

PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *SILICA FUME* DENGAN KADAR TINGGI TERHADAP KUAT TEKAN *ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE*

Hans Tobias Wijaya¹, Nataniel Alessander Roberto², Djwantoro Hardjito³, Antoni⁴

ABSTRAK : Beton merupakan material bangunan yang paling banyak digunakan untuk konstruksi pada saat ini. Perkembangan beton yang pesat membawa teknologi baru yang disebut sebagai *Ultra High Performance Concrete* (UHPC). Teknologi beton UHPC memiliki kapasitas *workability*, kekuatan tekan, dan *durability* yang lebih tinggi dibandingkan beton pada umumnya. Pada pembuatannya, UHPC menggunakan *Ordinary Portland Cement* dengan jumlah yang banyak sehingga dikategorikan sebagai produk yang tidak ramah lingkungan. Karena itu, muncul alternatif untuk menggunakan *silica fume* dan *fly ash* pada campuran UHPC. Dalam penelitian ini, digunakan *silica fume* dan *fly ash* dalam kadar yang tinggi untuk menentukan campuran optimum pada UHPC dengan menggunakan bahan substitusi tersebut. Didapatkan bahwa penambahan *silica fume* akan meningkatkan kekuatan sedangkan penambahan *fly ash* akan menurunkan kekuatan.

KATA KUNCI: *ultra high performance concrete*, *workability*, kekuatan tekan, *silica fume*, *fly ash*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material bangunan yang paling banyak digunakan pada pembangunan proyek konstruksi di seluruh dunia. Teknologi beton ini terus dikembangkan dan beberapa di antaranya adalah *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) dan *Reactive Powder Concrete* (RPC). UHPC dinilai sebagai salah satu temuan terbaik dari teknologi beton yang ada saat ini. UHPC didefinisikan sebagai beton dengan sifat mekanik kekuatan tekan minimal 120 MPa yang memiliki campuran semen dan *pozzolan* dengan ukuran partikel maksimum 2.5 mm. UHPC umumnya terdiri dari *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan kadar 700-1100kg/m³, material *pozzolan* yang halus seperti pasir silika atau *silica fume*, memiliki *water content* (w/c) yang kurang dari 0.25, dan dapat mempunyai tulangan berbentuk serat/fiber baja yang kekuatan tariknya melebihi 2000 MPa (Akhnoukh, 2021). Substitusi dari beberapa material dari beton konvensional menjadikan produk UHPC memiliki *workability*, kekuatan, dan *durability* yang lebih tinggi. Dengan kekuatan tekan di atas 120 MPa, UHPC dengan volume 2-3 kali lebih kecil dibandingkan beton konvensional dapat mencapai performa yang sama karena UHPC memiliki kepadatan yang tinggi (Bahedh, 2018).

Namun demikian, UHPC dan RPC memiliki satu permasalahan utama dalam aplikasinya, yaitu keduanya merupakan bahan yang tidak ramah lingkungan karena menggunakan OPC dengan jumlah yang banyak (Serelis, 2021). Pada umumnya, campuran UHPC terdiri dari OPC, air, *silica fume*, pasir silika, *superplasticizer*, dan *steel fiber*. Kadar OPC yang digunakan dalam UHPC berkisar antara 700-

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11170032@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11170084@john.petra.ac.id

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

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

1100 kg/m³ dimana penggunaannya hampir 3 kali lebih banyak dari penggunaan OPC pada beton konvensional (Liu, 2020). Karena itulah, muncul metode baru yang menggunakan *fly ash* dan *silica fume* dengan kadar yang tinggi sebagai pengganti sebagian OPC. *Silica fume* adalah produk sampingan dari hasil pembuatan logam silikon atau *alloy ferrosilicon*. Material ini berfungsi untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan serta meningkatkan rekatan antar partikel agregat halus lainnya yang terdapat dalam UHPC (Ambika, 2021). *Fly ash* adalah limbah pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), sehingga penggunaan *fly ash* dalam kadar yang tinggi dalam UHPC untuk menggantikan sebagian semen akan mengurangi limbah dan membuat beton ini menjadi ramah lingkungan karena mengurangi emisi CO₂ (Hardjito, 2004).

Jumlah penggunaan OPC pada *mix design* yang menggunakan *silica fume* umumnya masih dapat dinilai tinggi karena berada dalam *range standard* campuran UHPC (700-1100kg/m³). Maka dari itu, penelitian yang dilakukan oleh peneliti memiliki tujuan untuk menggabungkan kedua metode penggantian sebagian OPC dengan *silica fume* dengan kadar 10-20% dan *fly ash* dengan kadar 30-40% secara bersamaan untuk mengurangi penggunaan OPC hingga seminimal mungkin dengan tetap menghasilkan kekuatan tekan di atas 120 MPa. Metode ini juga dapat mengurangi limbah berupa *fly ash* dan *silica fume* dan dapat dilakukan dengan menggunakan material yang tersedia secara lokal.

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah menganalisa apakah campuran dari *Ultra High Performance Concrete* dengan menggunakan *silica fume* dengan kadar 10-20% dan *fly ash* dengan kadar 30-40% secara bersamaan dapat membuat UHPC dengan target kekuatan tekan di atas 120 MPa. Kedua, menganalisa pengaruh penggantian *Ordinary Portland Cement* dengan *silica fume* dengan kadar 10% sampai 20% terhadap kuat tekan *Ultra High Performance Concrete*. Ketiga, menganalisa pengaruh penambahan *fly ash* tipe C dan F dengan kadar 30 sampai 40% terhadap kuat tekan dan kecepatan *setting time* pada campuran *Ultra High Performance Concrete*. Terakhir, menganalisa pengaruh penggunaan *steel fiber* terhadap kuat tekan *Ultra High Performance Concrete*

2. MATERIAL

Material yang digunakan pada penelitian terdiri dari *ordinary portland cement* (OPC), pasir silika, *silica fume*, *fly ash*, *superplasticizer*, *steel fiber*, dan air. OPC berperan penting dalam pembuatan beton sebagai bahan pengikat dari agregat. Beton terbentuk dari agregat yang terikat pada pasta OPC sebagai lem dan kemudian mengeras sehingga kualitas OPC sangat berpengaruh pada kualitas beton (Nugraha, 2004). Pada percobaan penelitian dari bahedh & jaafar didapatkan hasil penggantian sebagian semen dengan *fly ash* secara bertahap dalam *range* 10-30% dengan interval 10% dapat meningkatkan kekuatan tekan dari beton uhpc secara bertahap. Penambahan *fly ash* pada setiap interval meningkatkan kekuatan tekan dari uhpc sebanyak kurang lebih 10% dan meningkatkan *workability* dari campuran tersebut. Peningkatan kekuatan juga berpengaruh pada kekuatan tekan dari campuran tersebut dalam jangka panjang. *Steel fiber* adalah tulangan beton yang berukuran kecil dengan diameter 0.75-0.8 mm dan panjang 8-60 mm. *Steel fiber* ini digunakan pada campuran UHPC sebesar 0.5-5% dari volume agar dapat mengurangi sifat *brittle* dari UHPC dan mengurangi kerusakan retak yang menjalar (Giovanni, 2012). Penggunaan *silica fume* pada campuran UHPC dapat meningkatkan kekuatan tekan dengan sangat signifikan. Penggunaan *silica fume* dalam *range* 0-15% dengan interval 5% dapat meningkatkan kekuatan tekan dari UHPC secara eksponensial hingga 20% (Bajaber, 2021).

3. RANCANGAN PENELITIAN

Pada Tahap 1, dilakukan pembuatan UHPC dengan *mix design* yang sudah ada dan diteliti sebelumnya dan menghasilkan kekuatan tekan di atas 120 MPa. Langkah ini berfungsi untuk menentukan campuran UHPC yang memiliki kekuatan tekan paling tinggi sehingga dapat digunakan untuk menjadi *mix design* dengan variasi *fly ash* pada langkah selanjutnya. Penjelasan lebih detail dari *mix design* Tahap 1 dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1
Mix Design Ultra High Performance Concrete Tahap 1

Tahap 1	Material					
Kode	OPC (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Pasir Silika 600 μ m (kg/m ³)	Pasir Silika 300 μ m (kg/m ³)	w/cm	Air (kg/m ³)
SF201	903	181	727	311	0.15	163
SF151	949	135	727	311	0.15	163
SF101	994	90	727	311	0.15	163
SF202	770	193	832	356	0.15	144
SF152	814	145	832	356	0.15	144
SF102	867	96	832	356	0.15	144

Pada Tahap 2, dilakukan substitusi sebagian OPC dengan *fly ash* tipe C yang berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton dari 3 *mix design* yang memiliki kriteria kekuatan tekan paling tinggi tanpa menggunakan *steel fiber*. Substitusi OPC dengan *fly ash* dilakukan sebanyak 30% sampai 40% dengan interval 5% dari berat OPC. Penjelasan lebih detail dari *mix design* Tahap 2 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2
Mix Design Ultra High Performance Concrete Tahap 2

Tahap 2	Material						
Kode	OPC (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Pasir Silika 600 μ m (kg/m ³)	Pasir Silika 300 μ m (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	w/cm
FAC301	586	181	727	311	271	203	0.15
FAC351	541	181	727	311	316	210	0.15
FAC401	496	181	727	311	361	217	0.15
FAC302	618	135	727	311	285	205	0.15
FAC352	571	135	727	311	332	212	0.15
FAC402	523	135	727	311	380	220	0.15
FAC303	650	90	727	311	298	207	0.15
FAC353	600	90	727	311	348	215	0.15
FAC403	550	90	727	311	398	222	0.15

Pada Tahap 3 digunakan *fly ash* tipe F yang berasal dari PLTU Tanjung jati dan *fly ash* tipe C yang berasal dari PLTU Paiton. Pada tahap 3 juga ada penambahan pasir silika *pan base* sebesar 15% dari berat semen ke dalam campuran *mix design* rencana. Dalam tahap ini, juga dilakukan percobaan terhadap fenomena *flash set* yang terjadi pada campuran UHPC yang menggunakan *fly ash* tipe C yang berasal dari PLTU Paiton. Percobaan tersebut dilakukan dengan membuat beton pada *mix design* rencana. Namun, pada proses mencetak beton dalam waktu 30 menit dengan interval waktu 5 menit

setelah selesai dicampurkan. Penjelasan yang lebih detail dari *mix design* Tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3
Mix Design Ultra High Performance Concrete Tahap 3

Tahap 3	Material								
Kode	OPC (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Tipe Fly Ash	Fly Ash (kg/m ³)	Pasir Silika 600 μm (kg/m ³)	Pasir Silika 300 μm (kg/m ³)	Pasir Silika Pan Base(kg/m ³)	Air (kg/m ³)	w/cm
SF201	903	181	-	0	727	311	0	163	0.15
FAC301	586	181	C	271	727	311	0	203	0.15
FAF301	586	181	F	271	727	311	0	203	0.15
PSF201	903	181	-	0	727	311	136	163	0.15
PFAC301	586	181	C	271	727	311	136	203	0.15
PFAF301	586	181	F	271	727	311	136	203	0.15

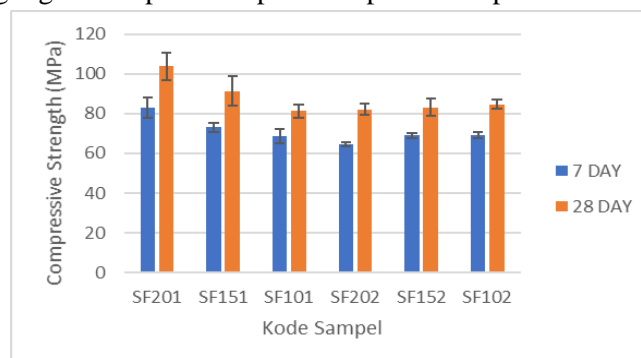
Pada Tahap 4, dilakukan penambahan berupa *steel fiber* pada 3 *mix design* dari Tahap 2 dan Tahap 3 yang memiliki kriteria kekuatan tekan paling tinggi untuk menentukan pengaruh penggunaan *steel fiber* terhadap kekuatan tekan UHPC. Penjelasan yang lebih detail dari *mix design* Tahap 4 dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4
Mix Design Ultra High Performance Concrete Tahap 4

Tahap 4	Material									
Kode	OPC (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Tipe Fly Ash	Fly Ash (kg/m ³)	Pasir Silika 600 μm (kg/m ³)	Pasir Silika 300 μm (kg/m ³)	Pasir Silika Pan Base(kg/m ³)	Air (kg/m ³)	w/cm	Steel Fiber (% volume)
SSF201	903	181	-	0	727	311	136	163	0.15	1
SFAC301	586	181	C	271	727	311	0	203	0.15	1
SFAF301	586	181	F	271	727	311	0	203	0.15	1

4. HASIL DAN ANALISA

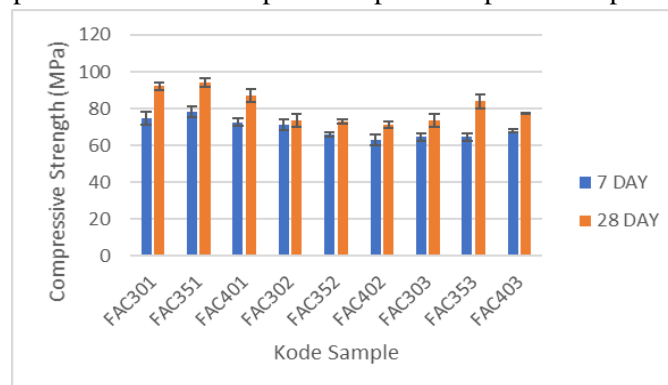
Pada pembuatan *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) tahap 1 digunakan *silica fume* sebanyak 10-20% dengan interval 5%. Pada proses pembuatan campuran tersebut, metode pencampuran yang dilakukan adalah dengan menggunakan *heavy duty mixer* merek Aero untuk membuat adonan UHPC. Kemudian pada beton UHPC yang berumur 7 dan 28 hari dilakukan tes kuat tekan. Hasil kuat tekan dan foto dari benda uji yang digunakan pada tahap 1 ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Hasil Kuat Tekan Campuran UHPC dengan Silica Fume

Dari pengujian kuat tekan didapat hasil kekuatan tertinggi pada *mix design* dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:1.15 dan kadar *silika fume* sebesar 20%. Maka, diambil *mix design* dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:1.15 sebagai *mix design* yang akan dimodifikasi pada tahap 2. Pada tahap 2 dilakukan penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dengan rasio 30-40% dan interval 10%.

Pada pembuatan UHPC tahap 2 digunakan *silica fume* sebanyak 20-30% dan *fly ash* sebanyak 30-40% dengan interval 10% sebagai pengganti OPC. Proses pembuatan campuran dan curing yang dilakukan sama dengan pada tahap 1. Hasil kuat tekan pada tahap 2 ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.

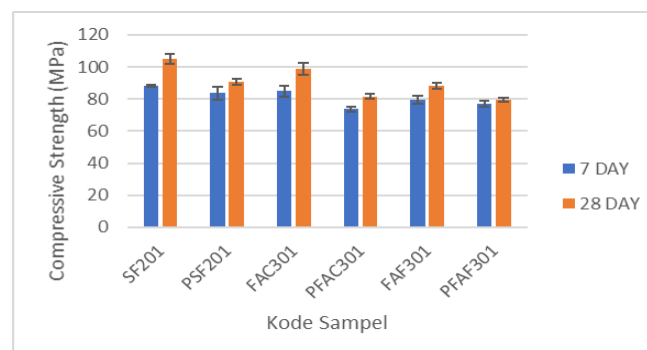


Gambar 2 Hasil Kuat Tekan Campuran UHPC dengan Silica Fume dan Fly Ash

Dari hasil analisa *trend* dan kuat tekan, *mix design* dengan *silica fume* sebanyak 20% dan *fly ash* sebanyak 30% digunakan sebagai *mix design* yang akan dimodifikasi pada tahap 3 karena memiliki potensi kekuatan tekan paling tinggi. Pada tahap 3 dilakukan penggantian tipe *fly ash* dan penambahan pasir *pan base* sebanyak 15% dari berat OPC.

Fenomena *Flash Set* terjadi pada beton dengan kadar *silica fume* sebanyak 20% dan *fly ash* sebanyak 30%. Hal ini terjadi karena pencetakan beton yang memakan waktu 30-40 menit. Rata-rata kekuatan beton yang mengalami *flash set* ini turun sebanyak 40% dari kekuatan aslinya. Kuat tekan tertinggi pada campuran ini adalah 94.22 MPa pada umur 28 hari, sedangkan rata-rata kekuatan beton yang mengalami *flash set* adalah 54.82 MPa. Penelitian lebih lanjut akan dilakukan pada tahap 3 mengenai lama waktu dan penurunan kekuatan pada *flash set* ini.

Pada pembuatan UHPC tahap 3 digunakan *fly ash* yang berbeda yaitu *fly ash* tipe C dan F serta dilakukan penambahan pasir *silika pan base* sebanyak 15% dari berat semen. Proses pembuatan campuran dan *curing* yang dilakukan sama dengan pada tahap 1. Hasil kuat tekan pada tahap 3 ini dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Hasil Kuat Tekan Campuran UHPC dengan Silica Fume dan Fly Ash

Dari hasil pengujian kuat tekan, diambil *mix design* SF201, FAC301, dan FAF301 untuk digunakan pada tahap 4 karena memiliki kekuatan tekan paling tinggi. Pada tahap 4 dilakukan penambahan *steel fiber* sebanyak 1% dari total volume beton.

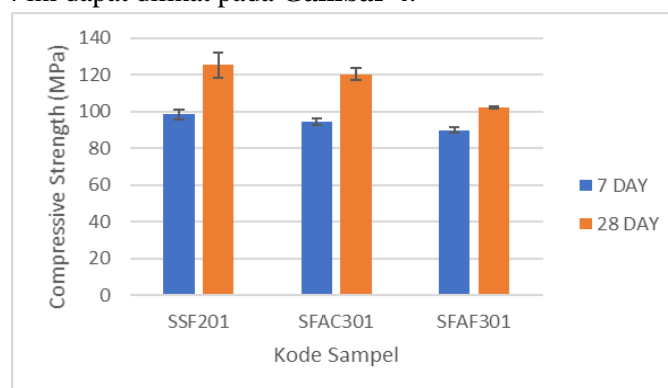
Flash set yang terjadi pada beton FAC301 akan diamati dengan pengujian berupa pencetakan beton selama 30 menit dengan interval 5 menit dan kemudian akan dites kekuatan tekan pada umur 7 hari pada setiap interval waktu. Hasil dari pencetakan pada setiap waktu dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan data kuat tekan yang dihasilkan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5
Data Kuat Tekan dan Berat Jenis Pengujian Setting Time

Lama Waktu Pencetakan (Menit)	Kuat Tekan 7 Hari (MPa)	Berat Jenis (kg/m ³)
0	78.36	2274
5	81.12	2303
10	76.96	2213
15	63.88	2153
20	57.24	2016
25	56.44	2019
30	34.52	1996

Kuat tekan yang dihasilkan pada waktu 15 menit menurun sebesar 7% dari kuat tekan awalnya. Kemudian kuat tekan yang dihasilkan interval-interval berikutnya juga semakin menurun hingga pada waktu 30 menit penurunan terbesar terjadi sebesar 42% dari kekuatan aslinya. Hal ini terjadi karena adonan beton segar sudah mengeras dan tidak dapat memadat dengan baik sehingga meningkatkan porositas beton dan berat jenisnya berkurang. Semakin rendah berat jenis beton maka kekuatan tekan yang dimiliki juga semakin rendah.

Pada pembuatan UHPC tahap 4 dilakukan penambahan *steel fiber* sebanyak 1% dari volume total campuran. Proses pembuatan campuran dan *curing* yang dilakukan sama dengan pada tahap 1. Hasil kuat tekan pada tahap 4 ini dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Hasil Kuat Tekan Campuran UHPC dengan Silica Fume, Fly Ash, dan Steel Fiber

Dari hasil kuat tekan ini, beton yang memenuhi kriteria sebagai UHPC adalah beton SSF201 dan SFAC301. Kedua *mix design* ini telah memenuhi standar UHPC sebagai beton dengan kekuatan tekan di atas 120 MPa. Maka, *mix Design* dengan *fly ash* tipe C ini dapat menjadi alternatif *mix design* dari UHPC yang lebih murah dan ramah lingkungan dengan kekuatan tekan maksimum 126.6 MPa pada umur 28 hari.

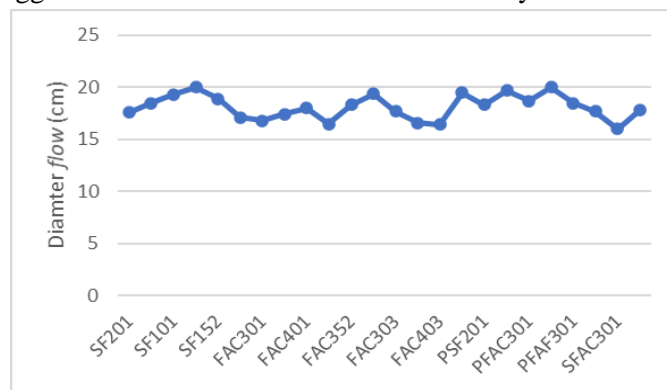
Penggunaan *steel fiber* dengan kadar yang lebih rendah tidak akan berdampak signifikan terhadap kekuatan tekan UHPC seperti pada yang tertera di **Tabel 6**. Sedangkan penggunaan *steel fiber* dengan kadar lebih tinggi akan menyebabkan terjadinya *balling* / menggumpalnya *steel fiber* dalam campuran yang dibuat.

Tabel 6
Hasil Kuat Tekan *Mix Design* dengan *Steel Fiber*

Kode	Hasil Kuat Tekan (MPa)	
	<i>Steel Fiber</i> 0.5% (% volume)	<i>Steel Fiber</i> 1% (% volume)
SSF201	110.84	128.24
SFAC301	101.44	117.24
SFAF301	88.16	101.4

Hasil *Flow Table Test* Pada Pasta UHPC

Gambar 5 menjelaskan mengenai besar diameter dari pengetesan *flow table test* pada pasta UHPC. Nilai *flow table* yang dihasilkan dibuat pada range 16-20 cm agar beton tidak terlalu kental maupun encer agar dapat dicetak dan tidak mengalami *bleeding*. Hasil *flow table* yang didapat sebesar 16-20 cm ini didapat dengan menggunakan w/cm sebesar 0.15 dan SP sebanyak 2% dari berat semen.



Gambar 5 Hasil *Flow Table Test* Pada Pasta UHPC

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Campuran dari *Ultra High Performance Concrete* dengan menggunakan *fly ash* sebanyak 30% dan *silica fume* sebanyak 20% dapat membuat UHPC yang memiliki kekuatan diatas 120 MPa. Kriteria ini dicapai dengan kekuatan maksimum sebesar 126.6 MPa pada umur beton 28 hari.
2. Penggunaan rasio semen dan pasir sebesar 1:1.15 menghasilkan kekuatan tekan yang lebih tinggi dari rasio 1:1.55 karena kadar semen yang tinggi.
3. Pengaruh penggunaan *silica fume* sebanyak 10-20% bervariasi mengikuti rasio pasir dan semen yang digunakan. Pada rasio semen dan pasir 1:1.5, semakin banyak penggunaan *silica fume* kekuatan beton akan semakin tinggi. Kekuatan tertinggi yang dihasilkan dengan *silica fume* sebanyak 20% dengan menggunakan *steel fiber* dapat mencapai 134.04 MPa pada umur beton 28 hari. Sedangkan pada rasio semen dan pasir 1:1.55 semakin banyak penggunaan *silica fume* kekuatan beton akan semakin rendah.
4. Pengaruh penggunaan *fly ash* tipe C dan F pada beton menurunkan kekuatan beton. Semakin banyak *fly ash* yang digunakan, maka kekuatan beton akan semakin rendah. Pada penggunaan *fly ash* sebanyak 40%, kekuatan beton dapat menurun sebanyak 20-30% dari kekuatan aslinya.

5. Penggunaan *fly ash* tipe C dapat mempercepat *setting time* pada beton sehingga dapat menyebabkan *flash set*. *Flash set* mulai terjadi pada 15 menit setelah pencampuran selesai.
6. Penggunaan *steel fiber* sebanyak 1% di dalam campuran UHPC meningkatkan kekuatan tekan sebesar 20-30% pada campuran *silica fume* dan *fly ash* tipe C. Pada *fly ash* tipe F, peningkatan kekuatan hanya terjadi sebesar 10%

Saran

1. Penggunaan rasio semen dan pasir yang lebih rendah, serta tipe pasir yang digunakan dapat meningkatkan kekuatan tekan UHPC.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kadar air dan SP yang tepat untuk campuran alternatif yang telah dibuat.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efek rasio *fly ash* terhadap *setting time* terkait penggunaan air yang sedikit.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ambika, D., Nandhini, V., Rubini, V. S., Poovizhi, G., & Priya, S. D. (2021). "An Exploration on The Durability Properties of Reactive Powder Concrete". *Materials Today: Proceedings*, 45, 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.170>
- Akhnoukh, A. K., & Buckhalter, C. (2021). "Ultra-High-Performance Concrete: Constituents, Mechanical Properties, Applications And Current Challenges". *Case Studies in Construction Materials*, 15(March), e00559. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00559>
- Bahedh, M. A., & Jaafar, M. S. (2018). "Ultra High-Performance Concrete Utilizing Fly Ash As Cement Replacement Under Autoclaving Technique". *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00202. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00202>
- Bajaber, M. A., & Hakeem, I. Y. (2021). "UHPC Evolution, Development, And Utilization In Construction: A Review". *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 1058–1074. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.051>
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2004). "Factors Influencing The Compressive Strength Of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete". *Civil Engineering Dimension*, 6(2), 88–93. <http://www.freepatentsonline.com/article/Civil-Engineering-Dimension/170455954.html>
- Liu, Y., Shi, C., Zhang, Z., Li, N., & Shi, D. (2020). "Mechanical And Fracture Properties Of Ultra-High Performance Geopolymer Concrete: Effects Of Steel Fiber And Silica Fume". *Cement and Concrete Composites*, 112(February), 103665. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103665>
- Giovanni G., Violintina, V., & Antoni. (2012). "Pembuatan Ultra High Strength Concrete Dengan Material Lokal". *Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 1, 1–8.
- Nugraha, P., & Antoni. (2004). *Teknologi Beton*. C.V Andi Offset. Yogyakarta, Indonesia
- Serelis, E., Vaitkevicius, V., Hilbig, H., Irbe, L., & Rudzionis, Z. (2021). "Effect Of Ultra-Sonic Dispersion Time On Hydration Process And Microstructure Development Of Ultra-High Performance Glass Powder Concrete". *Construction and Building Materials*, 298, 123856. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123856>