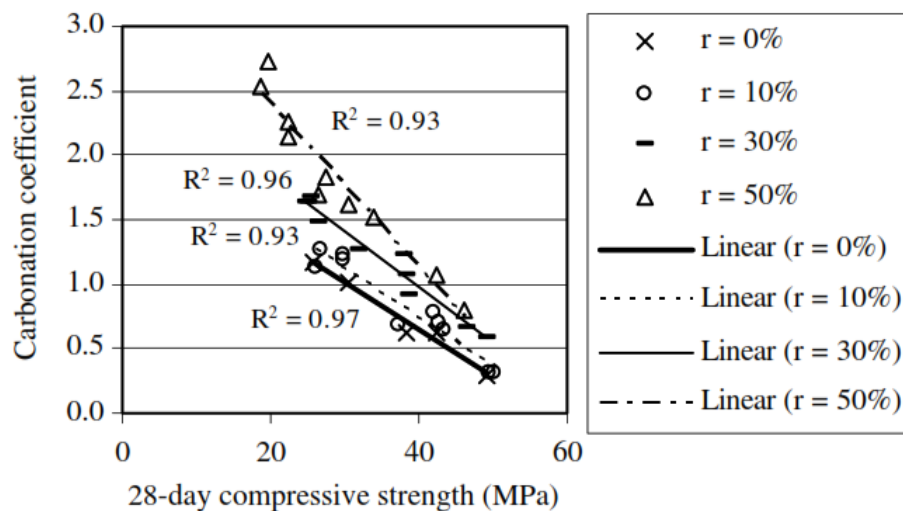
Gambar 12. Koefisien karbonasi berdasarkan jumlah penambahan *fly ash*, sumber Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S., & Leelawat, T. (2006).

Gambar 12 memperlihatkan bertambahnya persentase *fly ash* dalam menggantikan semen semakin mempertinggi koefisien karbonasi, kondisi tersebut memiliki arti bahwa ketahanan terhadap karbonasi semakin rendah. FA1 adalah beton dengan penggantian semen menggunakan *fly ash* rendah CaO sedangkan FA2 adalah *fly ash* dengan tinggi CaO, Nampak bahwa beton lebih tahan terhadap karbonasi pada penggantian semen dengan jenis *fly ash* tinggi CaO. *Fly ash* dengan dengan kandungan kalsium oksida (CaO) yang lebih tinggi cenderung memiliki reaktivitas yang lebih tinggi, kandungan CaO dari *fly ash* penting untuk penambahan kekuatan pada umur awal beton HVFA, Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020).



Gambar 13. Kedalaman Karbonasi beton HVFA dengan waktu *curing* yang berbeda, sumber Aguayo, F., Torres, A., Kim, Y.-J., & Thombare, O. (2020).

Proses curing juga mempengaruhi ketahanan beton HVFA terhadap karbonasi. Pada gambar 13, nampak bahwa umur curing menentukan hasil akhir kerapatan dan ketahanan terhadap karbonasi.



Gambar 14. Hubungan koefisien karbonasi dengan kuat tekan beton umur 28 hari, sumber Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S., & Leelawat, T. (2006)

Ketahanan beton terhadap karbonasi juga dipengaruhi oleh kuat tekan beton yang dihasilkan (gambar 14). Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S., & Leelawat, T. (2006) mendapati korelasi antara kuat tekan beton dengan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dengan ketahanan terhadap karbonasi (ditunjukkan dengan nilai koefisien karbonasi). Semakin tinggi kuat tekan beton, ketahanan terhadap karbonasi semakin meningkat.

KESIMPULAN

Di bawah ini adalah kesimpulan yang dapat diambil dari hasil studi pustaka berkaitan dengan beton HVFA :

- Pada beton segar terjadi : peningkatan *workability*, *setting time* lebih lambat dibandingkan beton *non fly ash*, memiliki panas hidrasi yang lebih rendah, sehingga cocok digunakan untuk proyek beton dengan volume tinggi dan tebal (*mass concrete*), dan penyusutan pengeringan rendah.
- Beton HVFA seiring dengan bertambahnya umur beton, kuat tekan pada umur yang lebih tua lebih tinggi dari beton normal.
- Modulus elastisitas akan turun seiring dengan kenaikan kandungan *fly ash* pada beton HVFA.
- Penggunaan persentase *fly ash* yang bertambah akan menurunkan kuat tarik belah dan kuat lentur beton HVFA.
- Beton HVFA memiliki porositas dan permeabilitas yang lebih rendah, sehingga memiliki ketahanan terhadap serangan kimia.
- Beton HVFA menunjukkan ketahanan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal tanpa *fly ash*. Beton HVFA memiliki ketahanan terhadap karbonasi yang rendah, dengan meningkatnya kandungan *fly ash* dalam campuran.
- ketahanan karbonasi beton HVFA rendah, karena proses *cementitious* yang kurang dengan adanya tambahan *fly ash* volume tinggi, sehingga $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bereaksi dengan SiO_2
- *Fly ash* dapat mengurangi tingkat pH yang selanjutnya mempercepat laju dan kedalaman karbonasi yang menghasilkan risiko tinggi untuk korosi.

- Ketahanan karbonasi dapat ditingkatkan dengan menggunakan campuran w/c yang rendah, memilih fly ash dengan kandungan CaO yang tinggi, membuat beton menjadi lebih rapat dan kuat.
- Menilik paparan di atas, terlihat adanya potensi untuk memanfaatkan *fly ash* yang ada di Indonesia sebagai material pengganti semen dalam jumlah besar (50%).

DAFTAR PUSTAKA

- Aguayo, F., Torres, A., Kim, Y.-J., & Thombare, O. (2020). Accelerated Carbonation Assessment of High-Volume Fly Ash Concrete. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 08(03), 23–38. <https://doi.org/10.4236/msce.2020.83002>
- ASTM C618. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. *Annual Book of ASTM Standards, C*, 3–6. <https://doi.org/10.1520/C0618-19.2>
- Durán-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P., & Bentz, D. P. (2011). Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes. *Cement and Concrete Composites*, 33(1), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.09.020>
- Heidrich, C., Feuerborn, H., & Weir, A. (2013). *Coal Combustion Products: a Global Perspective*.
- Herath, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2020). Performance of high volume fly ash concrete incorporating additives: A systematic literature review. *Construction and Building Materials*, 258, 120606. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120606>
- Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S., & Leelawat, T. (2006). A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, 20(9), 744–753. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.052>
- Lianasari, A. E., & Siahaan, R. P. (2019). Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang High Volume Fly Ash (Hvfa) Dengan Variasi Ukuran Butir Maksimum Agregat. 15(2), 91–98.
- Lianasari, A.E., Wibowo, A.P., Kurniawan, T.A., Wiransyah, Z.A. (2019), Pengaruh Variasi Kadar Fly Ash Pada Beton Heated Styrofoam Sebagai Substitusi Agregat Dalam Sifat Mekanik Beton Ringan, Konferensi Nasional Teknik Sipil 13, Banda Aceh, 19-20 September 2019
- Lianasari, A.E., Aji, C.P. (2017), Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kinerja Beton HVFA, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 11, Jakarta, 26-27 Oktober 2017
- Mehta, P.K., P. J. Monteiro. M. (2006). *Concrete, Microstructure, Properties, and Materials*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Moon, G. D., Oh, S., & Choi, Y. C. (2016). Effects of the physicochemical properties of fly ash on the compressive strength of high-volume fly ash mortar. *Construction and Building Materials*, 124, 1072–1080. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.148>
- Naik, T. R., Singh, S. S., & Hossain, M. M. (1994). Permeability of concrete containing large amounts of fly ash. *Cement and Concrete Research*, 24(5), 913–922. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90011-6](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90011-6)
- Puthipad, N., Ouchi, M., Rath, S., & Attachaiyawuth, A. (2016). Enhancement in self-compatibility and stability in volume of entrained air in self-compacting concrete with high volume fly ash. *Construction and Building Materials*, 128, 349–360. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.087>
- Van Den Heede, P., Gruyaert, E., & De Belie, N. (2010). Transport properties of high-volume fly ash concrete: Capillary water sorption, water sorption under vacuum and gas permeability. *Cement and Concrete Composites*, 32(10), 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.08.006>



ST-7 PENGARUH PENAMBAHAN *CHEMICAL ADMIXTURE* “*BESMITTEL*” TERHADAP WAKTU PENGKERASAN BETON

Devi Oktarina^{1*}, Rivan Tri S¹, Yan Juansyah¹ dan A. Gumay²

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Malahayati, Jl. Pramuka No. 27 Kemiling, Bandar Lampung

e-mail: devi_oktarina@malahayati.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Saburai, Jl. Imam Bonjol No. 486 Langkapura, Bandar Lampung

e-mail: a.gumay@yahoo.com

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang sangat pesat perkembangan dan penggunaannya pada pembangunan sekarang ini. Adanya tuntutan waktu terhadap *progress* pelaksanaan pekerjaan, sering kali memaksa agar beton dapat menunjukkan *performance* optimal nya di waktu yang lebih cepat dari waktu yang dibutuhkan beton normal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton bermutu normal yang ditambahkan *Besmittel* sebagai bahan tambah kimia (*chemical admixture*). Penelitian ini menggunakan perancangan *mix design* dengan metode SNI, dengan umur pengujian beton pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Penelitian ini menghasilkan kelecakan adukan beton normal dengan nilai *slump* rata-rata 9 cm dan adukan beton campuran (*Admixture*) memiliki kelecakan yang lebih rendah dengan nilai *slump* rata-rata 10,5 cm. Kuat tekan yang dihasilkan oleh beton campuran (*Admixture*) lebih tinggi dibandingkan kuat tekan beton normal, dengan nilai persentasi perbandingan kuat tekannya sebesar 10,06% di umur 7 hari, 8,65% di umur 14 hari, 4,82% di umur 21 hari dan 2,671% di umur 28 hari.

Kata Kunci: *Besmittel*, Beton, Waktu Pengkerasan, Kuat Tekan

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang sangat pesat perkembangan dan penggunaannya pada pembangunan sekarang ini. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dan material pembentuknya mudah didapatkan. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang rekayasa bangunan sipil yang struktur utamanya merupakan konstruksi beton menuntut penggunaan mutu beton dengan kuat tekan yang tinggi dan diupayakan penelitian yang berkaitan dengan usaha meningkatkan mutu beton melalui laboratorium.

Adanya tuntutan waktu terhadap *progress* pelaksanaan pekerjaan, sering kali memaksa agar beton dapat menunjukkan *performance* optimal nya di waktu yang lebih cepat dari waktu yang dibutuhkan beton normal, karenanya diperlukan suatu bahan tambah yang dapat membantu proses tersebut. Untuk mendukung proses tersebut maka akan ditambahkan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang bertujuan untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton baik dalam keadaan segar maupun setelah beton mengeras. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton bermutu normal yang ditambahkan *Besmittel* sebagai bahan tambah kimia (*chemical admixture*). Pada penelitian ini akan digunakan metode perancangan *mix design* menggunakan metode SNI, dengan umur pengujian beton pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari.

TINJAUAN PUSTAKA

BETON

Pengertian beton dalam buku teknologi beton, Kardiono Tjokrodinuljo (2007), beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai

pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan *additive* atau *admixture*. Beton adalah campuran dari agregat halus dan agregat kasar (pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lain) dengan semen, yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu.

Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan beton maupun sifat-sifat beton setelah mengeras perlu diketahui. Menurut Mulyono (2006) Sifat-sifat tersebut antara lain :

Keawetan (*Durability*) merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan. Dalam hal ini perlu pembatasan nilai faktor air semen maksimum maupun pembatasan dosis semen minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.

Kuat tekan ditentukan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa (N/mm^2) dalam SKSNI 91. Benda uji silinder juga digunakan pada standar ACI sedangkan *British Standar* (BS) benda uji yang digunakan adalah kubus dengan sisi ukuran 150 mm. Benda uji dengan ukuran berbeda dapat juga dipakai namun perlu dikoreksi terhadap *size effect*.

Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi balok. Kuat tarik beton jauh lebih kecil dari kuat tekannya, yaitu sekitar 10 %-15 % dari kuat tekannya

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton biasanya ditentukan pada 25-50 % dari kuat tekan beton.

Rangak (*Creep*) merupakan salah satu sifat beton dimana beton mengalami deformasi terus menerus menurut waktu dibawah beban yang dipikul.

Susut (*Shrinkage*) merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan.

Kelecekan (*Workability*) adalah sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan finishing. Atau *workability* adalah besarnya kemudahan kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan kompaksi penuh.

BAHAN TAMBAHAN (ADMIXTURE)

Bahan tambah (*Admixture*) adalah bahan atau material selain air, semen dan agregat ditambahkan ke dalam beton selama pengadukan. *Admixture* digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton. Tujuan penggunaan admixture pada beton segar adalah untuk memperbaiki *workability* beton, mengatur faktor air semen pada beton segar, mengatur waktu pengikatan aduk beton, meningkatkan kekuatan beton keras, meningkatkan sifat kedap air pada beton keras, dan meningkatkan sifat tahan lama pada beton keras termasuk terhadap zat-zat kimia dan tahan terhadap gesekan. Ketentuan dan syarat mutu bahan tambah admixture sesuai dengan ASTM C 494-81 “*Standard Specification For Chemical Admixture For Concrete*”.

BESTMITTEL

Bestmittel merupakan bahan tambah kimia berbasah dasar Lignin Sulfonic Acid yang sesuai dengan ASTM-C 494-81 “Standart Specification For Chemical Admixture For Concrete. Bestmittel termasuk jenis bahan tambah kimia Tipe E, Water Reducing dan Accelerating Admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan beton.

Bestmittel merupakan formula khusus yang sangat ekonomis dalam proses pengecoran sehingga menjadikan beton lebih cepat keras dalam usia muda serta mengurangi pemakaian air pada saat pengecoran sehingga meningkatkan mutu/kekuatan beton. Bestmittel sangat membantu untuk pengecoran dengan jadwal waktu yang sangat ketat karena beton cepat mengeras pada usia awal (7 – 10 hari) serta meningkatkan mutu/kekuatan beton 5% - 10%. Umumnya 1 kg Besmittel digunakan untuk 200 kg – 450 kg semen (0,2% - 0,6% × berat semen). Bestmittel memiliki keunggulan untuk mempersingkat proses

pembetonan, cetakan beton dapat dilepas lebih cepat, dan mengurangi pemakaian air 5% - 20% sehingga menjadikan beton lebih solid dan lebih plastis.



Gambar 1. *Bestmittel*

KUAT TEKAN

Beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekan tinggi, umumnya sifat-sifat yang lain juga baik. Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu sebagai berikut :

Tabel 1. Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10 MPa
Beton normal	15 – 30 MPa
Beton pra tegang	30 – 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

Sumber : (Kardiono Tjokrodiluljo, 2007)

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan cara memberikan pembebanan pada benda uji silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, kemudian mencatat beban maksimum (P) pada saat benda uji runtuh dan kemudian dibagi dengan luas penampang benda uji (A) seperti dengan persamaan berikut :

$$f_c' = P/A \text{ (N/mm}^2 \text{ = MPa)}.$$

METODELOGI PENELITIAN

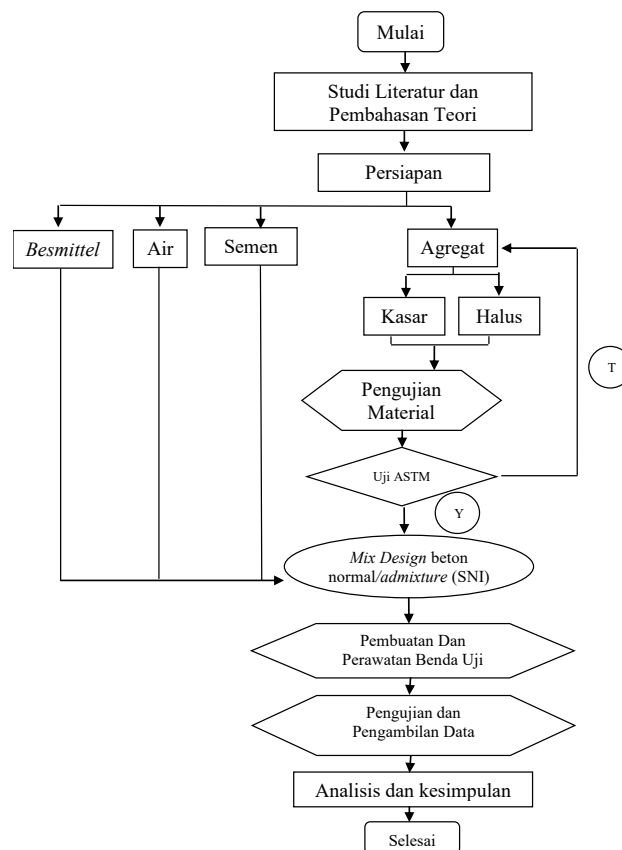
Penelitian dilakukan secara eksperimen di laboratorium untuk mendapatkan data yang konkret dari hasil penelitian. Benda uji yang akan dibuat sebanyak 40 buah benda uji berbentuk silinder dengan ukuran penampang diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, yang terdiri dari 20 benda uji beton normal dan 20 benda uji beton *admixture*.

Tabel 2. Jumlah Benda Uji

Pengujian Karakteristik Beton	Jenis Beton	Umur				Jumlah
		7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	
Kuat Tekan	Beton Normal	5	5	5	5	20
	Beton <i>Admixture</i>	5	5	5	5	20
Jumlah						40

Sumber : Data Primer Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi enam tahap yaitu : Pemeriksaan bahan campuran beton, pembuatan rencana campuran (*mix design*), pembuatan benda uji, pemeliharaan terhadap benda uji (*curing*), pelaksanaan pengujian, dan analisis hasil penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL PENGUJIAN MATERIAL

Pengujian material dimaksudkan untuk mengetahui data awal mengenai material yang akan digunakan pada campuran beton. Data awal itu antara lain modulus kehalusan agregat, berat jenis agregat, penyerapan agregat, kadar air agregat, kadar lumpur agregat halus, berat volume agregat dan kandungan zat organik



agregat halus. Data-data yang didapat akan dipergunakan sebagai acuan perhitungan campuran beton. Adapun data-data pengujian yang diperoleh yaitu :

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Pengujian Bahan Penyusun Beton

Jenis pengujian	Material	Hasil Pengujian	Standar ASTM
Modulus kehalusan	Agregat kasar	6,693	6,0 – 8,0
	Agregat halus	3,023	2,3– 3,1
Berat jenis	Agregat kasar	2,556	2,5 – 2.7
	Agregat halus	2,58	2,5 – 2.9
Penyerapan	Agregat kasar	1,07%	1 – 3%
	Agregat halus	2 %	1 – 3%
Kadar Air	Agregat kasar	1,99 %	0 – 3%
	Agregat halus	0,3%	0 – 1%
Berat volume	Agregat kasar	1524,4 kg/m ³	-
	Agregat halus	1529,4 kg/m ³	-
Kadar lumpur	Agregat halus	4,3%	< 5%
Kandungan Zat Organik	Agregat Halus	Sama dengan warna standar (kadar zat organis no. 2).	Tidak boleh lebih terang dari warna standar

Sumber: Data Hasil Penelitian

Data yang diperoleh dalam Tabel 3. Menunjukkan bahwa material penyusun beton tersebut telah memenuhi standar ASTM dan dapat dijadikan sebagai bahan penyusun beton untuk dilakukan pengujian.

PERENCANAAN CAMPURAN BETON

Perencanaan campuran beton dihitung menggunakan metode SNI (*Standar nasional Indonesia*) dan komposisi campuran beton yang diperoleh dari perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 4. sebagai berikut :

Tabel 4. Komposisi Campuran Dengan angka penyusutan 15%

Semen (kg)	Air (Liter)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Besmittel (Liter)	Keterangan
444,82	235,75	837,74	1156,88	1,78	Per M ³
2,36	1,25	4,44	6,13	0,01	1 Benda Uji

Sumber: Data Hasil Penelitian

KELECAKAN (WORKABILITY)

Pengujian kelecakan dilakukan dengan cara *slump test* pada masing-masing adukan beton mutu beton yaitu $f_c' = 25$ MPa dan nilai *slump* yang direncanakan adalah 10 ± 2 cm. Nilai *slump* beton masing-masing campuran adukan beton disajikan pada Tabel 5. sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Pengukuran Nilai *Slump* Pada Beton Mutu $f_c' = 25$ MPa

No	Jenis Beton	Mutu (MPa)	<i>Slump</i> (cm)	<i>Slump</i> Rata-rata (cm)	<i>Slump</i> Rencana (cm)
1	<i>Beton Normal</i>		10		
		$F_c' = 25$	9	9	10 ± 2
			8		
2	<i>Beton Admixture</i>		10,5		
		$F_c' = 25$	10	10,5	10 ± 2
			11		

Sumber: Data Hasil Penelitian

Tabel 5. memperlihatkan kecacakan adukan beton normal diperoleh nilai *slump* rata-rata 9 cm dan adukan beton campuran *Bestmittel* memiliki kecacakan yang lebih rendah dengan nilai *slump* rata-rata 10,5 cm, sehingga dalam pengerjaan adukan beton campuran *Bestmittel* akan lebih mudah dikerjakan.

PENGUJIAN KUAT TEKAN

Hasil pengujian kuat tekan beton karakteristik didapatkan dari pengujian kuat tekan rata-rata lima buah benda uji beton. Benda uji yang akan diuji menggunakan dua jenis beton yang berbeda yaitu Beton Normal dan Beton *Bestmittel*. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 6. Dan Tabel 7. sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Rata-rata

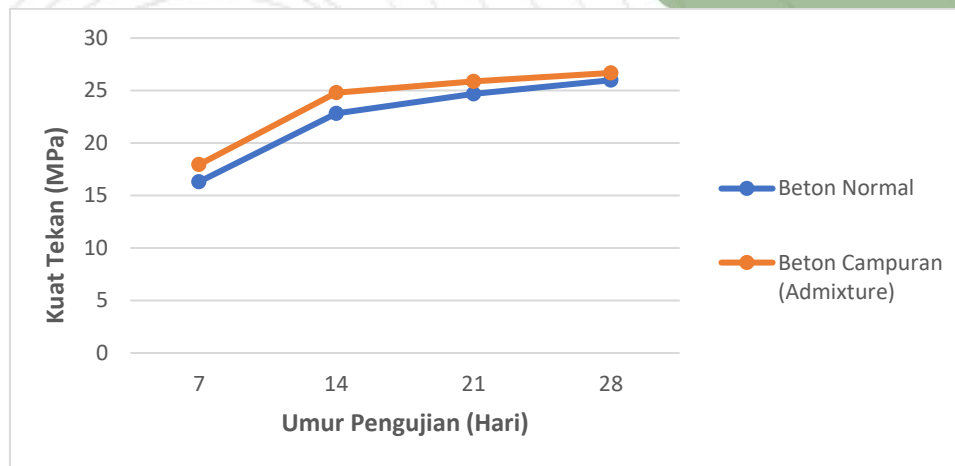
Jenis Beton	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)			
	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
<i>Beton Normal</i>	16,306	22,825	24,685	25,987
<i>Beton Bestmittel</i>	17,947	24,799	25,874	26,681

Sumber: Data Hasil Penelitian

Tabel 7. Persentase Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata (%)

Jenis Beton	Persentase Perbandingan Kuat Tekan Rata-rata (%)			
	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
<i>Beton Normal</i>	-	-	-	-
<i>Beton Bestmittel</i>	>10,06	>8,65	>4,82	> 2,671

Sumber: Data Hasil Penelitian



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton Normal dan Beton *Bestmittel*

Tabel 6. Dan Tabel 7. diatas dapat diketahui bahwa kuat tekan beton *Bestmittel* memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Hal ini dikarenakan adanya campuran bahan additive *Besmittel* pada beton campuran (admixture) yang mempunyai keunggulan memberikan kontribusi mempercepat pengerasan beton. Akan tetapi kuat tekan yang dihasilkan oleh kedua jenis semen masih memenuhi kuat tekan rencana yaitu 25 MPa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Keleccakan adukan beton normal diperoleh nilai *slump* rata-rata 9 cm dan adukan beton *Bestmittel* memiliki keleccakan yang lebih rendah dengan nilai *slump* rata-rata 10,5 cm, sehingga dalam pengerjaan adukan beton *Bestmittel* akan lebih mudah.

Dari hasil pengujian kuat tekan menunjukkan beton *Bestmittel* mendapatkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal, dengan persentase perbandingan kuat tekannya sebesar 10,06% di umur 7 hari, 8,65% di umur 14 hari, 4,82% di umur 21 hari dan 2,671% di umur 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

Mulyono, Tri. 2004. Teknologi Beton. Yogyakarta: Andi.

Nugraha, Paul., Antoni. 2007. Tenkologi Beton dari Material, pembuatan,ke Beton Kinerja Tinggi. Yogyakarta: Andi.

Samekto, Wuryani dan Rahmadiyanto Candra. 2001 Teknologi Beton. Yogyakarta: Kanisius.

SNI. 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Versi). Bandung.

SNI. 15-2049-2004. Semen Portland. Badan Standarisasi Nasional.

SNI. 15-7064-2004. Semen Portland Komposit. Badan Standarisasi Nasional.

SNI. 15-3758-2004. Semen Masonry. Badan Standarisasi Nasional.

SNI. 03-1972-1990. Metode Pengujian Slump. Badan Standarisasi Nasional.

ASTM. C33-78. Standard Spesification For Concrete Aggregate.

ASTM. C-143. Standard Test Method For Slump.

Suarnita, I Wayan. 2011. Kuat Tekan Beton dengan Additif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli. Jurnal SMARTek Vol.9 No.1. Palu: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako.