

PEMBUATAN *ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE* DENGAN MATERIAL LOKAL

Giovanni Genial¹, Veronika Violintina², Antoni³

ABSTRAK : *Ultra High Strength Concrete (UHSC)* merupakan terobosan yang sedang dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir ini. *UHSC* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan *Normal Strength Concrete (NSC)*, yaitu beton *UHSC* memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap asam, kebakaran, maupun ketahanan jangka panjang. Pada tahun 2010, di Indonesia telah dapat dibuat beton *UHSC* dengan kekuatan mencapai 140 MPa dengan memanfaatkan material lokal dengan ukuran yang sangat halus walaupun masih di laboratorium. Dalam penelitian ini akan dicari *mix design* yang dapat mencapai kuat tekan *UHSC*, pengaruh *steam curing*, penambahan *steel fibres*, dan proses *vacuum* dalam pembuatan *UHSC*. Pencarian *mix design* dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan penelitian yang lain. Kuat tekan maksimum yang dicapai adalah sebesar 115 MPa pada umur 28 hari. Perlakuan *steam curing* memberikan pengaruh pada kuat tekan awal dan dengan melakukan proses *vacuum* dalam proses pemadatan benda uji tidak memberikan pengaruh dalam kekuatan. Penambahan *steel fibres* memberikan pengaruh yang baik dari segi ketahanan dalam mengatasi keruntuhan yang getas.

KATA KUNCI: *ultra high strength concrete, UHSC, steam curing, steel fibres, vacuum.*

1. PENDAHULUAN

Ultra High Strength Concrete (UHSC) merupakan terobosan yang sedang dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir ini. *UHSC* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan *Normal Strength Concrete (NSC)*, yaitu beton *UHSC* memiliki *durability* yang lebih baik terhadap asam, kebakaran, maupun ketahanan jangka panjang. Penentuan komposisi yang optimum dari setiap material penyusun beton *UHSC* sangat diperlukan, baik dari agregat halus, semen, *supplementary cement material*, air, dan metode-metode yang akan digunakan selama proses pembuatan.

Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan proses *vacuum* dalam pemadatan beton. Penerapan *vacuum* dalam pembuatan *UHSC* memiliki keuntungan-keuntungan yang dapat menunjang pencapaian beton *UHSC*. Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain adalah pori-pori dalam campuran beton dapat diminimalisir sehingga beton akan lebih padat, selain itu juga dapat meningkatkan keseragaman material selama *mixing*, dan dapat mempersingkat *mixing time* (Schachinger et al. n.d.). Untuk perawatan beton *UHSC* sendiri dibutuhkan *curing* bersuhu tinggi. Tidak sedikit penelitian yang sudah dilakukan dalam usaha mendapatkan beton *UHSC* dengan penggunaan *steam curing* dalam perawatannya. *Steam curing* mengindikasikan kuat tekan beton umur 28 hari dapat dipercepat hingga umur 3 hari dan mungkin pada umur 28 hari kuat tekan beton yang menggunakan *steam curing* bisa lebih tinggi daripada kuat tekan beton umur 28 hari dengan *normal curing* (Hoang et al. 2008).

¹ Mahasiswa Universitas Kristen Petra, giovannigenial@gmail.com

² Mahasiswa Universitas Kristen Petra, veronikaviolintina@yahoo.com

³ Dosen Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

Bahan penyusun *UHSC* yang mengandung sifat pozzolan umumnya membutuhkan waktu yang relatif lebih lama untuk bereaksi. Penggunaan *steam curing* diharapkan dapat membantu material pozzolan untuk bereaksi lebih cepat. Selain itu, kendala yang muncul saat pemadatan adalah rongga-rongga yang ada di dalam beton *UHSC* ini berpotensi mengurangi kekuatan dari beton itu sendiri. Salah satu proses yang hingga saat ini masih jarang digunakan dalam pembuatan beton *UHSC* adalah dengan menerapkan proses *vacuum* pada campuran beton *UHSC*, supaya rongga yang ada dapat diminimalisir. Tingginya kuat tekan yang dimiliki beton *UHSC* tentunya diikuti dengan tingginya jumlah semen yang digunakan dan semakin tinggi jumlah semen yang digunakan maka beton berpotensi mengalami susut dan *microcrack* di dalam beton tersebut. Penambahan material *steel fibre* diharapkan dapat menahan *microcrack* sehingga beton dapat mencapai kekuatan optimal. Beberapa hal ini dilakukan untuk dapat menyempurnakan penelitian mengenai *UHSC*.

2. MATERIAL

Dalam proses pembuatan *UHSC* diperlukan volume semen yang lebih besar dibandingkan beton mutu normal dan digunakan semen portland yang tahan terhadap. Hal ini disebabkan oleh kandungan C_3A yang rendah pada semen portland yang tahan terhadap sulfat. Campuran beton dengan semen yang memiliki kadar C_3A yang rendah akan menyebabkan penggunaan *w/c ratio* yang rendah pula bila dibandingkan dengan penggunaan semen portland biasa (Al-azzawi et al. 2011). Di Indonesia sekarang hanya terdapat semen tipe PPC yang dijual bebas di pasaran dan dalam penelitian digunakan semen tipe PPC.

Untuk meningkatkan kepadatan beton, perlu digunakan *filler* untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat dalam beton. Oleh karena itu, digunakan *silica fume* dan *fly ash* sebagai *filler* dan juga dimanfaatkan sebagai material pozzolanik yang dapat meningkatkan performa beton, yaitu dalam hal kuat tarik, kuat tekan, durabilitas beton, dan mengurangi permeabilitas beton. Untuk *silica fume*, dosis yang digunakan harus pada dosis yang optimum karena pemakaian dengan dosis yang berlebihan tidak memberikan pengaruh yang efektif dalam peningkatan kuat tekan beton.

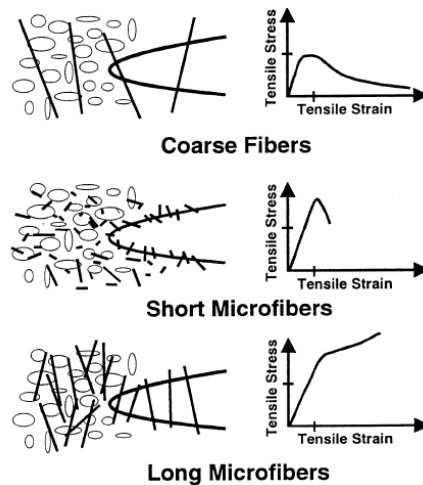
Sedangkan untuk *fly ash*, dengan kadar SiO_2 yang lebih rendah dibandingkan *silica fume*, juga memiliki sifat pozzolan untuk bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan oleh semen pada waktu proses hidrasi yang kemudian membentuk senyawa *hydrated calcium silicate* (CSH) dimana senyawa ini bersifat mengikat yang akan membangun kekuatan. Sedangkan kapur bebas yang tidak bereaksi dengan *fly ash* akan berguna untuk mengisi rongga-rongga yang ada. Penggunaan *fly ash* pada campuran beton dapat meningkatkan *workability*, mencegah segregasi, bleeding, heat evolution, permeability, dan meningkatkan ketahanan terhadap sulfat (Arunachalam & Vigneshwari 2011).

Selain material pozzolan, *superplasticizer* perlu digunakan untuk membantu meningkatkan *workability*. *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan yang digunakan untuk meningkatkan kelecakan atau *workability* dalam pengerjaan campuran. Bahan ini digunakan untuk mengurangi penggunaan air sehingga tercapai *w/c ratio* yang rendah yang digunakan dalam pembuatan *UHSC* (Malier 1992).

Agregat yang digunakan adalah pasir halus dari Lumajang dan pasir silika dengan ukuran terbesar 1,2 mm. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi efek dari rongga yang ada di dalam agregat kasar yang menyebabkan berkurangnya kekuatan beton. Semakin kecil ukuran suatu agregat maka rongga di dalam agregat tersebut akan makin berkurang dan menambah kekuatan beton.

Untuk mengatasi keruntuhan beton yang getas, digunakan serat baja atau *steel fibres*. Penggunaan *steel fibres* pada suatu penelitian menunjukkan peningkatan pada kelenturan dan kuat tekan beton, serta memberikan efek penurunan terhadap *flowing ability* pada beton segar (Hoang et al. 2008). *Steel fibres* memberikan beberapa kelebihan dibandingkan tulangan baja konvensional karena tulangan baja konvensional umumnya diletakkan dengan jarak yang relatif besar sehingga hal ini tidak dapat

menahan retakan kecil yang ada. Sedangkan bila menggunakan mikrofiber yang jaraknya berdekatan akan menahan *microcracks* dan meningkatkan kuat tarik dan kekakuan. Tetapi bila *microfibres* tersebut pendek akan menjadi tidak efektif dalam menahan *macrocrack* yang ada (Shah & Weiss 1998).



Gambar 1 Konsep Pengaruh Panjang Serat terhadap Retakan dan Sifat Mekanis

3. RANCANGAN PENELITIAN

Dalam menentukan *mix design* untuk pembuatan beton *UHSC* ini, digunakan beberapa referensi dari penelitian yang pernah dilakukan oleh beberapa sumber. Berdasarkan penelitian yang telah ada, sebagian besar dari penelitian tersebut menggunakan *w/c ratio* yang rendah dan material dengan ukuran partikel lebih kecil dari semen juga digunakan untuk mengisi rongga-rongga udara yang ada.

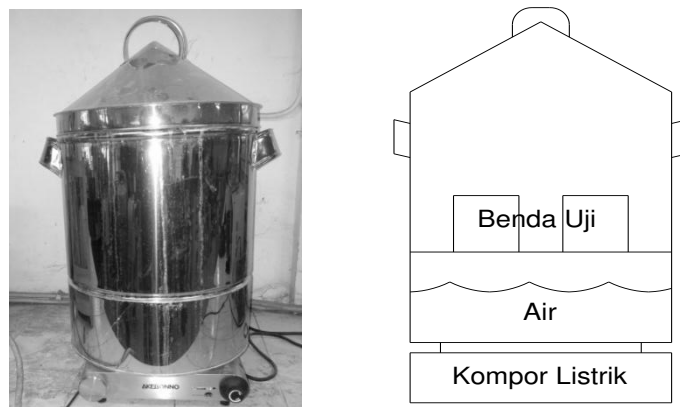
Tabel 1 Contoh Komposisi *Mix Design* Hardjasaputra (Hardjasaputra et al. 2011)

	TM5	TM5a	TM5b	TM5c
Material	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
<i>Cement</i>	800	800	800	800
<i>Sand</i>	977.21	981.62	983.38	985.15
<i>Silica</i>	230	230	230	230
<i>Superplasticizer</i>	39	35.75	34.32	32.89
<i>Crushed quartz</i>	152.63	156.98	158.72	160.46
<i>W/c</i>	0.221	0.221	0.221	0.221
<i>Density</i>	2369.43	2343.94	2363.06	2350.32
<i>Strength (MPa)</i>	137.4	130.15	134.55	143.02

Tabel 2 Contoh *Mix Design* Kurniawan (Kurniawan et al. 2012)

Komponen	UHPC
Semen (kg/m ³)	770
Pasir Lumajang (kg/m ³)	911.250
Pasir Silika (kg/m ³)	303.750
<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	372
<i>Silica Fume</i> (%C)	7.5
<i>Superplasticizer</i> (%C)	2.00
<i>w/c</i>	0.22

Setelah kekuatan beton *UHSC* tercapai, dilakukan beberapa perlakuan khusus untuk benda uji berikutnya, yaitu dengan memberikan perlakuan *steam curing* pada proses pemeliharaan beton, menambahkan *steel fibres* ke dalam campuran, dan melakukan proses *vacuum* saat proses pemadatan benda uji yang diujikan secara terpisah. Dalam penelitian dilakukan *steam curing* dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama 10 jam setelah melepaskan bekisting. Hal ini sesuai dengan referensi yang mengatakan bahwa *steam curing* pada suhu 66°C (150°F) merupakan suhu yang menguntungkan untuk perawatan beton agar beton mengalami susut yang minimal, sedangkan beton yang menggunakan *steam curing* pada suhu di atas 82°C akan berdampak buruk pada kuat tekan akhir beton nantinya (Yazdani et al. 2010). Setelah 10 jam berlalu, beton dikeluarkan dari alat kukusan atau dandang dan diletakkan dalam suhu ruangan selama ± 2 jam sebelum dimasukkan ke dalam kolam *curing* bersuhu ruangan agar suhu beton menurun secara perlahan sehingga beton tidak mengalami penurunan suhu yang tiba-tiba saat dimasukkan ke dalam kolam *curing*. Pemeliharaan di dalam kolam *curing* dilakukan hingga beton berumur sehari sebelum beton diuji kuat tekannya.



Gambar 2 Kompur Listrik dan Dandang

Untuk penelitian berikutnya, *steel fibres* ditambahkan ke dalam campuran saat campuran sudah membentuk pasta sesuai dengan petunjuk dari PT. Dramix. Dalam penelitian ini kadar *steel fibres* yang diberikan ke dalam campuran menjadi variabel bebas yang diteliti, yaitu sebesar 0.25%, 0.375%, dan 0.5% dari berat volume.

Untuk mengetahui pengaruh proses *vacuum* saat proses pemadatan, dilakukan secara bertahap yaitu tiap cetakan terisi setinggi 1 inch selama ± 5 menit untuk tiap lapisan. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan adonan yang lebih padat dan meminimalisir udara yang terjebak di dalamnya. Penelitian dilakukan secara bertahap agar udara yang dikeluarkan dari dalam benda uji bukanlah udara yang ada pada permukaan saja.

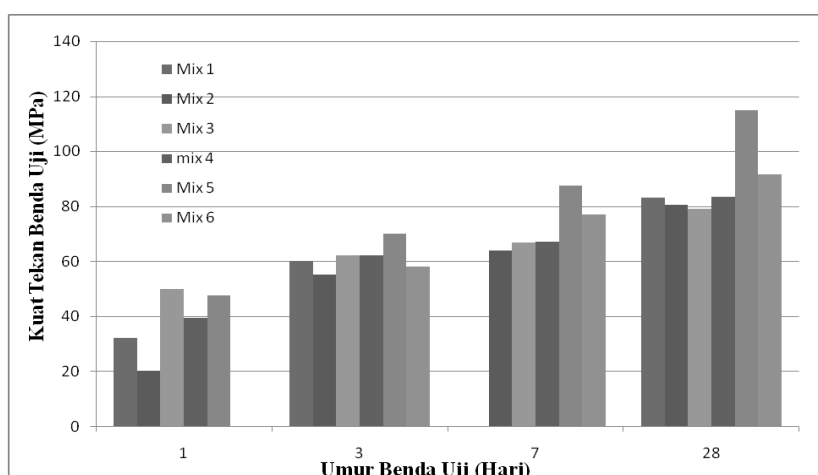
4. HASIL DAN ANALISA

4.1 Komposisi dan Hasil Uji Kuat Tekan

Percobaan ini dilakukan dengan mengadopsi beberapa *mix design* referensi yang akhirnya didapatkan *mix design* yang sesuai dan dapat dilakukan. Berbagai *mix design* referensi telah dicoba dan akhirnya didapatkan *mix design* yang sudah disesuaikan dengan kondisi material-material yang digunakan. Benda uji yang dibuat dalam percobaan ini tidak diberikan perlakuan khusus seperti *vacuum* dalam proses mixing maupun *steam curing* pada pemeliharaan betonnya. Benda uji digetarkan menggunakan mesin *vibrator* dalam proses pemadatan dan menggunakan *normal curing*, yaitu dengan merendam beton ke dalam kolam *curing* yang ada di dalam Laboratorium Beton Universitas Kristen Petra, dalam pemeliharaan beton setelah *setting time* beton. Dapat dilihat pada **Tabel 3** beberapa *mix design* yang digunakan.

Tabel 3 Mix Design

No.	Semen (kg/m ³)	Pasir Lumajang (kg/m ³)	Pasir Silika (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Silica fume (%C)	Superplasticizer (%C+SF+FA)(ml)	w/c	w/cm
1	900	0.00	1260.00	270.00	10.00	3.75	0.27	0.19
2	900	0.00	1512.00	270.00	10.00	4.01	0.29	0.21
3	900	675.00	675.00	360.00	10.00	3.13	0.28	0.19
4	770	911.25	303.75	372.00	7.50	3.45	0.26	0.16
5	800	980.00	156.00	0.00	10.00	4.42	0.23	0.21
6	742	1215.00	0.00	394.00	7.50	3.99	0.25	0.16



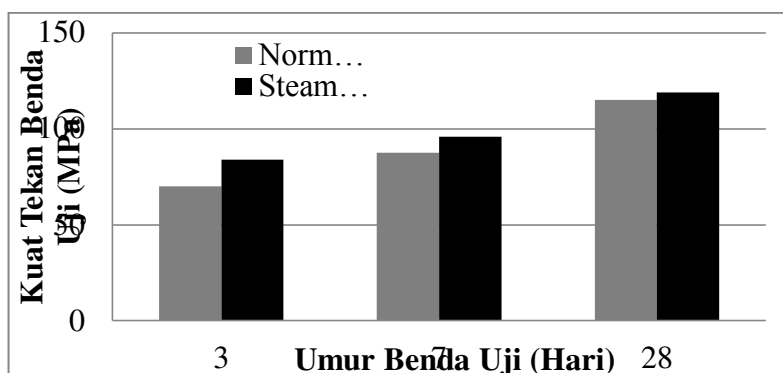
Gambar 3 Grafik Perbandingan Kuat Tekan

Pada **Gambar 3** dapat dilihat bahwa *mix design 5* merupakan *mix design* yang mampu menghasilkan kuat tekan beton tertinggi dengan kuat tekan 28 hari sebesar 115 MPa dan untuk penelitian selanjutnya digunakan *mix design* tersebut sebagai acuan. Kuat tekan yang dihasilkan masih belum memenuhi target kuat tekan UHSC karena beberapa perbedaan yang dilakukan dengan *mix design* referensi dalam penggunaan material, seperti perbedaan tipe material yang digunakan. Di mana referensi dalam pembuatan UHPC menggunakan material berukuran mikro, seperti penggunaan *marble powder* yang berukuran 10 μ m - 100 μ m sebagai *micro filler*. Pasir silika yang digunakan pun berasal dari Bangka di mana kandungan SiO₂ dalam pasir silika tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan pasir silika asal Tuban yang digunakan dalam penelitian ini dan semen yang digunakan adalah semen tipe OPC yang sekarang sudah tidak dijual secara bebas lagi di pasaran umum Indonesia. Semen PPC yang dipakai dalam penelitian ini memiliki kandungan pozzolan yang lebih tinggi dibandingkan dengan semen OPC di mana kandungan pozzolan ini berfungsi sebagai bahan pengganti semen dan mampu berfungsi pula sebagai *filler*. Dengan bertambahnya *filler* dalam kandungan semen ke dalam campuran, maka akan mengurangi kuat tekan beton yang seharusnya dapat dicapai. Selain itu, dengan *w/c ratio* yang rendah sebaiknya digunakan alat *mixing* dengan kinerja yang tinggi sedangkan dalam penelitian ini digunakan alat *mixer* yang memiliki performa yang menyamai proses *mixing* secara manual yang kemungkinan besar memberikan hasil campuran yang kurang maksimal.

4.2 Steam Curing

Mix design 5 dari penelitian sebelumnya diambil sebagai *mix design* acuan dalam pengamatan penggunaan *steam curing*. Dari hasil uji kuat tekan pada **Gambar 4** dapat disimpulkan bahwa pemeliharaan beton menggunakan *steam curing* memberikan kekuatan yang lebih tinggi dari *normal curing* pada umur awal dan kekuatan yang tidak berbeda jauh pada umur 28 hari. Penggunaan *steam curing* ini lebih cenderung kepada usaha untuk mendapatkan kekuatan yang lebih tinggi di umur awal.

Peningkatan kekuatan tersebut terjadi karena reaksi hidrasi yang terjadi pada beton tersebut telah di percepat oleh *heat treatment* dari *steam curing* dengan meningkatkan suhu perawatan. Sifat *pozzolan* yang terdapat pada *silica fume* membutuhkan bantuan *heat treatment* agar dapat bereaksi secara optimal. Jika diperhatikan, beton *steam curing* pada umur 3 hari yang tadinya memiliki margin kekuatan 20% daripada beton *normal curing*, pada umur 7 hari kekuatan beton *steam curing* hanya 10% lebih tinggi daripada beton *normal curing*, dan pada umur 28 hari kuat tekan beton *steam curing* dan beton *normal curing* berada di kekuatan yang hampir sama. Hal ini dikarenakan *steam curing* hanya membantu mempercepat reaksi hidrasi di umur awal dan ketika mendekati 28 hari reaksi hidrasi yang berjalan mulai berhenti perlahan-lahan.



Gambar 4 Perbandingan *Steam Curing* dengan *Normal Curing*

4.3 Penambahan *Steel Fibres*

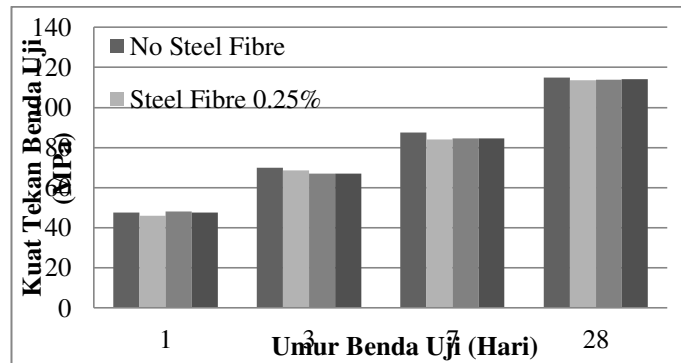
Steel fibres yang digunakan menggunakan *steel fibres* panjang (*l*) 60 mm dan diameter (*d*) 0.75 mm. Komposisi penambahan *steel fibres* ke dalam campuran dapat dilihat pada **Tabel 4**. *Mix design 5* dari penelitian sebelumnya diambil sebagai *mix design* acuan. Dan dalam **Gambar 5** dapat dilihat bahwa penggunaan *steel fibres* tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam hal kekuatan. Dengan menambahkan *steel fibres* ke dalam campuran, kemungkinan besar hal ini akan menyebabkan bertambahnya udara yang terjebak di dalam campuran sehingga kekuatan beton pun menjadi tidak lebih baik, bahkan menjadi lebih rendah dibandingkan tanpa penambahan *steel fibres*. Walaupun kekuatan yang dihasilkan tidak memberikan perbedaan yang signifikan, keruntuhan yang terjadi saat pengujian cukup berbeda antara benda uji dengan dan tanpa penambahan *steel fibres*.

Tabel 4 *Mix Design* Benda Uji dengan Penambahan *Steel Fibres* dan Tanpa Penambahan *Steel Fibres*

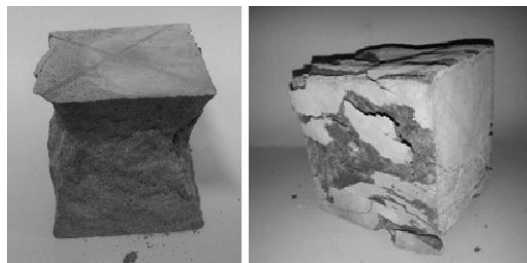
<i>Mix design</i>	NSF	SF 0.25%	SF 0.375%	SF 0.5%
Semen (kg/m ³)	800	800	800	800
Pasir Lumajang (kg/m ³)	980	980	980	980
Pasir Silika (kg/m ³)	156	156	156	156
<i>Silica Fume</i> (%C)	10	10	10	10
<i>Steel Fibres</i> (kg)	-	0.153	0.23	0.312
SP (%C+SF+FA)	4.42	4.42	4.42	4.42
w/c	0.23	0.23	0.23	0.23
w/cm	0.21	0.21	0.21	0.21

Sedangkan pada **Gambar 6** dapat dilihat perbandingan keruntuhan beton, antara beton yang tidak menggunakan *steel fibres* dengan beton yang menggunakan *steel fibres*. Saat pengujian, beton tanpa *steel fibres* mengalami keruntuhan yang lebih getas dan eksplosif. Beton tanpa *steel fibres* ini tidak mampu menahan retakan-retakan yang terjadi saat pengujian sehingga beton seakan-akan meledak dan beberapa serpihan beton terbang. Lain halnya dengan yang terjadi pada beton yang menggunakan *steel*

fibres di dalam campurannya. Retakan yang terjadi pada beton selama pengujian dapat ditahan oleh *steel fibres* sehingga keruntuhannya tidak terlalu getas dan eksplosif.



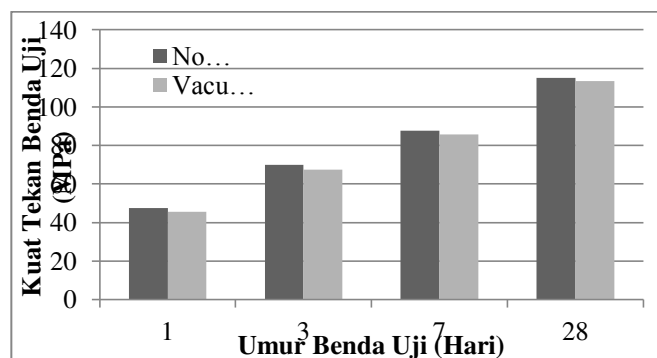
Gambar 5 Hasil Uji Kuat Tekan dengan *Steel Fibres* dan Tanpa *Steel Fibres*



Gambar 6 Keruntuhan Beton Tanpa *Steel Fibres* dan dengan *Steel Fibres*

4.4 Proses *Vacuum*

Pada pengamatan proses *vacuum* ini digunakan *mix design* 5 dari penelitian sebelumnya diambil sebagai *mix design* acuan. Pada **Gambar 7** terlihat beton dengan dan tanpa proses *vacuum* dalam pematatannya tidak memberikan perbedaan kuat tekan yang terlalu jauh. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh kemampuan alat *vacuum pump* yang kurang mampu menghisap udara yang berada di dalam *vacuum box* yang berukuran cukup besar sehingga udara yang terdapat di dalam campuran beton tidak dapat dihisap sepenuhnya oleh *vacuum pump*. *Vacuum pump* memiliki kekuatan hisap 2880 r/min dan dioperasikan selama ± 5 menit, dimana sebaiknya alat dijalankan lebih lama agar dapat menghisap udara yang terjebak di dalam beton. Udara di dalam beton membutuhkan waktu yang lebih lama untuk dapat keluar karena kondisi padat yang padat sehingga seakan-akan menahan udara yang akan keluar. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses *vacuum* ini juga terbatas dengan *setting time* beton. Kondisi ini yang menjadi penyebab penggunaan *vacuum* kurang optimal pada penelitian ini



Gambar 7 Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan Beton Tanpa *Vacuum* dengan Beton *Vacuum*

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa yang didapat dengan melakukan pengujian pada benda uji yang dibuat, secara umum dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan *mix design* milik Hardjasaputra et al yang digunakan sebagai acuan, dapat mencapai kuat tekan 115 MPa pada umur 28 hari. Kekuatan yang dicapai masih belum dapat memenuhi target karena dipengaruhi beberapa faktor yang berbeda dengan referensi, yaitu mutu material dan alat yang digunakan
2. Penggunaan perlakuan *steam curing* hanya membantu mempercepat reaksi hidrasi di umur awal yaitu 20% lebih tinggi saat umur 3 hari, 10% pada 7 hari, sedangkan pada umur 28 hari kuat tekan beton dengan *steam curing* tidak berbeda banyak dengan beton tanpa perlakuan *steam curing*.
3. Perlakuan *vacuum* pada proses pemadatan tidak memberikan pengaruh pada kuat tekan. Hal ini disebabkan penggunaan *vacuum* masih belum efektif, baik dalam kekuatan dan lama waktu penghisapan udara yang terjebak di dalam campuran.
4. Penambahan *steel fibres* ke dalam campuran beton tidak mempengaruhi kuat tekan beton tetapi mampu mengatasi keruntuhan benda uji yang getas.

6. DAFTAR REFERENSI

- Al-azzawi, A.A., Ali, A.S. & Risan, H.K. (2011). Behavior Of Ultra High Performance Concrete Structures. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(5), pp.95–109.
- Arunachalam, K. & Vigneshwari, M. (2011). Experimental Investigation on Ultra High Strength Concrete Containing Mineral Admixtures Under Different Curing Conditions. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 2(1), pp.33–42.
- Hardjasaputra, H., Tirtawijaya, J. & Tandaju, G.S. (2011). The Recent Development Of Ultra High Performance Concrete (UHPC) in Indonesia. *The 3rd International Conference of EACEF (European Asian Civil Engineering Forum)*, pp.111–116.
- Hoang, K.H. et al. (2008). Influence of Types of Steel Fiber on Properties of Ultra High Performance Concrete. *The 3rd ACF International Conference-ACF/VCA*, 3, pp.347–355.
- Kurniawan, E., Valentino, I. & William, I. (2012). *Ultra High Performance and Sustainable Powder Concrete*.
- Malier, Y. (1992). *High Performace Concrete From Material to Structure*,
- Schachinger, I. et al., Early-Age Cracking Risk and Relaxation by Restrained Autogenous Deformation of Ultra High Performance Concrete. *6th International Symposium on High Strength / High Performance Concrete*, pp.1–13.
- Shah, S.P. & Weiss, W.J. (1998). *Ultra High Performance Concrete: A Look to the Future*.
- Yazdani, N., Filsaime, M. & Manzur, T. (2010). Effect of Steam Curing on Shrinkage of Concrete Piles with Silica Fume. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, June.