

Pemanfaatan Limbah Fly Ash sebagai Alternatif Pengganti Semen dengan Teknologi Beton High Volume Fly Ash (HVFA)

Ratni Nurwidayati¹ Abdul Karim¹ Ade Yuniati Pratiwi² Muhammad Raihan Riandi³ Nursiah Chairunnisa²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

² Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

³ Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan Politeknik Negeri Banjarmasin

✉ ratninurwidayat@ulm.ac.id

Kebutuhan terhadap semen meningkat sejalan dengan pembangunan infrastruktur yang terus meningkat. Hal ini dapat menyebabkan pemanasan global sehingga perlu upaya untuk mengurangi pemakaian semen. Di pihak lain, batu bara masih digunakan untuk sumber energi pada industri PLTU. Abu sisa pembakaran menjadi limbah yang perlu dimanfaatkan dalam volume besar sebagai pengganti semen yang disebut dengan *High Volume Fly Ash* (HVFA) atau beton dengan persentase fly ash (FA) lebih dari 50%. Penelitian ini mengevaluasi waktu pengikatan, sifat mekanik mortar dan beton HVFA. Variasi FA yang digunakan adalah 0%, 40%, 50%, dan 60% dengan tambahan *superplasticizer* (SP) yaitu *viscocrete* 1050 sebesar 0%, 0,4%, 0,7%, dan 1%. Hasilnya menunjukkan kuat tekan tertinggi dari mortar dengan FA 40% dengan SP 1% yaitu 23,45 MPa pada umur 28 hari dan beton dicapai pada persentase FA 40% dengan *viscocrete* 1% sebesar 15,66 MPa pada umur 56 hari. Untuk kuat tarik belah beton tertinggi pada persentase FA 40% dengan SP 1% sebesar 2,22 MPa dengan nilai konstanta sebesar 0,59. Semakin tinggi persentase variasi FA maka akan semakin rendah nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Disamping itu, semakin tinggi persentase SP maka semakin tinggi nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik belah.

Kata kunci: *High Volume Fly Ash*, *viscocrete*, kuat tekan, kuat tarik belah, waktu pengikatan

Diajukan: 16 September 2023

Direvisi: 17 Februari 2024

Diterima: 29 Februari 2024

Dipublikasikan online: 30 Februari 2024

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus meningkat terlebih sedang terjadi pembangunan IKN (Ibu Kota Negara) baru di pulau Kalimantan. Konstruksi beton menjadi pilihan utama karena beton mudah dikerjakan, mempunyai kuat tekan yang tinggi dan relatif lebih murah karena bahan pembentuknya berasal dari material lokal. Kebutuhan semen otomatis akan meningkat karena semen digunakan sekitar 10-12% dari total volume beton yang dihasilkan (Van Oss & Padovani, 2002). Diperkirakan kebutuhan semen di IKN mencapai 21 juta ton untuk konstruksi hingga pembangunan selesai efektif pada 2045 (Hamdhi, 2022). Produksi semen memiliki dampak lingkungan yang merugikan. Produksi semen menyumbang sekitar 5% dari total emisi CO₂ antropogenik dan 12-15% dari penggunaan energi global dari sektor industri (Thwe, Khatiwada, & Gasparatos, 2021). Karena jumlah OPC yang dikonsumsi setiap tahun dan tingginya energi yang terkandung, saat ini dicari bahan baru yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi emisi CO₂ (McClellan, Williams, Lay, Van Riessen, & Corder, 2011).

Lebih lanjut, peningkatan infrastruktur juga mengakibatkan kebutuhan terhadap listrik meningkat sekitar 4,75% pada tahun 2021 dibandingkan tahun 2020 (Julian, 2021). Batu bara merupakan sumber energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pembakaran batubara pada PLTU menghasilkan sekitar 5-10% polutan padat yang berupa abu yaitu faly ash (FA) dan bottom ash, di mana sekitar 80-90% adalah FA dan 10-20% adalah bottom ash sekitar dari total abu yang dihasilkan (Lan & Yuansheng, 2007; Wardani, 2008). PLTU PT. Tanjung Power Indonesia (TPI) yang merupakan anak perusahaan Adaro Power berada di Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan mempunyai kapasitas 2x100 Mega-Watt (Meilanova, 2021). Terjadi peningkatan limbah FABA yang sangat signifikan sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak dipergunakan. FABA dari TPI tidak memenuhi katagori sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) sehingga dapat dimanfaatkan secara masif (Pratiwi, 2021).

Upaya untuk mengurangi pemakaian semen dan mengurangi timbunan FA dari PLTU adalah dengan mengganti semen dengan FA pada campuran beton.

Cara mensitasi artikel ini:

Nurwidayati, R., Karim, A., Pratiwi, A.Y., Riandi, M.R., Chairunnisa, N. (2024) Pemanfaatan Limbah Fly Ash sebagai Alternatif Pengganti Semen dengan Teknologi Beton High Volume Fly Ash (HVFA). *Buletin Profesi Insinyur* 7(1) 032-038

Penelitian membuktikan bahwa FA memperbaiki kelecakan (*workability*) beton, mengurangi *bleeding*, mengurangi kenaikan temperatur pada saat proses beton mengeras, mengurangi susut, meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan agresif (Saha, 2018; Yao et al., 2015). Beton normal dengan persentase FA yang tinggi sekitar 40%-80% sebagai pengganti semen disebut *high volume fly ash (HVFA)* (Huang, Lin, Chang, & Chen, 2013; Van den Heede, Thiel, & De Belie, 2020). Kuat tekan beton dengan menggunakan FA sangat tergantung dengan karakteristik dari FA yang digunakan (Nurwidayati, Ulum, Ekaputri, Triwulan, & Suprobo, 2016). Tidak ada informasi pemanfaatan FA dari PT.TPI untuk digunakan sebagai pengganti semen. Sehingga perlu evaluasi penggunaan FA limbah PLTU TPI dengan persentase volume yang tinggi.

Kekuatan beton ditentukan oleh kuat tekan beton yang dapat dicapai dengan mengurangi rasio air terhadap jumlah semen dan FA. Namun dapat menyebabkan kelecakan beton berkurang dan memerlukan *superplasticizer SP* yang efektif meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kelecakan beton. Dosis penggunaan SP pada pemakaian FA dari PT. TPI belum diketahui sehingga perlu dievaluasi. Berdasarkan uraian tersebut di atas, perlu usaha untuk mengurangi pemakaian semen dan memanfaatkan limbah FA dalam volume yang besar dan dapat di aplikasikan di daerah lahan basah.

Metode

Rangkaian pengujian *experimental* dilakukan pada Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Pengujian tersebut terdiri dari pengujian karakteristik agregat kasar, agregat halus, semen dan FA. Penelitian ini terdiri dari dua tahap. Pertama adalah menentukan komposisi optimum mortar HVFA dan kedua adalah membuat beton HVFA dari komposisi optimum tahap pertama.

FA yang digunakan berasal dari PT. Tanjung Power Indonesia, Tanjung, Kalimantan Selatan. Sebelum digunakan, FA disaring menggunakan saringan no. 200 dengan bukaan lubang 75 μm agar kehalusan butiran FA memenuhi syarat yang ditetapkan ASTM C618 bahwa persentase yang tertahan disaringan no. 325 maksimal 34% agar dapat digunakan sebagai material pozzolan (ASTM C618-02, 2010). Pada FA dilakukan pengujian densitas, berat jenis dan pengujian X-ray fluorescence (XRF) untuk mendapatkan komposisi kimia FA. Persentase FA sebagai pengganti semen merupakan variabel pada penelitian itu yaitu sebanyak 0% sebagai kontrol campuran, 40%, 50% dan 60%.

Agregat halus yang digunakan adalah pasir Barito dan agregat kasar adalah batu Katunun yang dijual di pasaran. Agregat halus disaring menggunakan saringan No. 4 dengan bukaan 4,76 mm. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar dan halus adalah kadar air, kadar lumpur, analisa saringan, densitas, berat jenis

dan persentase penyerapan air. Pemeriksaan tambahan untuk agregat kasar adalah uji keausan.

Viscocrete 1050 (SP) produk SIKA merupakan *high range water reducing and retarding admixture* digunakan sebagai *admixture* pada penelitian ini. *Superplasticizer* ini cocok digunakan untuk campuran beton yang menggunakan bahan yang bersifat pozzolan seperti fly ash. Dosis yang digunakan merupakan variabel penelitian yaitu 0,4%, 0,7% dan 1% dari berat campuran FA dan semen. Tidak ada pengurangan air dalam campuran. Pada penelitian ini, SP difungsikan sebagai retarder.

Kuat tekan beton rencana adalah 20 MPa menggunakan SNI 7656-2012 (Badan Standarisasi Nasional, 2012). Pengujian waktu pengikatan (*setting time*) juga dilakukan untuk semua variabel campuran. Komposisi mortar didapat dengan cara campuran beton segar disaring menggunakan saringan No. 4 untuk membuang agregat kasar dalam campuran beton. Kemudian dicetak menggunakan cetakan mortar yaitu kubus dengan sisi 5×5×5 cm. Setelah mortar mengering, cetakan dibuka dan mortar dicuring dengan cara di rendam dalam air PDAM seperti yang terlihat pada Gambar 1 (a). Pengujian kuat tekan mortar HVFA dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari masing-masing 3 (tiga) buah benda uji. Dari evaluasi pengaruh persentase SP terhadap kuat tekan mortar, ditentukan kuat tekan tertinggi yang dianggap sebagai komposisi optimum. Beton HVFA dibuat berdasarkan komposisi utama tersebut. Kuat tekan beton HVFA dievaluasi pada umur 7, 14, 28 dan 58 hari dan kuat tarik belah beton HVFA pada umur 28 hari. Kemudian akan dicari hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah beton HVFA. Curing beton HVFA adalah dengan cara direndam air PDAM (pH normal) seperti Gambar 1 (b).



Gambar 1 Curing mortar dan beton HVFA

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Material

Kandungan kimia FA yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. FA yang digunakan termasuk dalam kelas C berdasarkan jumlah kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang sama dengan 68,13% dengan kandungan CaO sama dengan 15,02%. Jumlah ini lebih rendah dari 70% dan kandungan CaO lebih dari 10% sehingga termasuk

FA kelas C. Densitas FA adalah 0,71 gr/cm³ dan berat jenis 2,69.

Tabel 1 Kandungan Kimia Material Fly ash Tanjung Power Indonesia (% berat)

oksida	%
Silicon Dioxide (SiO ₂)	45,01
Aluminium Trioxide (Al ₂ O ₃)	10,11
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	13,01
Calcium Oxide (CaO)	15,02
Magnesium Oxide (MgO)	11,02
Sodium Dioxide (Na ₂ O)	0,53
Potassium Oxide (K ₂ O)	0,72
Manganese Oxide (MnO ₂)	0,20
Titanium Dioxide (TiO ₂)	0,53
Phosphorus Pentoxide (P ₂ O ₅)	0,20
Sulphur Trioxide (SO ₃)	3,12

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan termasuk dalam zona 1 dengan kadar air 1,13%, kadar lumpur 0,88%, densitas 1,47 gr/cm³, berat jenis 2,77, persentase penyerapan air 0,50% dan keausan 15,60%. Sedangkan hasil pemeriksaan agregat kasar menunjukkan bahwa agregat halus dari Barito yang digunakan termasuk dalam zona 4 dengan Modulus halus Butir (MHB) 1,83, kadar air 4,60%, kadar lumpur 1,40%, densitas 1,55 gr/cm³, berat jenis 2,62 dan persentase penyerapan air 0,81%.

Berdasarkan data karakteristik material pembentuk beton diatas, didapat komposisi campuran beton. Campuran beton dengan kuat tekan rencana 20MPa di desain dengan menggunakan SNI 7656:2012 (Badan Standarisasi Nasional, 2012) seperti yang terlihat pada **Tabel 2**. Komposisi mortar yang digunakan pada penelitian ini sama dengan komposisi beton dengan membuang agregat kasar.

Waktu Pengikatan (Setting Time)

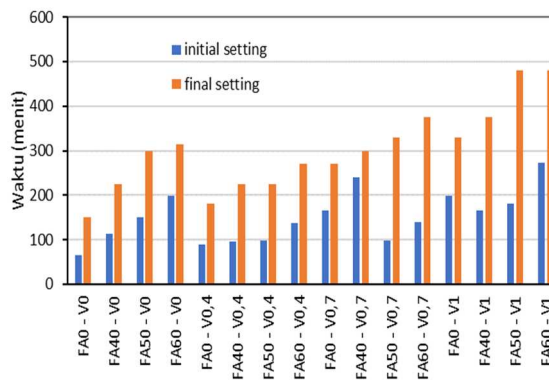
Gambar 2 memperlihatkan waktu pengikatan awal (*initial setting*) dan pengikatan akhir (*final setting*) pasta HVFA. Pengikatan awal terjadi apabila hasil penetrasi sama dengan 25 mm. Pengikatan akhir terjadi apabila penurunan sama dengan nol. Benda uji tanpa FA dan tanpa SP (FA0-V0) mempunyai pengikatan awal dan akhir paling cepat berturut-turut selama 65 menit dan 150 menit. Sedangkan benda uji dengan FA 60% dan SP 1% (FA60-V1) mempunyai pengikatan awal dan akhir paling lambat yaitu berturut-turut 273 menit dan 480 menit.

Pada benda uji yang mengandung 60% FA mempunyai pengikatan akhir yang lebih panjang sampai 315-480 menit (FA60-V0, FA60-V0,4, FA60-V0,7 dan FA60-V1). Pada benda uji yang mengandung SP 1%, mempunyai juga pengikatan akhir paling lama yaitu antara 330-480 menit (FA0-V1, FA40-V1, FA60-V1 dan

FA60-V1). Sehingga dapat dikatakan bahwa pada persentase FA yang sama, makin besar persentase SP, makin lama waktu pengikatan akhir dan dengan persentase SP yang sama, makin tinggi persentase FA makin panjang pengikatan akhir. FA dan SP memperlambat laju pengikatan pasta HVFA. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Huang et al. (2013).

Tabel 2 Komposisi campuran beton

Benda uji	Agregat kasar	Agregat halus	Semen	Fly ash	Air	SP
FA0-V0	1127,7	757,3	367,2	0	151,3	0
FA0-V0,4	1127,7	757,3	367,2	0	151,3	1,47
FA0-V0,7	1127,7	757,3	367,2	0	151,3	2,57
FA0-V1	1127,7	757,3	367,2	0	151,3	3,67
FA40-V0	1127,7	757,3	220,3	146,9	151,3	0
FA40-V0,4	1127,7	757,3	220,3	146,9	151,3	1,47
FA40-V0,7	1127,7	757,3	220,3	146,9	151,3	2,57
FA40-V1	1127,7	757,3	220,3	146,9	151,3	3,67
FA50-V0	1127,7	757,3	183,6	183,6	151,3	0
FA50-V0,4	1127,7	757,3	183,6	183,6	151,3	1,47
FA50-V0,7	1127,7	757,3	183,6	183,6	151,3	2,57
FA50-V1	1127,7	757,3	183,6	183,6	151,3	3,67
FA60-V0	1127,7	757,3	146,9	220,3	151,3	0
FA60-V0,4	1127,7	757,3	146,9	220,3	151,3	1,47
FA60-V0,7	1127,7	757,3	146,9	220,3	151,3	2,57
FA60-V1	1127,7	757,3	146,9	220,3	151,3	3,67

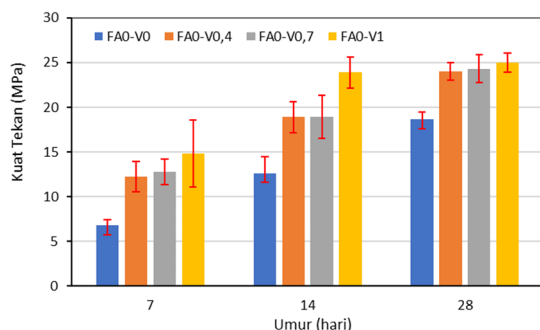


Gambar 2 Waktu pengikatan pasta HVFA

Kuat Tekan Mortar Akibat Pengaruh SP

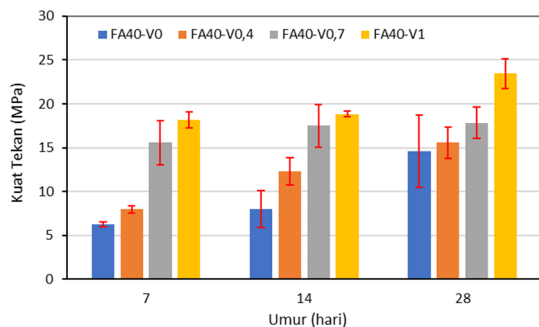
Gambar 3 memperlihatkan kuat tekan mortar kontrol (0% FA). Terlihat bahwa makin lama proses curing makin tinggi kuat tekan pada semua persentase SP. Kuat tekan Sp 0,4% dan 0,7% relatif sama pada umur 7, 14 dan 28 hari. Jika dibandingkan kuat tekan pada benda uji tanpa SP pada umur 28 hari, terjadi kenaikan kuat tekan berturut-turut 29%, 30% dan 34% pada penambahan SP 0,4%, 0,7% dan 1%. Kuat tekan SP 0,4% dan 0,7% umur 28 hari meningkat signifikan dari umur 14 hari sedangkan pada SP 1% terjadi kenaikan kuat tekan namun tidak signifikan. Kuat tekan tertinggi 25,03

MPa pada benda uji dengan 1% SP. Makin tinggi persentase SP makin tinggi kuat tekan.



Gambar 3 Pengaruh SP terhadap kuat tekan mortar (0% FA)

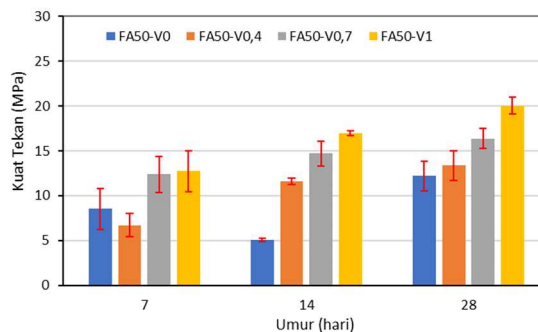
Gambar 4 memperlihatkan kuat tekan umur 7, 14 dan 28 hari pada benda uji dengan persentase FA 40%. Pada umur 28 hari, terjadi perbedaan yang signifikan pada SP 1% jika dibandingkan persentase SP yang lain. Jika dibandingkan dengan benda uji tanpa SP, maka terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 6%, 22%, dan 60% berturut pada SP 0,4%, 0,7% dan 1% pada umur 28 hari. Kuat tekan tertinggi 23,45 MPa (FA40-V1).



Gambar 4 Pengaruh SP terhadap kuat tekan mortar (40% FA)

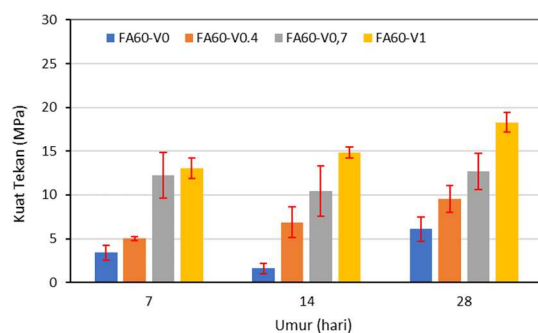
Gambar 5 menunjukkan bahwa hanya pada umur 7 hari penambahan SP 0,4% menurunkan kuat tekan jika dibandingkan tanpa SP. Pada umur yang lain kuat tekan meningkat dengan bertambahnya persentase SP dalam campuran mortar HVFA. Terjadi drop kuat tekan di umur 14 hari pada benda uji tanpa SP, namun kembali naik di umur 28 hari. Kuat tekan tertinggi 20,05 MPa pada umur 28 hari untuk benda uji SP 1%. Kenaikan kuat tekan umur 28hari adalah sebesar 9%, 34% dan 64% masing-masing pada 0,4%, 0,7% dan 1% jika dibandingkan dengan tanpa SP.

Seperti yang terjadi pada 50% FA (Gambar 5), pada benda uji 60% FA terjadi penurunan kuat tekan pada umur 14 hari untuk benda uji tanpa SP, namun kembali meningkat pada umur 28 hari seperti yang terlihat pada Gambar 6. Kuat tekan pada umur 28 hari berturut-turut sebesar 6,09 MPa, 9,51 MPa, 12,68 MPa, dan 18,30 MPa pada SP 0%, 0,4%, 0,7% dan 1% sehingga terjadi kenaikan sebesar 56%, 108% dan 201%.



Gambar 5 Pengaruh SP terhadap kuat tekan mortar (50% FA)

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan meningkat dengan meningkatnya persentase SP. Pada umur 28 hari, persentase kenaikan kuat tekan meningkat sangat signifikan pada benda dengan penambahan fly ash 60%.



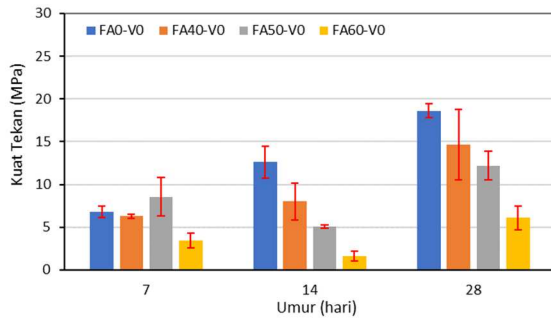
Gambar 6 Pengaruh SP terhadap kuat tekan mortar (60% FA)

Kuat Tekan Mortar Akibat Pengaruh FA

Gambar 7 sampai dengan Gambar 10 memperlihatkan kuat tekan mortar HVFA umur 7, 14 dan 28 hari pada berbagai persentase SP. Kuat tekan meningkat dengan meningkatnya masa perawatan kecuali kuat tekan umur 14 hari untuk benda uji FA50-V0 dan FA60-V0 yang mengalami penurunan kuat tekan jika dibandingkan kuat tekan umur 7 hari. Namun kedua jenis benda uji ini pada umur 28 hari mengalami kenaikan kuat tekan.

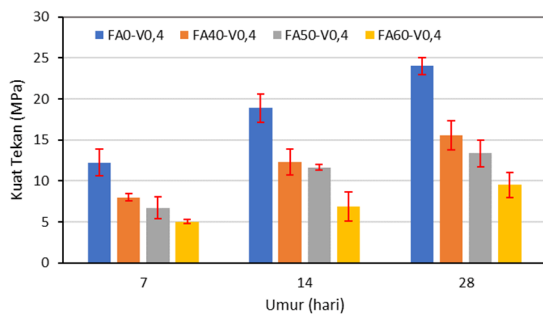
Gambar 7 memperlihatkan pada umur 7 hari, kuat tekan mengalami kenaikan kuat tekan pada 50% FA jika dibandingkan benda uji tanpa FA. Terjadi kenaikan sekitar 26%. Sedangkan 40% FA dan 60% FA mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut sekitar 7% dan 50%. Penurunan kuat tekan pada umur 14 hari lebih besar jika dibandingkan umur 7 hari. Penurunan kuat tekan 36%, 60% dan 87% ketika FA digunakan untuk mengganti semen berturut-turut sebanyak 40%, 50% dan 60%. Pada umur 28 hari kuat tekan FA40-V0, FA50-V0 dan FA60-V0 berturut-turut sebesar 18,62 MPa, 14,62 MPa, 12,20 MPa dan 6,09 MPa. Kuat tekan menurun sebesar 21%, 34% dan 67% pada benda uji

dengan FA 40%, 50% dan 60% jika dibandingkan dengan kuat tekan benda uji dengan tanpa FA (0%).



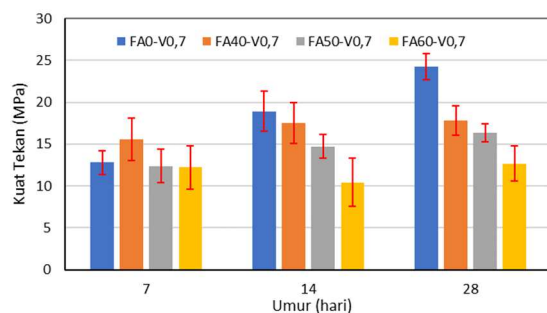
Gambar 7 Pengaruh FA terhadap kuat tekan mortar (0% SP)

Gambar 8 memperlihatkan kuat tekan mortar HVFA pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan tambahan admixture Sp 0,4%. Makin lama umur curing makin tinggi kuat tekan. Pada umur 28 hari, kuat tekan 24,01 MPa, 15,56 MPa, 13,35 MPa dan 9,51 MPa pada berturut-turut pada benda uji FA0-V0,4, FA40-V0,4, FA50-V0,4, dan FA60-V0,4. Hal ini menunjukkan terjadi penurunan kuat tekan sebesar 35%, 44% dan 60% jika FA digunakan 40%, 50% dan 60%.



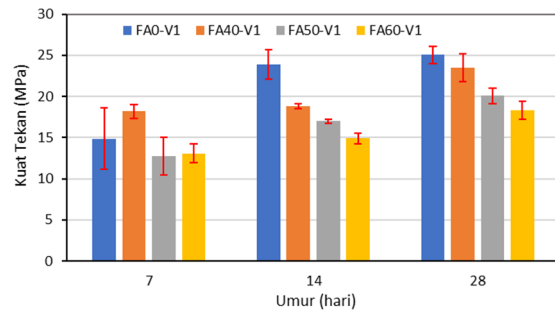
Gambar 8 Pengaruh FA terhadap kuat tekan mortar (0,4% SP)

Kuat tekan mortar HVFA dengan 0,7% SP diperlihatkan pada Gambar 9. Pada umur 7 hari, kuat tekan meningkat sekitar 22% ketika FA sebanyak 40% mengganti semen. Ketika jumlah FA diperbanyak menjadi 50% dan 60% kuat tekan menurun kembali sekitar 3% dan 4%. Persentase penurunan ini lebih rendah jika dibandingkan penurunan yang terjadi pada umur 14 dan 28.



Gambar 9 Pengaruh FA terhadap kuat tekan mortar (0,7% SP)

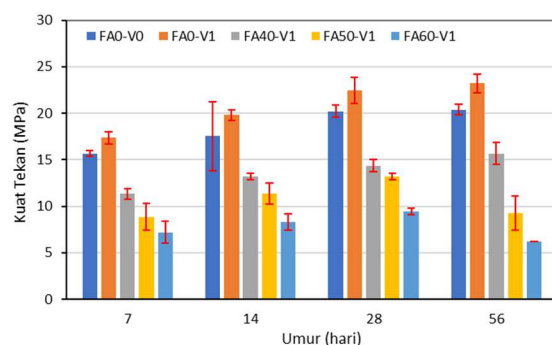
Gambar 10 menunjukkan kuat tekan mortar HFVA terus meningkat dengan meningkatnya umur benda uji pada SP 1%. Pada umur 7 hari, penggantian FA 40% terhadap semen meningkatkan kuat tekan sekitar 22%. Namun kuat tekan menurun ketika persentase FA meningkat menjadi 50% dan 60%. Pada umur 14 dan 28 hari, kuat tekan menurun dengan meningkatnya persentase FA yang digunakan.



Gambar 10 Pengaruh FA terhadap kuat tekan mortar (1% SP)

Kuat Tekan Beton HVFA

Dari kuat tekan mortar HVFA dapat ditentukan bahwa persentase SP yang akan digunakan untuk komposisi beton HVFA adalah 1%. Gambar 11 memperlihatkan kuat tekan beton dengan SP 1% pada persentase FA berturut-turut sebesar 0%, 40%, 50%, dan 60% adalah 17,36 MPa, 11,32 MPa, 8,87 MPa, dan 7,17 MPa pada umur 7 hari. Pada umur 14 hari berturut-turut 19,82 MPa, 13,21 MPa, 11,32 MPa, dan 8,3 MPa. Pada umur 28 hari berturut-turut 22,46 MPa, 14,34 MPa, 13,21 MPa, dan 9,44 MPa dan pada umur 56 hari, 23,21 MPa, 15,66 MPa, 9,25 MPa, dan 6,23 MPa. Terjadi kenaikan kuat tekan terhadap lamanya masa perawatan, kecuali pada umur 56 hari, kuat tekan menurun dibandingkan umur 28 hari pada benda uji dengan persentase FA 50% dan 60%.



Gambar 11 Kuat tekan beton HVFA

Penambahan SP pada beton tanpa FA (beton normal) meningkatkan kuat tekan, hal ini terlihat pada Gambar 11 antara benda uji FA0-V0 dengan FA0-V1. Terjadi peningkatan kuat tekan antara 11-14% akibat pengaruh penambahan SP pada beton normal. Kuat

tekan rencana pada umur 28 hari sebesar 20 MPa hanya tercapai pada benda uji 0% FA baik dengan SP 1% maupun tanpa SP.

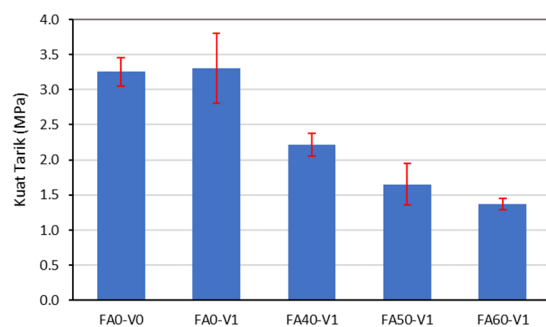
Pada umur 28 hari, terjadi penurunan kuat tekan sebesar 36%, 41% dan 58% berturut-turut pada benda uji dengan penambahan FA 40%, 50% dan 60%. Hal ini hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Supit et al. (Supit, Shaikh, & Sarker, 2014) yang mengalami penurunan 40% dan 54% ketika semen diganti dengan FA sebanyak 50% dan 60%.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

Gambar 12 memperlihatkan kuat tarik belah beton tanpa FA dan SP sebagai kontrol dan dengan SP 1% pada penambahan FA 40%, 50%, dan 60%. Kuat tarik belah dengan FA 0%, 40%, 50% dan 60% berturut-turut adalah 3,30 MPa, 2,22 MPa, 1,65 MPa, dan 1,37 MPa. Penambahan SP 1% tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat tarik belah pada beton normal. Namun pada kuat tarik belah beton HVFA, terjadi penurunan kuat tarik belah ketika FA dalam jumlah besar mengganti semen. Besar penurunan kuat tarik belah berturut-turut 33%, 50% dan 59% dengan persentase FA sebanyak 40%, 50% dan 60%.

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton HVFA

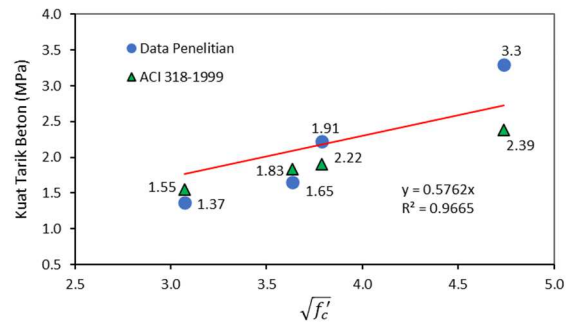
Analisis hubungan antara kuat tekan dengan kuat tarik belah beton HVFA pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 13. Berdasarkan ACI 318-1999 (ACI Committee 318, 1999), hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal (f'_t) adalah $f'_t = K \sqrt{f'_c}$ dimana K sama dengan 0,504. Nilai K didapat dari data hasil pengujian kuat tekan dan tarik belah pada umur 28 tahun seperti yang terlihat pada Tabel 3 Nilai K. Dari Gambar 13 didapatkan besar K dari penelitian ini yaitu 0,5762. Sehingga didapat hubungan $f'_t = 0,5762 \sqrt{f'_c}$.



Gambar 12 Kuat tarik belah beton pada umur 28 hari

Tabel 3 Nilai K

Benda Uji	Kuat Tekan	$\sqrt{f'_c}$	Kuat Belah	ACI code	K ACI code
FA0-V1	22,46	4,74	3,30	2,39	0.504
FA40-V1	14,34	3,79	2,22	1,91	0.504
FA50-V1	13,21	3,63	1,65	1,83	0.504
FA60-V1	9,44	3,07	1,37	1,55	0.504



Gambar 13 Hubungan antara kuat tekan dan tarik belah beton HVFA

Kesimpulan

Dari hasil uraian di atas, diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Meningkatnya FA menurunkan kuat tekan mortar HVFA, kuat tekan dan tarik beton HVFA dan sebaliknya meningkatnya SP meningkatkan kuat tekan mortar HVFA, kuat tekan dan tarik beton HVFA.
2. Kuat tekan mortar HVFA tertinggi pada umur 28 hari berturut-turut 23,45 MPa, 20,05 MPa, dan 18,30 MPa pada FA 40%, 50%, 60% dengan SP 1%. Sedangkan kuat tekan beton tertinggi dengan FA 40% dan SP 1% sebesar 15,66 MPa pada umur 56 hari.
3. Kuat tarik belah beton HVFA tertinggi pada FA 40% SP 1% sebesar 2,22 MPa.
4. Hubungan kuat tekan dan tarik belah beton HVFA adalah $f'_t = 0,5762 \sqrt{f'_c}$.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana dari Universitas Lambung Mangkurat sesuai dengan Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Lambung Mangkurat Nomor SP DIPA-023.17.2.677518/2023 tanggal 30 November 2022 dan berdasarkan SK Rektor Universitas Lambung Mangkurat Nomor : 615/UN8/PG/2023 Tanggal 31 Mei 2023

Referensi

- ACI Committee 318. (1999). Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95). American Concrete Institute, Farmington Hills.
- ASTM C150/C150M. (2012). Standard Specification for Portland Cement. In ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/C0150>
- ASTM C618-02. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. In ASTM International, West Conshohocken, PA. West Conshohocken, PA: ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0618>
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. Jakarta.

- Hamdhi, A. (2022). Cukupi Kebutuhan di IKN, Semen Indonesia (SMGR) Punya Prospek Cerah. Retrieved from <https://investasi.kontan.co.id/news/cukupi-kebutuhan-di-ikn-semen-indonesia-smgr-punya-prospek-cerah>
- Huang, C.-H., Lin, S.-K., Chang, C.-S., & Chen, H.-J. (2013). Mix proportions and mechanical properties of concrete containing very high-volume of Class F fly ash. *Construction and Building Materials*, 46, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.016>
- Julian, M. (2021). PLN: Konsumsi listrik tahun 2021 diprediksi tumbuh di atas 4,75%. Retrieved March 6, 2022, from <https://newssetup.kontan.co.id/news/pln-konsumsi-listrik-tahun-2021-diprediksi-tumbuh-di-atas-475>
- Lan, W., & Yuansheng, C. (2007). The Application and Development of Fly Ash in China. 2007 World of Coal Ash (WACO), 2–9. Northern Kentucky, USA. Retrieved from <http://www.flyash.info>
- McLellan, B. C., Williams, R. P., Lay, J., Van Riessen, A., & Corder, G. D. (2011). Costs and carbon emissions for geopolymers in comparison to ordinary portland cement. *Journal of Cleaner Production*, 19, 1080–1090. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.02.010>
- Meilanova, D. R. (2021). FABA Dikecualikan dari Limbah B3, Ini Langkah Adaro Power. Retrieved March 12, 2023, from <https://ekonomi.bisnis.com/read/20210326/44/1373216/faba-dikecualikan-dari-limbah-b3-ini-langkah-adaro-power>
- Nurwidayati, R., Ulum, M. B., Ekaputri, J. J., Triwulan, & Suprobo, P. (2016). Characterization of fly ash on geopolymers paste. *Materials Science Forum*, 841(January), 118–125. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.841.118>
- Pratiwi, I. (2021). Adaro: Limbah FABA Berdampak Positif Bagi Lingkungan. Retrieved March 12, 2023, from <https://ekonomi.republika.co.id/berita/qpyd3g383/ada-ro-limbah-faba-berdampak-positif-bagi-lingkungan-part1>
- Saha, A. K. (2018). Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete. *Sustainable Environment Research*, 28(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.09.001>
- Supit, S. W. M., Shaikh, F. U. A., & Sarker, P. K. (2014). Effect of ultrafine fly ash on mechanical properties of high volume fly ash mortar. *Construction and Building Materials*, 51, 278–286. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.002>
- Thwe, E., Khawidada, D., & Gasparatos, A. (2021). Life cycle assessment of a cement plant in Naypyitaw, Myanmar. *Cleaner Environmental Systems*, 2(28), 100007. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2020.100007>
- Van den Heede, P., Thiel, C., & De Belie, N. (2020). Natural and accelerated carbonation behaviour of high-volume fly ash (HVFA) mortar: Effects on internal moisture, microstructure and carbonated phase proportioning. *Cement and Concrete Composites*, 113(June), 103713. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103713>
- Van Oss, H. G., & Padovani, A. C. (2002). Cement manufacture and the environment - Part I: Chemistry and technology. *Journal of Industrial Ecology*, 6(1), 89–105. <https://doi.org/10.1162/108819802320971650>
- Wardani, S. P. R. (2008). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. In *Pidato Pengukuhan Guru Besar*. Semarang.
- Yao, Z. T., Ji, X. S., Sarker, P. K., Tang, J. H., Ge, L. Q., Xia, M. S., & Xi, Y. Q. (2015). A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*, 141, 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.016>