

## Kuat Tekan *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) Dimodifikasi dengan Bahan Lokal

Wiwik Dwi Pratiwi<sup>1\*</sup>, Tya Amalia Veridian Aurora<sup>2</sup>, Yuyun Tajunnisa<sup>3</sup> dan  
I Putu Arta Wibawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Magister Terapan Teknik Keselamatan dan Resiko Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2</sup> Program Studi D4 Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

<sup>4</sup> Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya Jl. Menur 127, Surabaya, 60116

<sup>2</sup> Program Studi D4 Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60116, Indonesia

Email: [wiwik.pratiwi@ppns.ac.id](mailto:wiwik.pratiwi@ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>, [tyaaurora@student.ppns.ac.id](mailto:tyaaurora@student.ppns.ac.id)<sup>2</sup>, [yuyun\\_t@ce.its.ac.id](mailto:yuyun_t@ce.its.ac.id)<sup>3</sup>, [putuarta@ppns.ac.id](mailto:putuarta@ppns.ac.id)<sup>4</sup>

### Abstrak

Beberapa dekade belakangan ini berkembang material beton yang dikenal sebagai UHPC (*Ultra High Performance Concrete*). Berbeda dengan beton konvensional, UHPC menggunakan faktor air-semen yang sangat rendah, tidak mengandung agregat kasar, dan memiliki *packing density* yang lebih tinggi. UHPC umumnya menggunakan semen dengan kadar yang tinggi, *silica fume*, serbuk silika halus, pasir silika, serat baja, air, dan HRWR (*high range water reducer*). Namun demikian UHPC dinilai kurang ramah lingkungan karena menggunakan *Portland cement* yang relatif tinggi, padahal produksi semen memiliki efek emisi CO<sub>2</sub> yang besar. Ditambah lagi, beberapa bahan penyusun merupakan bahan impor. Di sisi lain, Indonesia banyak memiliki *fly ash* sebagai material limbah dari pembakaran batu bara. Berdasarkan kondisi diatas, maka dipandang perlu untuk memodifikasi UHPC dengan bahan-bahan lokal dan melakukan substitusi semen dengan *fly ash* pada kadar yang tinggi. Penelitian ini mempelajari kuat tekan UHPC yang dimodifikasi dengan bahan lokal dan substitusi *fly ash* dengan kadar 50%. Agregat yang digunakan adalah pasir Lumajang dengan dua jenis gradasi. Sebagai micro filler, digunakan kalsium karbonat dengan ukuran partikel 3000 mesh dan 5000 mesh. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berukuran 75 x 150 mm, sesuai dengan standar ASTM 1856. Uji tekan dilakukan sesuai dengan standar ASTM C39 pada umur beton 7 dan 28 hari dengan perawatan di dalam larutan Ca(OH)<sub>2</sub> jenuh. Hasil pengujian menunjukkan modifikasi UHPC menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah daripada UHPC yang umum digunakan. Di samping itu, modifikasi UHPC tanpa disertai substitusi *fly ash* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan modifikasi UHPC disertai substitusi 50% *fly ash*, namun keduanya memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada batas persyaratan kekuatan minimal untuk beton mutu tinggi.

**Kata kunci:** *Fly ash*, kuat tekan, UHPC, *packing density*, emisi CO<sub>2</sub>

### Abstract

*In recent decades, a concrete material known as UHPC (Ultra High-Performance Concrete) has developed. Unlike conventional concrete, UHPC uses a very low water-cement ratio, contains no coarse aggregates, and has a higher packing density. UHPC typically utilizes high amounts of cement, silica fume, fine silica powder, silica sand, steel fibers, water, and high-range water reducers (HRWR). However, UHPC is considered less environmentally friendly due to its relatively high use of Portland cement, which has a large CO<sub>2</sub> emission footprint during production. Additionally, some of its components are imported. On the other hand, Indonesia has abundant fly ash, a waste material from coal combustion. Given these conditions, modifying UHPC with local materials and substituting a considerable portion of cement with fly ash is deemed necessary. This study examines the compressive strength of UHPC modified with local materials and a 50% substitution of cement with fly ash. The aggregate is volcanic sand from Lumajang. Calcium carbonate is used as a micro filler with particle sizes of 3000 mesh and 5000 mesh. The test specimens are cylindrical, measuring 75 x 150 mm, per ASTM 1856 standards. Compressive strength testing was conducted according to ASTM C39 at 7 and 28 days, curing in a saturated Ca(OH)<sub>2</sub> solution. The results indicate that the modified UHPC yields lower compressive strength than commonly used UHPC. Furthermore, the modified UHPC without fly ash substitution produced higher compressive strength than the modified UHPC with 50% fly ash substitution, although both achieved compressive strength above the minimum strength requirements for high-strength concrete.*

**Keywords:** *Fly ash*, compressive strength, UHPC, *packing density*, CO<sub>2</sub> emission

---

<sup>1\*</sup> [wiwik.pratiwi@ppns.ac.id](mailto:wiwik.pratiwi@ppns.ac.id)

## 1. Pendahuluan

UHPC merupakan beton dengan kekuatan mekanik yang tinggi, dan memiliki *workability* yang bagus (de Larrard & Sedran, 1994). Beton ini biasa digunakan pada konstruksi-konstruksi besar seperti halnya jembatan. UHPC memiliki kelebihan dari segi kuat tekan, daya alir yang tinggi, memiliki sifat lebih lentur, ketahanan abrasi serta benturan, permeabilitas rendah, dan daya tahan yang tinggi (Sy Dong, 2019). American Concrete Institute menyatakan bahwa komponen penyusun UHPC adalah semen, pasir kuarsa, serbuk kuarsa halus, serat baja, dan silica fume (ACI 239C, 2018). Selain itu, ciri khas dalam UHPC adalah penggunaan rasio air terhadap semen yang sangat rendah, yakni sekitar 0,2. Semua bahan tersebut diatur ukuran dan komposisinya sehingga menghasilkan *packing density* yang tinggi (Akhnoukh & Buckhalter, 2021; Du et al., 2021; Yu et al., 2014a, 2014b). Tabel 1 menunjukkan proporsi campuran dua campuran UHPC menurut ACI

Tabel 1. Proporsi campuran UHPC berdasarkan massa

UHPC component	Proporsi Campuran 1	Proporsi campuran 2
Semen	1	1
<i>Silica fume</i>	0.325	0.389
Pasir	0.300	0.277
Serbuk quartz atau tepung silika	0.300	0.967
HRWR	0.027	0.017
Air	0.280	0.208
Serat baja	0.300	0.310

(Sumber: (ACI 239-19, 2019))

UHPC memiliki daya tahan, sifat mekanik, dan *flowability* yang tinggi (de Larrard & Sedran, 1994; Richard & Cheyrezy, 1995). Di sisi lain, penggunaan kadar semen yang cukup besar pada UHPC menyebabkan harga UHPC relatif mahal dan menyebabkan tingginya emisi gas rumah kaca. UHPC menggunakan sekitar 1000kg/m<sup>3</sup> semen Portland dibanding dengan 300-500kg/m<sup>3</sup> pada beton biasa. (Bukhori, 2017).

UHPC bisa dipandang sebagai kombinasi tiga teknologi beton, yaitu *self compacting concrete* (SCC), *fiber reinforced concrete* (FRC), dan *high performance concrete* (HPC). Kuat tekan yang tinggi dari UHPC dihasilkan dengan mengurangi rongga dan meningkatkan kepadatan beton. Mutu tinggi tersebut dicapai dengan mengurangi rasio faktor air semen (fas), menghilangkan agregat kasar, menggunakan agregat halus bergradasi khusus, serta menambahkan supplementary cementitious material (SCM) dan serat tertentu pada campuran beton (Oesman, 2022).

UHPC telah digunakan oleh berbagai negara sejak sekitar tahun 2000, terutama untuk konstruksi jembatan (Akeed, dkk, 2022). Beberapa negara tersebut antara lain Prancis, Australia, Belanda, Spanyol, dan Malaysia. Keunggulan UHPC dalam aplikasi jembatan meliputi kemampuan untuk membuat bentang lebih panjang dengan volume struktural yang lebih kecil serta durabilitas jangka panjang yang lebih baik, yang pada akhirnya mengurangi biaya perawatan beton dalam jangka panjang (Gong et al., 2022).

Meskipun UHPC merupakan material dengan kekuatan yang tinggi, namun material ini masih jarang digunakan di Indonesia karena komponen penyusun yang relatif sulit didapatkan dengan harga yang relatif mahal. Berdasarkan permasalahan yang terjadi, telah dikembangkan beberapa penelitian yang telah mencoba memodifikasi UHPC dengan campuran lain untuk mencapai hasil yang lebih optimum. Salah satunya dengan penggunaan atau substitusi *fly ash* pada penelitian (Wijaya et al., 2021) dan penggunaan (Azme et al., 2021).

Berdasarkan (ACI 239-19, 2019), material penyusun UHPC yang lain adalah serat baja. Serat baja merupakan salah satu komponen yang berpotensi diganti karena harganya yang kurang ekonomis. Berdasarkan berbagai permasalahan diatas, belum ada penelitian yang membahas tentang modifikasi bahan dasar UHPC beserta implementasi jangka pendeknya. Sehingga penelitian ini akan berfokus pada analisis kekuatan beton UHPC dengan modifikasi bahan lokal menggunakan *fly ash* tipe F, polyamide fiber pasir lumajang, dan juga *limestone*.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Material

Binder yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland Tipe I (*Ordinary Portland Cement*, OPC) dan *fly ash*. OPC diproduksi oleh Pabrik Semen di Jawa Timur dan *fly ash* (FA) diperoleh dari salah satu PLTU di Jawa Timur. Komposisi oksida *fly ash* diuji dengan teknik *X Ray Fluorescence (XRF)* dan tertera pada Tabel 1. Tampak *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini memiliki SiO<sub>2</sub> sebesar 47,51%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 19,27%, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebanyak 18,84%, dan CaO sebanyak 8,89%. Menurut American Society for Testing Materials (ASTM), *fly ash* dibagi menjadi 2 tipe, yaitu F dan C. Baik kelas F maupun kelas C memiliki syarat jumlah oksida silika, aluminum dan besi minimum 50%. Yang membedakan antara kedua tipe tersebut adalah persentase CaO. Jika *fly ash* mengandung CaO lebih dari 18%, maka *fly ash* tersebut dikategorikan sebagai tipe C. Sedangkan untuk tipe F memiliki CaO kurang dari 18% (ASTM International, 2019). Berdasarkan standar ASTM dan data pengujian, maka *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini digolongkan sebagai tipe F.

Untuk mengetahui komposisi fasa *fly ash*, dilakukan pengujian dengan teknik *powder XRD (X ray Diffraction)* dan hasilnya tercantum pada Tabel 2. Tampak *fly ash* tersusun atas berbagai fase kristal serta hkl phase (fase amorf) sebesar 30,8%. Bagian amorf dari *fly ash* merupakan bagian yang reaktif sehingga memberikan kontribusi dalam pematangan fase pengikat melalui reaksi pozzolanik.

**Tabel 2.** Komposisi Oksida *Fly ash* diuji dengan XRF

Oksida	Massa (%)
SiO <sub>2</sub>	47,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,84
CaO	8,89
MgO	3,77
SO <sub>3</sub>	0,77
Na <sub>2</sub> O	0,76
K <sub>2</sub> O	0,96

**Tabel 3.** Komposisi fasa *fly ash* diukur dengan XRD

Fasa	Formula Kimia	Massa (%)
Lime	CaO	0,02
Periclase	MgO	2,51
Quartz	SiO <sub>2</sub>	26,96
Aphthitalite	NaKSO <sub>4</sub>	1,25
Anhydrite	CASO <sub>4</sub>	2,64
Brownmillerite(Si,Mg)	Ca <sub>2</sub> Fe <sub>1.2</sub> Mg <sub>0.4</sub> Si <sub>0.4</sub> O <sub>5</sub>	3,66
Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	14,41
Hematite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,70
Mullite 3:2	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	9,46
Thenardite	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,74
Diopside	Ca Mg Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	3,29
Hkl phase		30,8

Terdapat dua jenis kalsium karbonat yang digunakan sebagai filler mikro pada penelitian ini, yang mana keduanya diperoleh dari supplier komersial di Surabaya. Kelompok pertama (notasi GCC 3000) adalah ground calcium carbonate yang diklaim penjual memiliki ukuran 2000-3000 mesh. Kelompok kedua (kode PCC 5000) adalah *precipitated calcium carbonat* yang diklaim penjual memiliki ukuran 5000 mesh.

Pasir yang digunakan merupakan pasir vulkanik yang diperoleh dari Lumajang, Jawa Timur dengan 2 kelompok ukuran. Kelompok pasir pertama (notasi S1) memiliki ukuran minimal 0,15mm dan maksimal 4,78 mm dengan modulus

kehalusan 1,8. Pasir kelompok kedua (notasi S2) adalah pasir yang lolos saringan 10 mesh dan tertahan saringan 40 mesh, atau ukuran minimal 0,425 mm dan maksimal 1,18 mm. Pasir ini memiliki modulus kehalusan 1,0. Pasir S1 dan S2 masing-masing memiliki mmemiliki massa jenis keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,72 dan 2,75 g/cc.

Aditif yang sangat utama dalam UHPC adalah *high range water reducer*.(HRWR). Aditif ini ditambahkan untuk menjamin ketercapaian workability walaupun campuran menggunakan faktor air semen yang sangat rendah. Dalam penelitian ini digunakan HRWR *polycarboxilate based* Sika Viscocrete 3115 N.

Serat yang digunakan pada penelitian ini merupakan serat poly amida 6,6 atau disebut juga sebagai nilon (Notasi PA). Serat ini memiliki panjang 12 mm, diameter filamen 27  $\mu\text{m}$ , massa jenis 1,14  $\text{g/cm}^3$ , kuat tarik 900 MPa dan perpanjangan saat patah 17,55%. Bahan ini merupakan satu-satunya bahan UHPC penelitian ini yang diproduksi luar negeri (Amerika Serikat) dengan merk Kratos Fiber. Serat ini diklaim oleh produsen memiliki ketahanan alkali yang sangat baik.

## 2.2 Metode

UHPC terdiri atas komponen binder dan agregat. Penelitian ini menggunakan perbandingan antara volume binder (vb) dengan volume pasir (vs) sebesar 1,1. Semua komponen berupa powder dikelompokkan sebagai binder. Perbandingan air terhadap binder dibuat konstan sebesar 0,2 dengan HRWR 2%. Kadar serat juga dibuat konstan sebesar 0,2% dari total massa keseluruhan. Penelitian ini menguji dua komposisi, yaitu UHPC termodifikasi tanpa fly ash, diberi notasi M-UHC dan UHPC termodifikasi dengan semen yang disubstitusi 50% dengan fly ash (kode M-UHPC FA50). Komposisi campuran tertera pada Tabel 3 di bawah ini.

**Tabel 4** Komposisi campuran UHPC termodifikasi (% massa)

No	Material	M-UHPC	M-UHPC FA50	Keterangan
1	Semen	93%	43%	Binder
2	GCC 3000	3,5%	3,5%	
3	PCC 5000	3,5%	3,5%	
4	FA	0%	50%	
5	Air	0,20	0,20	
6	HRWR	2,0%	2,0%	
7	Pasir S1	60%	60%	Agregat
8	Pasir S2	40%	40%	
9	Serat PA	0,20%	0,20%	

Langkah pertama dalam pembuatan UHPC adalah menyiapkan material. Pasir harus dipastikan dalam keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) agar menjaga akurasi pencampuran. Proses SSD pasir dilakukan dengan memasukkan air sedikit demi sedikit dan melakukan pengecekan menggunakan kerucut SSD. Pengecekan dengan kerucut dilakukan dengan cara memasukkan pasir hingga 1/3 dari kerucut, lalu ditumbuk 8-9 kali pada setiap tingkatnya. Setelah kerucut dilepas, pasir yang terbentuk harus mencapai 2/3 bagian dari kerucut. Setelah persiapan material selesai, material dapat ditimbang sesuai dengan kebutuhan replikasi spesimen. Tahapan pencampuran dilakukan berurutan mulai dari densitas material yang paling tinggi, yaitu pasir S1 dan pasir S2. Kemudian disusul dengan masuknya semen, *fly ash*, dan GCC 3000 dan PCC 5000. Setelah semua bahan kering tercampur rata, maka superplasticizer dan air dapat dimasukkan. Saat semua material telah tercampur dan membentuk campuran mortar homogen fiber dimasukkan. Mortar kemudian ke dalam cetakan silinder spesimen uji tekan berukuran 75 x 150 mm.

Spesimen uji yang telah dituang kedalam cetakan ditunggu selama 1-2 hari setelah hari pengecoran. Setelah itu cetakan dibuka dan spesimen siap untuk dilakukan perawatan (curing). Proses curing dilakukan dengan melakukan perendaman spesimen pada larutan  $(\text{CaOH}_3)_2$  jenuh. Hal ini dilakukan karena semen yang ditambah air mengalami proses hidrasi yang menghasilkan kandungan CSH dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Kandungan CSH berperan sebagai *binder* atau pengikat, sedangkan senyawa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bereaksi secara pozolanik dengan fly ash menghasilkan CSH tambahan. Penggunaan larutan jenuh  $(\text{CaOH}_3)_2$  sebagai media curing dimaksudkan untuk mencegah pelarutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  hasil hidrasi semen. Proses curing dilakukan hingga umur beton 7 hari dan 28 hari. Pengujian beton umur 7 hari menunjukkan perilaku *early strength*, sedangkan umur 28 hari menunjukkan *later strength*. Metode dan ketentuan curing telah disesuaikan dengan yang tertera pada (ASTM, 2003; ASTM C39, 2001)

Uji tekan dilakukan dengan alat uji tekan beton yang memberikan output berupa nilai beban maksimal dalam satuan kN. Nilai kuat tekan dapat dicari menggunakan rumus pada Persamaan 1.

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dengan

- $f_c$  = kuat tekan benda uji (MPa)
- $F$  = beban maksimum (N)
- $A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

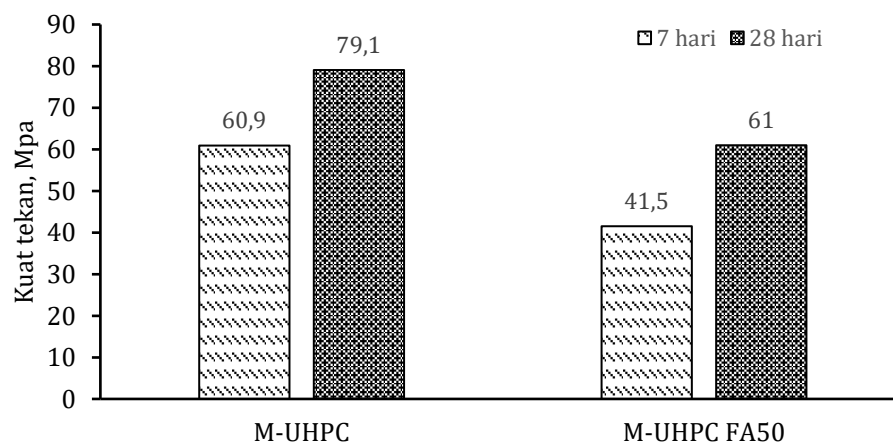
### 3. Hasil dan Diskusi

Hasil kuat tekan pada beton UHPC termodifikasi yang umur 7 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 5** Kuat tekan UHPC Termodifikasi umur 7 dan 28 hari

Kode	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	
	7 hari	28 hari
M-UHPC FA0	60,9	79,1
M-UHPC FA50	41,5	61,0

Penelitian ini memberikan hasil kekuatan UHPC termodifikasi tanpa fly ash sebesar 79 MPa, sedangkan substitusi 50% semen dengan fly ash menghasilkan kekuatan 61 MPa. Kekuatan ini berada di bawah ketentuan kekuatan minimal UHPC sebesar 120 MPa (ACI Committee 239, 2018; Du et al., 2021; Graybeal et al., n.d.; SPR 745: Developing Ultra High-Performance Concrete Mix Designs for Arizona Bridge Element Connections, 2019). Namun demikian, kuat tekan yang dicapai dari penelitian ini masih lebih besar dibandingkan dengan kekuatan minimal beton mutu tinggi menurut SNI 03-2847-2019, yakni 42 MPa.



**Gambar 1** Grafik Kuat tekan umur 7 dan 28 hari

Dari Tabel 4 dan Gambar 1 dapat dilihat bahwa substitusi *fly ash* pada kadar persentase 50% memiliki nilai kuat tekan sebesar 61 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan ini mengalami penurunan apabila dibandingkan dengan UHPC termodifikasi tanpa fly ash. Penurunan umur 28 hari dari kuat tekan 79,1 MPa menjadi 61,0 MPa (23%), sedangkan pada

umur 7 hari mengalami penurunan dari 60,9 MPa menjadi 41,5 MPa atau sebesar 32%. Persentase yang lebih besar pada umur 7 hari bisa dipahami karena pada umur-umur awal, belum banyak fly ash yang bereaksi. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penurunan kekuatan beton HVFA (high volume fly ash) dibanding beton normal lebih tinggi pada umur awal (7 hari) dibanding umur akhir (28 hari) (Moon et al., 2020)

Ketika semen dicampur dengan air, terjadi reaksi hidrasi yang memulai proses pembentukan gel C-S-H. Senyawa utama dalam semen, seperti tricalcium silicate ( $C_3S$ ) dan dicalcium silicate ( $C_2S$ ), bereaksi dengan air untuk membentuk C-S-H dan kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ).

Reaksi ini dapat dirumuskan sebagai berikut:



Kalsium silikat hidrat (C-S-H) adalah fase yang amorf dan bertindak sebagai perekat yang mengikat partikel-partikel semen dan agregat bersama-sama. Pembentukan C-S-H dimulai segera setelah hidrasi dan terus berlangsung selama beberapa hari hingga beberapa minggu. C-S-H memiliki struktur yang sangat halus dan berpori, yang menyebabkan interaksi mekanis yang kuat antar partikel dalam beton, memberikan kontribusi utama pada kekuatan dan kepadatan beton. Seiring dengan berjalannya waktu, C-S-H terus tumbuh dan memperbaiki struktur internal beton, meningkatkan kekuatan dan daya tahan terhadap beban mekanis dan kondisi lingkungan yang keras (Taylor, 1997)

Ketika fly ash dicampurkan dengan semen dan air, fly ash bereaksi dengan kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ), yang dihasilkan dari hidrasi semen Portland, untuk membentuk lebih banyak C-S-H.



Reaksi ini lebih lambat dibandingkan dengan hidrasi semen biasa, sehingga proses pembentukan C-S-H tambahan terjadi dalam waktu yang lebih lama, yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan jangka panjang. Karena fly ash memperlambat reaksi hidrasi awal, beton dengan fly ash biasanya memiliki kekuatan awal yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang hanya menggunakan semen Portland. Hal ini terutama disebabkan oleh pengurangan jumlah semen aktif yang langsung berhidrasi untuk membentuk C-S-H pada tahap awal. Beton dengan substitusi fly ash 50% mungkin akan memiliki kekuatan lebih rendah pada usia 7 hari atau bahkan 28 hari dibandingkan dengan beton tanpa fly ash. Meskipun kekuatan awalnya lebih rendah, fly ash cenderung meningkatkan **kekuatan jangka panjang** dari beton. Reaksi pozzolan yang berlanjut dapat menghasilkan lebih banyak C-S-H seiring waktu, yang akhirnya meningkatkan kekuatan kompresi beton pada usia yang lebih tua (56 hari, 90 hari, atau lebih). Pada usia lanjut, kekuatan beton dengan fly ash bisa lebih tinggi atau setidaknya setara dengan beton tanpa fly ash (Detwiler et al., 1996; Durdzinski, 2016; Ramezani-pour, 2014; Taylor, 1990). Di samping itu, beton dengan kadar fly ash yang tinggi juga memiliki sifat durability yang lebih tinggi dibandingkan beton normal (Donatello et al., 2013; Holman et al., 2013; Mohan Malhotra et al., 2000; Van Nguyen et al., 2019; Wang et al., 2017). Hal ini menjadi faktor yang menarik. Namun demikian penelitian ini tidak menguji UHPC termodifikasi pada umur yang lebih dari 28 hari dan belum menguji sifat-sifat yang menunjukkan performa durability di lingkungan agresif.

#### 4. Kesimpulan

Substitusi semen dengan fly ash sebesar 50% menghasilkan kuat tekan UHPC termodifikasi mengalami penurunan baik pada umur 7 maupun 28 hari. Kuat tekan UHPC termodifikasi pada umur 28 hari tanpa fly ash dan dengan 50% fly ash berturut-turut mengalami penurunan sebesar 32% dan 23%. Penurunan yang besar pada umur awal pada UHPC termodifikasi yang disubstitusi fly ash disebabkan karena pengurangan jumlah semen aktif yang langsung berhidrasi untuk membentuk C-S-H pada tahap awal.

#### Saran

Perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui perilaku kekuatan dan durability pada umur yang lebih dari 28 hari dan

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial dari Dana DIPA PPNS tahun 2024. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PLTU Tanjung Awar-awar yang menyediakan fly ash untuk penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- ACI 239-19. (2019). *Ultra-high-performance concrete : an emerging technology report*. 21.
- ACI 239C. (2018). *Emerging Technology Report ( ETR ) The Structural Design of Ultra-High Performance Concrete*.
- ACI Committee 239. (2018). *Ultra-high-performance concrete : an emerging technology report*.
- Akhnoukh, A. K., & Buckhalter, C. (2021). Ultra-high-performance concrete: Constituents, mechanical properties, applications and current challenges. *Case Studies in Construction Materials*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00559>
- ASTM. (2003). *ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* (Vol. 04, Issue October).
- ASTM C39. (2001). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1 - ASTM C39/C39M - Standard. *Annual Book of ASTM Standards*, 04.02(July), 1–7.
- ASTM International. (2019). ASTM C 618-19: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Volume 4.01, Cement; Lime; Gypsum. In *Annual Book of ASTM Standards* (Issue C, pp. 3–6). <https://doi.org/10.1520/C0618>
- Azmeel, N., Abbas, Y. M., Shafiq, N., Fares, G., Osman, M., & Iqbal Khan, M. (2021). Enhancing the microstructure and sustainability of ultra-high-performance concrete using ultrafine calcium carbonate and high-volume fly ash under different curing regimes. *Sustainability (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/su13073900>
- Bukhori, M. (2017). *Pengertian dan Penyebab Efek Rumah Kaca*. <https://dlh.slemankab.go.id/pengertian-dan-penyebab-efek-rumah-kaca/>
- de Larrard, F., & Sedran, T. (1994). Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model. *Cement and Concrete Research*, 24(6), 997–1009. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90022-1)
- Detwiler, R. J., Bhatti, J. I., & Bhattacharja, S. (1996). Supplementary Cementing Materials for Use in Blended Cements. In *PCA Research and Development Bulletin RD112T* (pp. 1–103).
- Donatello, S., Palomo, A., & Fernández-Jiménez, A. (2013). Durability of very high volume fly ash cement pastes and mortars in aggressive solutions. *Cement and Concrete Composites*, 38, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.03.001>
- Du, J., Meng, W., Khayat, K. H., Bao, Y., Guo, P., Lyu, Z., Abu-obeidah, A., Nassif, H., & Wang, H. (2021). New development of ultra-high-performance concrete (UHPC). In *Composites Part B: Engineering* (Vol. 224). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109220>
- Durdzinski, T. (2016). *Hydration of Multi-component Cements Containing Cement Clinker, Slag, Calcareous Fly Ash and Limestone*. ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE.
- Graybeal, B., Crane, C. K., Ahlborn, T. M., Brix, C., Buhler, E. R., Corvez, D., Ginouse, N., Green, B. H., Habel, K., Milligan, J., Myers, J. J., Perry, V., Roberts-, C. L., Surendra, W., Shah, P., Wille, K., Aaleti, S. R., Alnaggar, M. G., Bandelt, M. J., ... Rowland, L. (n.d.). *Emerging Technology Report (ETR) The Structural Design of Ultra-High Performance Concrete Chair Secretary Sub-Committee ACI 239C Members*.
- Holman, K. R., Volz, J. S., & Myers, J. J. (2013). Comparative Study on the Mechanical and Durability Behavior of High-Volume Fly Ash Concrete versus Conventional Concrete. *Proceedings of the First International Conference on Concrete Sustainability, February 2015*, 516–523.
- Mohan Malhotra, V., Zhang, M. H., Read, P. H., & Ryell, J. (2000). Long-term mechanical properties and durability characteristics of high-strength/high-performance concrete incorporating supplementary cementing materials under outdoor exposure conditions. *ACI Structural Journal*, 97(5), 518–525. <https://doi.org/10.14359/9284>

- Moon, P. A. S., Meshram, A. U., Sheikh, Q., Kumar, R. R., Waykul, P. K., & Samarth, P. N. (2020). *Study of Strength and Workability of High Volume Fly Ash Concrete*. July, 2601–2605.
- Ramezaniapour, A. A. (2014). *Cement Replacement Materials*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36721-2>
- SPR 745: Developing Ultra High-Performance Concrete Mix Designs for Arizona Bridge Element Connections*. (2019).
- Sy Dong, P. (2019). Sustainable Development of Ultra High Performance Concrete Mixtures Using High Volume of Fly Ash in Vietnam. *Proceeding of the 2nd International Conference on UHPC Materials and Structures, December*.
- Taylor, H. F. W. (1997). *Cement Chemistry* (2nd ed.). Thomas Telford Publishing.
- Van Nguyen, C., Lambert, P., & Tran, Q. H. (2019). Effect of Vietnamese fly ash on selected physical properties, durability and probability of corrosion of steel in concrete. *Materials*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/ma12040593>
- Wang, D., Zhou, X., Meng, Y., & Chen, Z. (2017). Durability of concrete containing fly ash and silica fume against combined freezing-thawing and sulfate attack. *Construction and Building Materials*, 147, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.172>
- Wijaya, H. T., Nataniel Aleksander Roberto, D. H., & Antoni. (2021). Pengaruh Penggunaan Fly Ash Dan Silica Fume Dengan Kadar Tinggi Terhadap Kuat Tekan Ultra High Performance Concrete. *Pengaruh Penggunaan Fly Ash Dan Silica Fume Dengan Kadar Tinggi Terhadap Kuat Tekan Ultra High Performance Concrete*, 92–99.
- Yu, R., Spiesz, P., & Brouwers, H. J. H. (2014a). Mix design and properties assessment of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC). *Cement and Concrete Research*, 56, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.11.002>
- Yu, R., Spiesz, P., & Brouwers, H. J. H. (2014b). Mix design and properties assessment of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC). *Cement and Concrete Research*, 56, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.11.002>