

PENGEMBANGAN BETON LEMBARAN MUTU TINGGI TANPA TULANGAN UNTUK KEBUTUHAN TEKNOLOGI PRACETAK

Krisnamurti¹⁾, Wiwik Yunarni Widiarti²⁾, Ketut Aswatama Wiswamitra³⁾

¹ Fakultas Teknik, Universitas Jember
email: krisnamurti@ymail.com

² Fakultas Teknik, Universitas Jember
email: wiwikferi@yahoo.com

³ Fakultas Teknik, Universitas Jember
email: ketut.teknik@unej.ac.id

Abstract

Lack of transport infrastructure has caused problems in the development of coffee agricultural commodities in Indonesian. This research aims to develop a high quality concrete technology UHPFRC for the precast technology which is to used as roads and bridges appropriate to the conditions in Indonesia. Problems of this study are: 1) How does the use of a variation of the performance of fiber concrete strength UHPFRC. 2) How does the behavior of the force (compressive strength, split tensile strength and flexural) UHPFRC concrete when applied in several models of precast structures are often used in transport infrastructure. This study aims to: 1) Obtain the composition of the concrete mix UHPFRC technology that meets the category of compressive strength and flexural strength are required. 2) Determine the influence of variations in the use of fiber to the performance of concrete compressive strength and flexural UHPFRC. 3) Developing organic fiber processing technology as UHPFRC material. Materials in this study are: 1) Cement PPC, 2) Sand, 3) Silica Fume, 4) Silica Powder, 5) superplasticizer, 6) Fiber Structural (bendrat wire, matt / fiberglass fibers, sisal (hemp rope), coconut fiber, and fiber masterfiber), 7) Water, 8) Formwork meranti to mold precast concrete models. Research activities include the manufacture of test specimens of mortar, cylindrical test specimens and models of precast concrete, mortar compressive strength testing and test cylinder, split tensile test cylinder test, precast concrete flexural testing, data analysis, and reporting. The results of the study showed the highest compressive strength of mortar specimen of 969.39 kg / cm² is achieved when the composition of the water levels / binder ratio of 0.22, then the amount of silica fume and silica powder in the composition of 10% of the weight of the cement can be reached compressive strength of up to 1050.27 kg / cm², and the testing of sand composition with weight of 1.2 times the weight of the cement can produce compressive strength of 974.26 kg / cm². While testing the bending of the plates obtained maximum load of 1410.07 kg at 6 cm with a thickness of plate deflection of 2.8 mm. Optimal composition which can be obtained from the results of the analysis and testing of the total weight of the concrete mixing ingredients is 33.6% cement content, silica fume content of about 12% by weight of cement or 3.5% by weight of the total material concrete mixer, powder silica content of about 10% cement weight or 3.4% by weight of the total material concrete mixer, sand content of about 33% of the total weight and content of gravel 15% of the total weight. The water content required is approximately 10% to 13.5% of the total weight of material mixing. The results showed the use of concrete in precast concrete UHPFRC can provide significant reinforcement of the bending strength.

Keywords: Slab Concrete, UHPFRC, Fibre

1. PENDAHULUAN

UHPFRC merupakan kombinasi dari produk beton yang dapat dicetak dalam berbagai bentuk dengan daktilitas dan kekuatan tinggi serta memiliki karakteristik permukaan yang sangat baik. Material ini

dihasilkan dari material penyusun yang meliputi Semen Portland, Silica fume, quartz flour, pasir silika halus, high-range water reducer, air, dan fiber baja atau fiber organik. (Chow, 2005). Produksi dari UHPFRC kebanyakan menggunakan teknologi pracetak, karena produksi yang digunakan adalah untuk

kebutuhan bangunan seperti atap stasiun kereta api, serta untuk lapisan pelat pada jembatan-jembatan jalan raya, namun demikian tidak tertutup kemungkinan penggunaan teknologi beton fiber ini dengan sistem cetak di tempat.

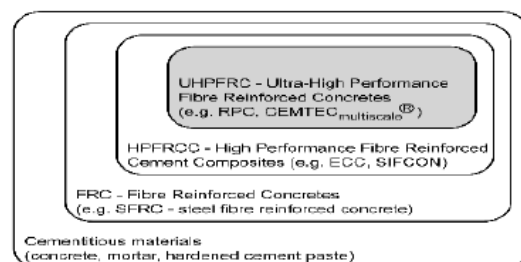
Dalam penelitian dikembangkan teknologi bahan beton UHPFRC tersebut yang diterapkan pada produksi pelat lembaran tipis untuk kebutuhan teknologi pracetak yang sesuai dengan kondisi alam di Indonesia. Teknologi bahan beton ini dimungkinkan untuk digunakan sebagai bahan pelapis prasarana jalan maupun jembatan, dengan kualitas kekuatan yang tinggi dan durabilitas (masa layan) yang lebih baik. Tentunya dengan penelitian ini diharapkan pula dapat dikembangkan biaya produksi bahan beton UHPFRC yang rendah, apabila teknologi bahan beton ini dapat memanfaatkan sumber daya alam yang memang tersedia di Indonesia.

Permasalahan dalam artikel ini adalah: 1) Bagaimanakah rancangan komposisi bahan penyusun beton UHPFRC yang tepat untuk mendapatkan kinerja kekuatan dan durabilitas yang tinggi sebagai material penyusun pelat lembaran mutu tinggi untuk kebutuhan teknologi pracetak di Indonesia. 2) Bagaimana pengaruh penggunaan variasi serat fiber terhadap kinerja kekuatan beton UHPFRC. 3) Bagaimana perilaku gaya dalam (tarik belah, dan lentur) pada beton UHPFRC saat diaplikasikan dalam beberapa model struktur pracetak yang sering digunakan pada infrastruktur transportasi.

Penelitian ini bertujuan untuk : 1) Mendapatkan komposisi campuran beton UHPFRC yang memenuhi kategori kuat tekan dan kuat lentur yang dipersyaratkan. 2) Mengetahui pengaruh penggunaan serat fiber berupa master fibre, kawat benderat, matt/serat fiberglass, dan serat fiber organik berupa sisal (serat tali tambang), dan sabut kelapa terhadap kinerja kekuatan tekan dan lentur beton UHPFRC. 3) Mengembangkan teknologi pengolahan serat fiber organik berupa sisal (serat tali tambang), sabut kelapa, dan serat bambu sebagai bahan UHPFRC.

2. KAJIAN LITERATUR DAN PEGEMBANGAN HIPOTESIS

Sejak ditemukan pada tahun 1991, penggunaan teknologi beton UHPFRC telah berkembang, baik untuk jembatan, untuk pelat atap stasiun kereta api, dan sebagainya. Beberapa penelitian untuk mengembangkan teknologi beton UHPFRC telah dilakukan, diantaranya adalah P. Pimienta dan G. Chanvillard (P. Pimienta, 2005) yang meneliti Durabilitas specimen UHPFRC dengan dua jenis bahan fiber, yaitu fiber baja dan fiber organik yang diletakkan pada berbagai variasi lingkungan agresif berupa air panas, larutan sodium chloride dan siklus basah kering. Beton UHPFRC yang diteliti oleh Pimienta dan Chanvillard menggunakan komposisi 1,43 Pasir : 1 Semen : 0,3 filler : 0,325 Silica Fume : Baja Fiber : 2% Fiberglass dan perbandingan air:semen = 0,20. Yen Lei Voo, et.al, (Yen Lei Voo, 2012), dalam artikel ilmiahnya menyatakan bahwa penggunaan UHPFRC memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah reduksi konsumsi material mentah yang tidak terbarukan, meningkatkan penggunaan material daur ulang (seperti silica fume), memiliki kualitas dan finishing produk yang lebih baik, mempunyai usia guna dan masa layan yang lebih panjang, meminimalkan perawatan karena sifat durabilitasnya, serta mendukung visi ekonomi hijau (green economy). Beton UHPFRC sendiri dapat diklasifikasikan sebagaimana terlihat pada gambar 1, sedangkan komposisi mix designnya menurut Yen Lei Voo, tersusun dari UHPC Premix 2100 – 2200 kg/m³, Superplasticizer 30 – 40 kg/m³, Steel Fiber 157 kg/m³, Free Water 144 kg/m³, 3% Moisture 30 kg/m³, Targeted W/B Ratio 0.15, dan Total Air Void < 4%.

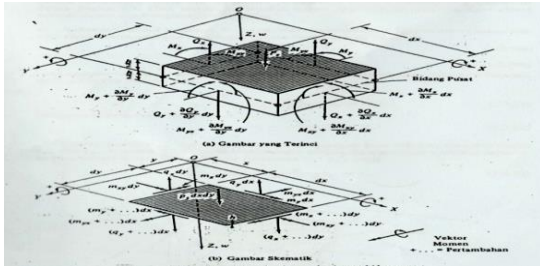


Gambar 1. Klasifikasi beton fiber (sumber: Yen Lei Voo, et.al, 2012)

Keseimbangan Elemen Pelat

Pada teori keseimbangan elemen pelat dianggap bahwa pelat hanya memikul beban lateral, sehingga tiga persamaan dasar yang digunakan dalam keseimbangan elemen pelat ini yaitu : (Szilard Rudolph, 1989:26)

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \text{dan} \quad \sum P_z = 0 \quad (1)$$



Gambar 2 Gaya dalam dan luar pada elemen bidang pusat (sumber : Szilard Rudolph, 1989)

Perilaku pelat dalam banyak hal dianalogikan dengan perilaku jaringan balok silang dua dimensi. Beban luar P_z dipikul oleh gaya transversal Q_x dan Q_y serta momen lentur M_x dan M_y . Tetapi disini yang berbeda dengan jaringan balok silang dua dimensi adalah pada momen puntir M_{xy} dan M_{yx} , sedangkan dalam teori pelat pada umumnya gaya dalam dan momen dinyatakan dalam persatuan panjang. Penjumlahan momen semua gaya terhadap sumbu Y sama dengan nol sehingga diperoleh :

$$\frac{\partial m_x}{\partial x} + \frac{\partial m_{yx}}{\partial y} = q_x \quad (2)$$

dan juga penjumlahan momen terhadap sumbu X sama dengan nol, sehingga diperoleh :

$$\frac{\partial m_y}{\partial y} + \frac{\partial m_{xy}}{\partial x} = q_y \quad (3)$$

Penjumlahan dari semua gaya dalam arah Z akan menghasilkan persamaan keseimbangan sebagai berikut :

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = -p_y \quad (4)$$

Dengan memasukan persamaaan (2) dan (3) ke persamaan (4) serta $m_{xy} = m_{yx}$ maka akan diperoleh :

$$\frac{\partial^2 m_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 m_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 m_y}{\partial y^2} = -p_z(x,y) \quad (5)$$

Momen lentur dan puntir pada persamaan di atas tergantung pada regangan, sedangkan regangan merupakan fungsi dari komponen perpindahan (x , y , w). Dan langkah selanjutnya adalah mencari hubungan antara momen dalam dan komponen perpindahan.

Gaya dalam pada Pelat

Komponen tegangan σ_x dan σ_y menimbulkan momen lentur pada elemen pelat. Dengan mengintegrasikan komponen tegangan normal dan mensubstitusinya kedalam persamaan tegangan normal σ_x dan σ_y maka akan menghasilkan : (Szilard, 1989)

$$m_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (6)$$

$$m_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (7)$$

dan persamaan momen puntir dalam lendutan lateral adalah :

$$m_{xy} = m_{yx} = D(1 - \nu) \chi \quad (8)$$

dengan mensubstitusi persamaan (6), (7) dan (8) ke persamaan (5) maka persamaan diferensial penentu untuk pelat yang memikul beban lateral adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P_z(x,y)}{D} \quad (9)$$

Dan dengan mensubstitusikan persamaan (6), (7) dan (8) ke persamaan (2) dan (3) maka akan didapatkan gaya geser transversal dalam lendutan lateral adalah sebagai berikut :

$$q_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (10)$$

$$q_y = -D \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (11)$$

Masalah pelat dianggap terselesaikan apabila persamaan yang tepat untuk

permukaan pelat yang melendut $w(x,y)$ diperoleh, dan persamaan ini juga memenuhi persamaan diferensial keseimbangan persamaan (5) dan kondisi tepi.

Dalam perhitungan secara teoritis perhitungan lendutan dapat diselesaikan dengan menggunakan metode Navier dengan persamaan

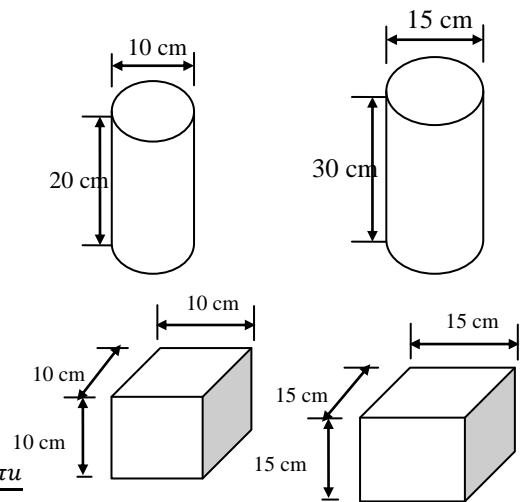
$$w(x,y) = \frac{16 P_0}{D\pi^6} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{mn \left[\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \right]^2} \sin \frac{m\pi x}{2} \sin \frac{n\pi y}{2} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{n\pi v}{2b} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (12)$$

3. METODE PENELITIAN

Variabel independent dalam penelitian ini adalah: 1) Variasi komposisi material penyusun pelat beton mutu tinggi. 2) Dimensi dan bentuk model benda uji. 3) Arah pembebanan pada model benda uji

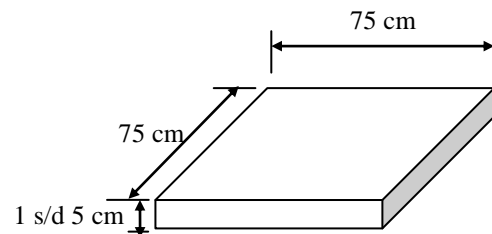
Sedangkan variabel dependent yang diharapkan diperoleh melalui pengujian adalah: 1) Pola retakan akibat uji tekan / uji tarik belah / uji lentur/ uji geser yang terjadi pada setiap model benda uji. 2) Defleksi/lendutan terbesar pada setiap benda uji beton UHPFRC. 3) Besaran beban terpusat maksimum yang bekerja pada benda uji yang berasosiasi dengan kapasitas maksimum model benda uji terhadap lentur.

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder diameter 10 cm x tinggi 20 cm untuk pengujian kuat tekan, silinder diameter 15 cm x tinggi 30 cm untuk uji kuat tekan dan uji tarik belah, kubus beton 10 cm x 10 cm, kubus beton 15 cm x 15 cm dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3. Model Benda Uji Silinder Beton dan Benda Kubus

Benda uji model benda uji pracetak beserta arah gaya maksimal yang bekerja pada benda uji tersebut dibuat dengan spesifikasi berikut:



Gambar 4. model benda uji pelat beton pracetak.

Kegiatan penelitian dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut:

- Pemeriksaan property atau sifat-sifat bahan penyusun beton UHPFRC.
- Analisis pengaruh semen, pasir, silika fume, silika powder, superplastisizer, bendrat dan bonding agent yang paling optimal terhadap kuat tekan beton.
- Melakukan pengujian variasi komposisi pasir dan kerikil untuk mendapatkan komposisi kerikil yang memberikan kuat tekan beton yang optimal.
- Mendesain dan membuat alat cetak dan model struktur pelat beton pracetak. Melakukan pengecoran dan perawatan struktur pracetak. Melakukan pengujian

kuat lentur dari model struktur pelat beton pracetak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian bahan penyusun beton diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik bahan penyusun beton

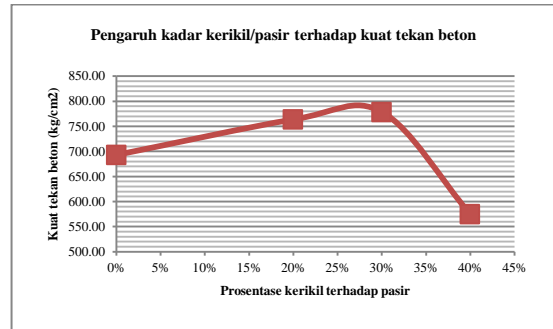
No.	Uraian	Nilai
1	Semen	
a	Berat Jenis Semen	3,47
b	Berat Volume Semen	1246,55 kg/m ³
2	Pasir	
a	Modulus halus	2,17
b	Zone Pasir	3
c	Kelembaban Pasir	143%
d	Kadar air resapan pasir	84%
e	Berat jenis pasir	2,74
f	Berat volume pasir	1372,96 kg/m ³
g	Kadar lumpur pasir	1,06%
3	Kerikil	
a	Modulus Halus Kerikil	4,31
b	Kelembaban kerikil	23%
c	Kadar air resapan kerikil	167%
d	Berat volume kerikil	1437,69 kg/m ³
e	Berat jenis kerikil	1,587



Gambar 5. Pengujian sifat bahan penyusun beton UHPC

Hasil pengujian pengaruh kadar kerikil / kadar pasir terhadap kuat tekan beton pada usia 7 hari dapat dilihat pada gambar 6. Dari

hasil pengujian tersebut didapat komposisi kerikil 30% terhadap total berat kerikil dan pasir pada suatu komposisi campuran beton.

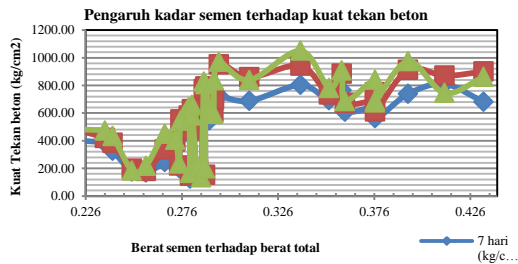


Gambar 6. Hasil pengujian pengaruh kadar kerikil/pasir terhadap kuat tekan beton



Gambar 7. Pengujian pengaruh komposisi pasir dan kerikil terhadap kuat tekan beton UHPC

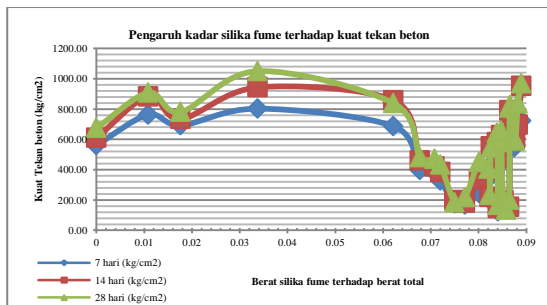
Hasil analisis terhadap kadar bahan penyusun beton terhadap berat total bahan penyusun beton diperoleh hubungan dengan kuat tekan beton sebagaimana terlihat pada grafik-grafik di bawah.



Gambar 8. Pengaruh kadar semen terhadap kuat tekan beton

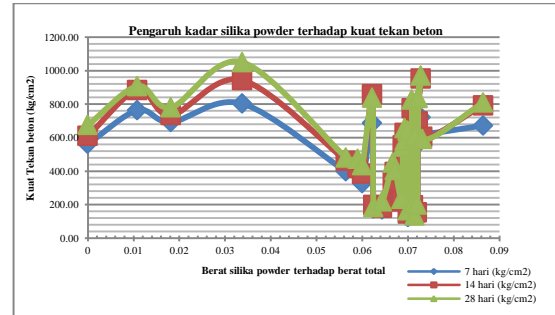
Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa berat semen yang optimal atau menghasilkan kuat tekan beton yang tertinggi dari seluruh hasil pengujian adalah pada kisaran 33,6% dari berat total bahan pencampur beton. Kuat tekan yang didapatkan dari serangkaian pengujian tersebut adalah sekitar 1050,27 kg/cm².

Hasil analisis pengaruh kadar silika fume terhadap kuat tekan beton pada gambar 10, diperoleh gambaran bahwa kadar silika fume yang optimal terhadap kuat tekan beton adalah berkisar pada komposisi 3,5% terhadap berat total bahan pencampur beton atau 12% terhadap berat semen dengan kuat tekan yang diperoleh sekitar 1050,27 kg/m³.



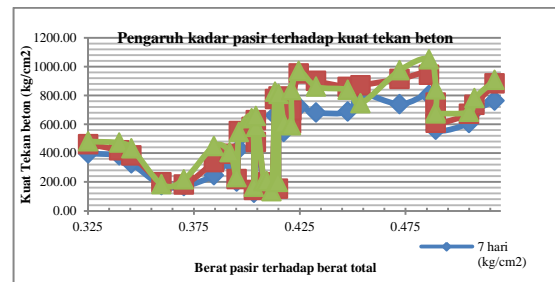
Gambar 9. Pengaruh kadar silika fume terhadap kuat tekan beton

Kadar silika fume yang optimal tersebut serupa dengan kadar silika powder yang optimal untuk menghasilkan kuat tekan beton yang terbaik, yaitu pada kisaran 3,4% dari berat total bahan pencampur, sebagaimana terlihat pada gambar 10.



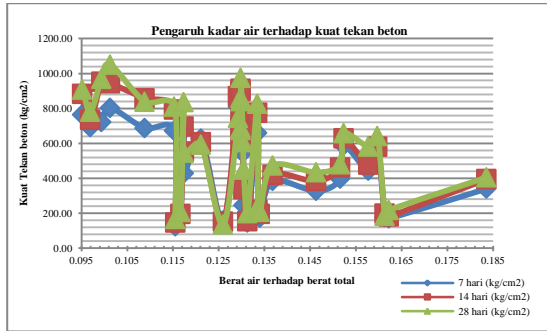
Gambar 10. Pengaruh silika powder terhadap kuat tekan beton

Untuk kadar pasir optimal, dapat diperoleh pola perilaku seperti terlihat pada gambar 11. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kadar yang optimal untuk pasir adalah berkisar antara 42,5 % hingga 49% dari berat total bahan pencampur beton. Kadar paling optimal adalah pada komposisi 48% dengan kuat tekan beton yang dihasilkan adalah 1050, 27 kg/m³. Jika dikaitkan dengan hasil pengujian komposisi kerikil dan pasir pada gambar 3 dimana komposisi kerikil optimal adalah 30%, maka kadar kerikil yang dapat digunakan adalah sekitar 15% dari berat total dan kadar pasir adalah sekitar 33% terhadap berat total.



Gambar 11. Pengaruh kadar pasir terhadap kuat tekan beton

Analisis pengujian pengaruh kadar air terhadap kuat tekan beton menunjukkan perilaku bahwa semakin rendah kadar air, akan memberikan kuat tekan yang lebih baik. Sedangkan semakin tinggi kadar air akan menurunkan kuat tekan beton. Dari gambar 12 dapat diketahui bahwa kadar air yang baik adalah pada kisaran 10% hingga 13,5% dari berat total bahan pencampur beton.



Gambar 12. Pengaruh kadar air terhadap kuat tekan beton

Pola pengujian benda uji kubus dan benda uji silinder adalah seperti terlihat pada gambar berikut:

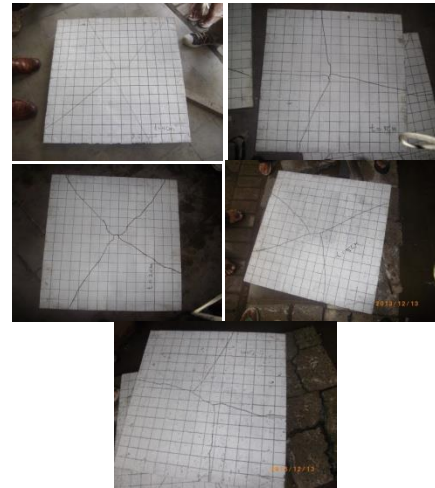


Gambar 13. Pengujian benda uji silinder dan kubus

Sedangkan sistem pengujian pelat dilaksanakan dengan pola berikut:



Gambar 14. Setting up pengujian pelat

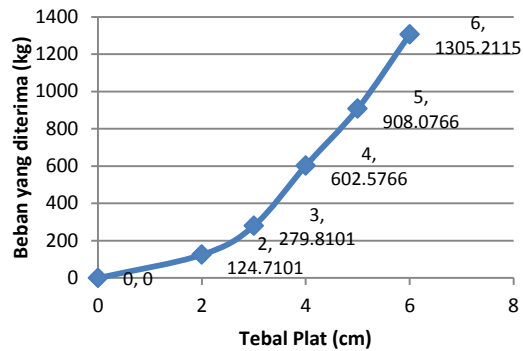


Gambar 15. Pola retak lentur pada hasil pengujian pelat ketebalan 2, 3, 4, 5, dan 6 cm.

Tabel 2. Hasil pengujian pelat:

Ukuran Plat	Profing Ring (mm)	P. Maks (Kg)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (Mpa)
Plat 2 cm	0,09	134,1101	6,7055	6,2355
	0,09	134,1101	6,7055	
	0,07	105,9101	5,2955	
Plat 3 cm	0,26	373,8101	8,3069	6,2180
	0,15	218,7101	4,8602	
	0,17	246,9101	5,4869	
Plat 4 cm	0,41	583,7766	7,2972	7,5322
	0,45	640,1766	8,0022	
	0,41	583,7766	7,2972	
Plat 5 cm	0,52	738,8766	5,9110	7,2646
	0,79	1119,577	8,9566	
	0,61	865,7766	6,9262	
Plat 6 cm	1,01	1432,112	7,9562	7,2512
	0,89	1262,912	7,0162	
	0,86	1220,612	6,7812	

Pengujian lentur pada pelat diperoleh beban maksimum sebesar 1432,112 kg pada ketebalan pelat 6 cm dengan lendutan yang terjadi sebesar 2,8 mm. Penambahan ketebalan pelat menimbulkan peningkatan beban yang dapat ditahan. Dari hasil pengamatan pada pola retak, terlihat bahwa serat pada pelat beton dapat memberikan perilaku retak yang cukup baik dan dapat mencegah keruntuhan beton yang tiba-tiba



Gambar 16. Hubungan tebal plat dan beban yang diterima..

5. KESIMPULAN

Dari data-data hasil penelitian yang telah dilakukan selama ini dapat disimpulkan, bahwa terdapat pengaruh antara perubahan komposisi material penyusun beton UHPFRC terhadap kuat tekan yang diharapkan. Komposisi optimal yang dapat diperoleh dari hasil analisis dan pengujian tersebut terhadap berat total bahan pencampur beton adalah kadar semen 33,6%, kadar silika fume sekitar 12% berat semen atau 3,5% berat total bahan pencampur beton, kadar silika powder sekitar 10% berat semen atau 3,4% berat total bahan pencampur beton, kadar pasir sekitar 33% terhadap berat total dan kadar kerikil 15% dari berat total. Kadar air yang diperlukan adalah sekitar 10% hingga 13,5% dari berat total bahan pencampur. Hasil pengujian lentur pada pelat diperoleh beban maksimum sebesar 1432,112 kg pada ketebalan pelat 6 cm dengan lendutan yang terjadi sebesar 2,8 mm. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan beton UHPFRC pada beton pracetak dapat memberikan perkuatan yang cukup signifikan terhadap kekuatan lenturnya.

Untuk perbaikan hasil penelitian di masa mendatang, akan sangat baik, jika dilakukan pengujian terhadap berbagai variable yang belum bisa diuji dalam penelitian ini, seperti pada lamanya waktu pengadukan, pengaruh berbagai jenis serat fiber terhadap kuat tekan beton, dan sebagainya.

6. REFERENSI

- C.H. Lee, Y. K. (2012). Shear Strength of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) Precast Bridge Joint. In H. R. G.J. Parra-Montesinos (Ed.), HPRCC 6 @RILEM State of the Art Reports. 2, pp. 413-420. Goyang, Republic of Korea: Structural Engineering and Bridge Research Division, Infrastructure Research Department, Korea Institute of Construction Technology (KICT),.
- Chow, T. (2005). First Use of UHPFRC in Thin Precast Concrete Roof Shell for Canadian LRT Station . PCI Journal, http://www.sustainableprecast.ca/downloads/USE_OF_UHPFRC.pdf , 50-67.
- Han, X.-G. W.-M. (2010). Interface Shear Connection Analysis of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concrete Composite Girders. JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING , 15 (5), 493-502.
- P. Pimienta, G. C. (2005). Durability of UHPFRC specimens kept in various aggressive environments. 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components (pp. TT3-246). LYON: France.
- Sihotang, M. (2011). Petani Kopi Keluhkan Besarnya Biaya Transportasi. Jakarta: Harian Bisnis Indonesia, <http://www.bisnis-sumatera.com/index.php/2011/04/petani-kopi-keluhkan-besarnya-biaya-transportasi>.
- Szilard, R. (1989). Teori dan Analisis Pelat Metode Klasik dan Numerik. (Wira, Trans.) Jakarta: Erlangga.
- Yen Lei Voo, B. N. (2012). Application Of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete-The Malaysia Perspective. International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology , Vol 3 (Issue 1), 26-44.