

# PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT DAUR ULANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON BERKINERJA TINGGI GRADE 80

**Deni Anwar Hamid<sup>1)</sup>, Solihin As'ad<sup>2)</sup>, Endah Safitri<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2)3)</sup>Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail : anwarchelsea30@gmail.com

## **Abstract**

*There are abundant concrete waste taken from new buildings construction and demolished the old one. Most of them are not reused and dumped. This material can be recycled into new concrete aggregate by recycling waste concrete. This study aims to know the effect of the use of recycled fine aggregate as natural aggregates replacement on the compressive strength and modulus of elasticity on the high performance concrete grade 80 or minimum 80 MPa. The portion of recycled fine aggregate used was 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of the total weight of natural fine aggregate. Specimens used were concrete cylinders form with a diameter of 7.62 cm and 15.24 cm of height. The reference concrete compressive strength was  $f_c' = 80$  MPa. From the test results obtained that the compressive strength of reference concrete was 85.51 MPa or compatible with the strength target. Replacement of natural fine aggregate with 20% recycled decreased the compressive strength significantly. This equals to 20.97% (from 85.51 MPa to 67.58 MPa). The strength reduction then continued the next replacement 40% ( $f_c' = 62.06$  MPa), 60% ( $f_c' = 60.68$  MPa), 80% ( $f_c' = 57.92$  MPa), 100% ( $f_c' = 53.79$  MPa). Modulus of elasticity of concrete also decreases following compressive strength drop. This equals was 0% ( $E_c = 49,045$  GPa), 20% ( $E_c = 41,827$  GPa), 40% ( $E_c = 38,127$  GPa), 60% ( $E_c = 34,689$  GPa), 80% ( $E_c = 30,008$  GPa), 100% ( $E_c = 27,739$  GPa).*

**Keywords:** recycled aggregate, high performance concrete grade 80, compressive strength, modulus of elasticity,

## **Abstrak**

Terdapat limbah beton akibat konstruksi bangunan baru dan penghancuran bangunan lama. Umumnya limbah tersebut tidak dimanfaatkan dengan baik. Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk memanfaatkan limbah tersebut adalah dengan mendaur ulang menjadi agregat baru. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan agregat halus daur ulang sebagai pengganti agregat alam terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton berkinerja tinggi *grade* 80 atau kuat tekan minimal 80 MPa. Porsi agregat halus daur ulang yang digunakan sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% terhadap berat total agregat halus alami. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton dengan diameter 7,62 cm dan tinggi 15,24 cm. Mutu beton yang direncanakan sebelum penggantian agregat halus daur ulang adalah  $f_c' = 80$  MPa. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan beton dengan murni agregat alami sebesar 85,51 MPa. Penggantian agregat halus alami dengan agregat halus daur ulang pada porsi pergantian 20% menunjukkan penurunan nilai kuat tekan yang cukup signifikan yaitu 20,97 % (dari 85,51 MPa menjadi 67,58 Mpa), berlanjut pada penurunan rasio pergantian berikutnya yaitu 40% ( $f_c' = 62,06$  MPa), 60% ( $f_c' = 60,68$  MPa), 80% ( $f_c' = 57,92$  MPa), 100% ( $f_c' = 53,79$  MPa). Nilai modulus elastisitas beton juga menurun seiring dengan penurunan kuat tekannya. Dengan porsi pergantian yang sama terjadi penurunan yang cukup stabil, yaitu 0% ( $E_c = 49,045$  GPa), 20% ( $E_c = 41,827$  GPa), 40% ( $E_c = 38,127$  GPa), 60% ( $E_c = 34,689$  GPa), 80% ( $E_c = 30,008$  GPa), 100% ( $E_c = 27,739$  GPa).

**Kata kunci:** agregat daur ulang, beton berkinerja tinggi *grade* 80, kuat tekan, modulus elastisitas.

## **PENDAHULUAN**

Kontribusi limbah beton terhadap timbunan sampah konstruksi cukup besar. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya aktifitas konstruksi bangunan. Di Indonesia, limbah konstruksi biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik. Sebagian besar dibuang begitu saja di lahan terbuka, dan beberapa digunakan sebagai bahan urugan. Ketersediaan material tersebut sangat banyak, sehingga potensi untuk mendaur ulangnya sangat besar. Material ini dapat dimanfaatkan kembali sebagai agregat di dalam pembuatan beton baru. Hal ini menjadi alternatif bahan beton yang menguntungkan, karena agregat yang digunakan adalah material agregat yang sudah dibuang. Pemanfaatan kembali agregat yang didaur ulang akan menambah panjang umur penggunaan agregat dibangun serta menghemat pemakaian agregat alami.

Agregat daur ulang memiliki beberapa kualitas, sifat fisik dan kimia. Variabilitas kualitas ini mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agregat daur ulang cenderung menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Menurut Hardjasaputra (2008), Penggunaan agregat kasar daur ulang menyebabkan pengurangan kuat tekan sebesar 10 – 15 % dibanding penggunaan agregat kasar normal. Sedangkan penggunaan agregat halus daur ulang menyebabkan pengurangan

kuat tekan sebesar 9 – 60 % dibanding penggunaan agregat halus normal (Solyman, 2005). Demikian pula penelitian yang dilakukan oleh As'ad dan Safitri (2011). Hasil yang diperoleh bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang menyebabkan pengurangan kuat tekan sebesar 9,5 – 16 % dibanding penggunaan agregat kasar normal. Sedangkan penggunaan agregat halus daur ulang menyebabkan pengurangan kuat tekan sebesar 23 – 48 % dibanding penggunaan agregat halus normal.

Penelitian ini bermaksud mengamati bagaimana pengaruh penggunaan agregat daur ulang sebagai pengganti sebagian atau seluruhnya agregat alami terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton berkinerja tinggi (HPC). Beton berkinerja tinggi (HPC) didefinisikan sebagai beton yang memiliki *workability* yang baik, kekuatan tinggi dan keawetan (*durabilitas*) yang lebih baik bila dibandingkan dengan beton konvensional. Kekuatan beton mutu tinggi yang ditargetkan adalah 80 MPa, sedangkan komposisi campuran agregat daur ulang yang digunakan adalah 20%,40%,60%,80% hingga 100% dari berat total agregat alami. Hasil yang diperoleh dari sampel yang mengandung agregat daur ulang kemudian dibandingkan dengan sampel yang mengandung agregat alami.

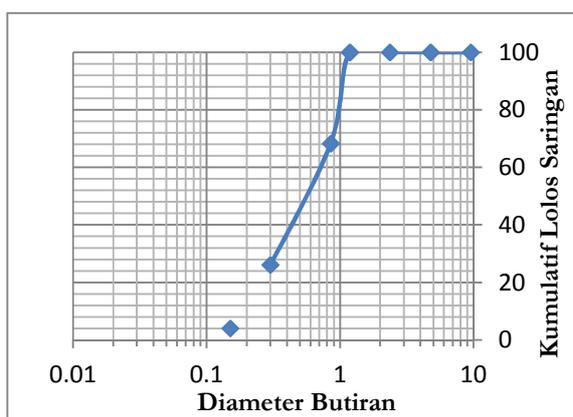
## MATERIAL DAN PENGUJIAN

### Agregat Alami dan Agregat Daur Ulang

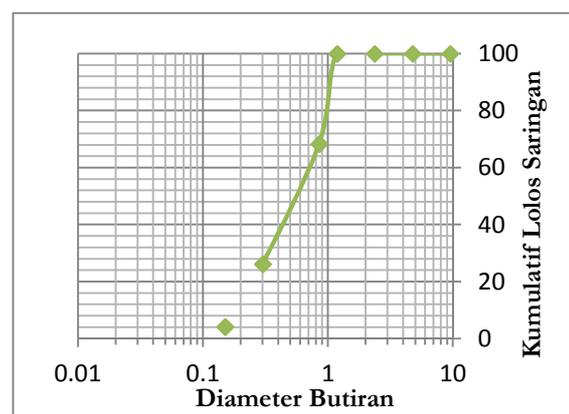
Agregat alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir halus yang lolos saringan no.20, atau memiliki diameter butiran maksimal 0.85 mm. Sedangkan agregat halus daur ulang diperoleh dari limbah beton hasil penelitian di Laboratorium Bahan Universitas Sebelas Maret Surakarta. Sebelum limbah beton dihancurkan, dilakukan pemisahan dan pembersihan terhadap kontaminasi kotoran-kotoran yang tidak diperlukan seperti pecahan genteng, serat, kaca dan juga mortar yang masih melapisi bagian permukaan limbah beton. Distribusi partikel agregat halus alami dan agregat halus daur ulang serta karakteristiknya ditampilkan dalam Gambar 1, Gambar 2 dan Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik agregat halus alami dan daur ulang

	Unit	Agregat Halus	
		Alami	Daur Ulang
Modulus Kehalusan		2,15	2,01
<i>Bulk Specific Gravity</i>	gr/cm <sup>3</sup>	2,53	2,075
<i>Bulk Specific SSD</i>	gr/cm <sup>3</sup>	2,58	2,2
<i>Apparent Specific Gravity</i>	gr/cm <sup>3</sup>	2,47	2,35
<i>Absorption</i>	%	2,04	5,4



Gambar 1. Gradasi agregat halus alami



Gambar 2. Gradasi agregat halus daur ulang

### Campuran Penyusun Beton dan Sampel Benda Uji

Komponen material penyusun beton berkinerja tinggi dalam penelitian ini adalah semen PPC, air, agregat halus alami dan agregat halus daur ulang, *superplasticizer* dan *silica fume*.

Sampel benda uji berjumlah 6 variasi. Masing-masing variasi terdiri dari 3 buah benda uji. Untuk satu variasi pertama mengandung murni agregat alami, kemudian 5 variasi berikutnya masing-masing mengandung 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% agregat halus daur ulang.

Beton Kinerja Tinggi disimbolkan dengan kode BKT<sub>x</sub>, dimana x merupakan persentase agregat halus daur ulang yang digunakan. Komposisi campuran (*Mix Design*) beton kinerja tinggi diperoleh dengan modifikasi *mix design* dari penelitian Hadjasaputra (2011). Hasil modifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi campuran beton kinerja tinggi

Benda Uji		BKT0	BKT20	BKT40	BKT60	BKT80	BKT100
<b>Komponen</b>	<b>Unit</b>						
Semen PPC	kg	875	875	875	875	875	875
Agregat halus alami	kg	980	784	588	392	196	0
Agregat halus daur ulang	kg	0	196	392	588	784	980
<i>Silica fume</i>	kg	305	305	305	305	305	305
<i>Superplasticizer</i>	lt	39	39	39	39	39	39
Air	lt	193	193	193	193	193	193
w/c rasio		0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22

### Persiapan Benda Uji dan Pengujian

Setelah sampel selesai dicampur, kemudian dilakukan pengujian beton segar untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran tersebut. Pengujian dilakukan menggunakan *slump flow table*. Kemudian semua benda uji dilakukan perawatan dengan cara merendam dalam bak air (*curing*) selama 26 hari. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan setelah beton berumur 28 hari.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Slump Flow

Tabel 3 menunjukkan hasil dari pengujian *slump flow* beton segar. Terlihat bahwa kandungan agregat halus daur ulang memberikan efek yang cukup tinggi terhadap penurunan *workability* dari beton segar. Nilai absorpsi agregat halus daur ulang yang tinggi (5,4%) dibandingkan agregat halus alami (2,04 %) membuat agregat daur ulang tersebut memiliki nilai absorpsi yang tinggi, sehingga jumlah air yang bereaksi dengan semen akan berkurang. Hal ini membuat proses hidrasi kurang maksimal dan menyebabkan beton menjadi lebih sulit dikerjakan (*workability* rendah).

Tabel 3. Pengujian *slump flow*

Kode benda uji	Nilai <i>slump flow</i> (cm)
BKT0	15
BKT20	13.5
BKT40	13
BKT60	12.5
BKT80	11,5
BKT100	11



Gambar 3. Pengujian *slump flow*

### Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

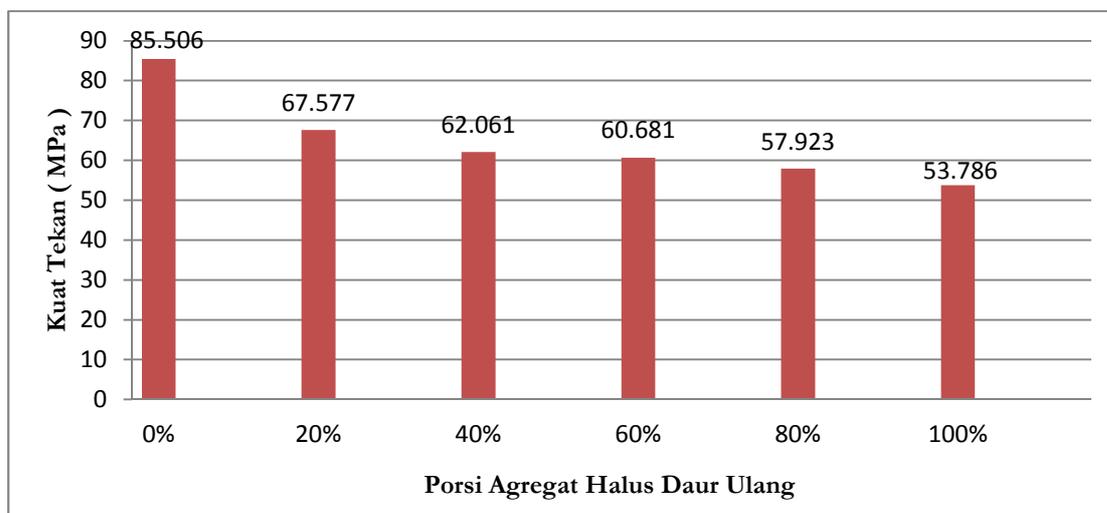
Hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, Gambar 4 dan Gambar 5. Masing-masing sampel mengindikasikan terjadinya penurunan kuat tekan dan modulus elastisitas yang disebabkan karena pengaruh penambahan agregat halus daur ulang. Pada pengujian kuat tekan, penggunaan

100% agregat halus daur ulang menyebabkan penurunan kuat tekan sebesar 37,10%. Penurunan yang cukup tajam terjadi pada penggantian agregat muni dengan agregat halus daur ulang sebesar 20% yaitu 20,97%. Sedangkan untuk variasi 40%, 60% dan 80% masing-masing terjadi penurunan sebesar 27,42%, 29,03% dan 32,26%.

Hal serupa juga terjadi pada pengujian modulus elastisitas beton. Akibat penggantian agregat halus alami dengan agregat halus daur ulang nilai modulus elastisitas beton juga mengalami penurunan. Hal ini berbanding lurus dengan kuat tekannya yang juga menurun dari variasi 20% sampai 100%. Pada beton berkinerja tinggi selisih penurunan modulus elastisitasnya cenderung stabil dari variasi 20% sampai 100 %.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

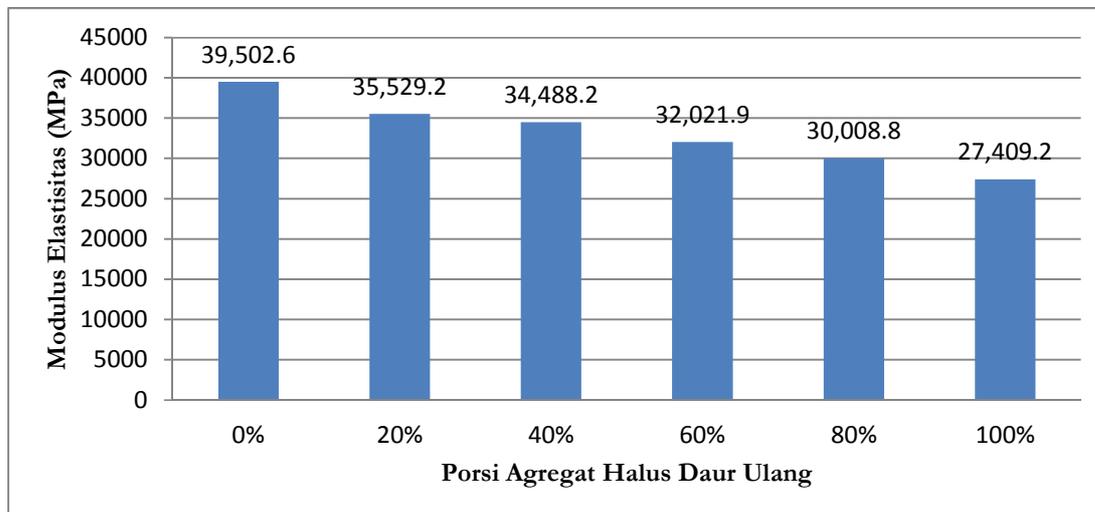
Benda uji	P maks (kN)	f <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>c</sub> rerata (MPa)	Persentase Penurunan (%)
BKT0a	420	86.89		
BKT0b	380	78.61	85.51	-
BKT0c	440	91.02		
BKT20a	320	66.20		
BKT20b	320	66.20	67.58	20.97
BKT20c	340	70.34		
BKT40a	280	57.92		
BKT40b	300	62.06	62.06	27.42
BKT40c	320	66.20		
BKT60a	260	53.79		
BKT60b	280	57.92	60.68	29.03
BKT60c	340	70.34		
BKT80a	280	57.92		
BKT80b	280	57.92	57.92	32.26
BKT80c	280	57.92		
BKT100a	240	49.65		
BKT100b	320	66.20	53.79	37.09
BKT100c	220	45.51		



Gambar 4. Kuat tekan pada berbagai variasi kandungan agregat daur ulang

Tabel 5. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Benda uji	Ec Perhitungan (MPa)	Ec rerata (MPa)	Persentase Penurunan (%)
BK'T0a	48493.49		
BK'T0b	46285.74	49045.47	-
BK'T0c	52357.19		
BK'T20a	45550.51		
BK'T20b	34771.15	41827.78	14.72
BK'T20c	45161.69		
BK'T40a	35191.95		
BK'T40b	35617.49	38127.85	22.26
BK'T40c	43574.12		
BK'T60a	29781.82		
BK'T60b	32836.62	34689	29.27
BK'T60c	41448.57		
BK'T80a	30517.70		
BK'T80b	28196.91	30008.77	38.81
BK'T80c	31311.69		
BK'T100a	28742.74		
BK'T100b	34775.87	27739.97	43.44
BK'T100c	19701.29		



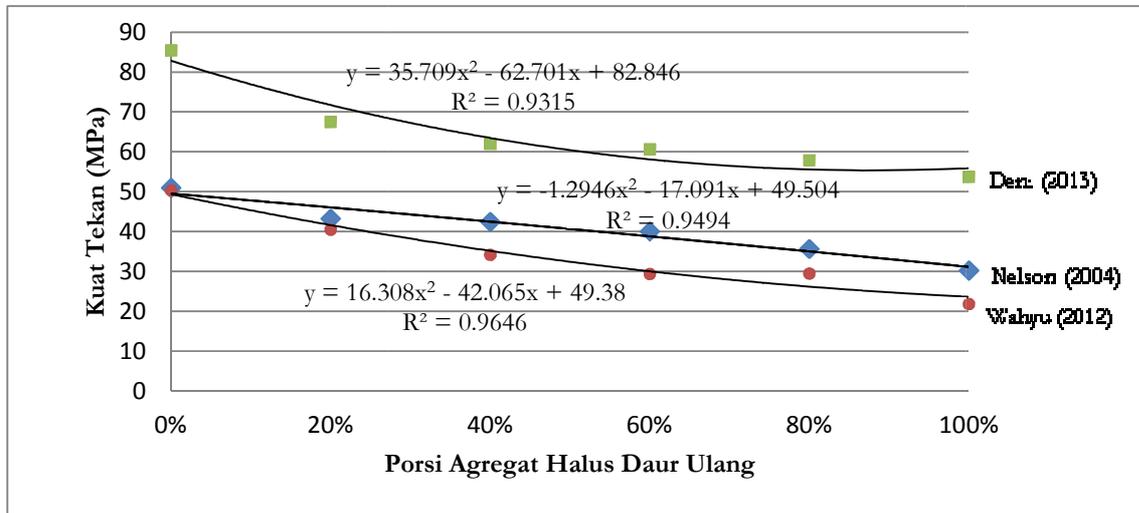
Gambar 5. Modulus elastisitas pada berbagai variasi kandungan agregat daur ulang

### Pembahasan Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Dari masing-masing sampel dapat dilihat adanya tren penurunan kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi pada umur 28 hari akibat pengaruh penggunaan agregat halus daur ulang. Hal ini telah diprediksikan di awal, karena karakteristik dari agregat halus daur ulang dari limbah beton dan mortar sendiri yang di bawah standard kualitas agregat alami. Dari hasil pengujian bahan dapat dilihat bahwa agregat halus daur ulang memiliki berat jenis yang terlalu rendah, absorpsi yang terlalu tinggi serta kontaminasi kotoran yang masih menempel pada permukaan agregat. Penurunan kuat tekan dan modulus elastisitas beton akibat pengaruh agregat daur ulang juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Wahyu (2012) dan Nelson (2004). Dalam penelitian tersebut terjadinya penurunan yang signifikan dari dari ratio substitusi 0 % ke 20 % yaitu sekitar 19,47% (Wahyu, 2012) dan 15,10% (Nelson, 2004), sedangkan dalam penelitian ini menunjukkan hal yang tidak jauh berbeda yaitu dari rasio

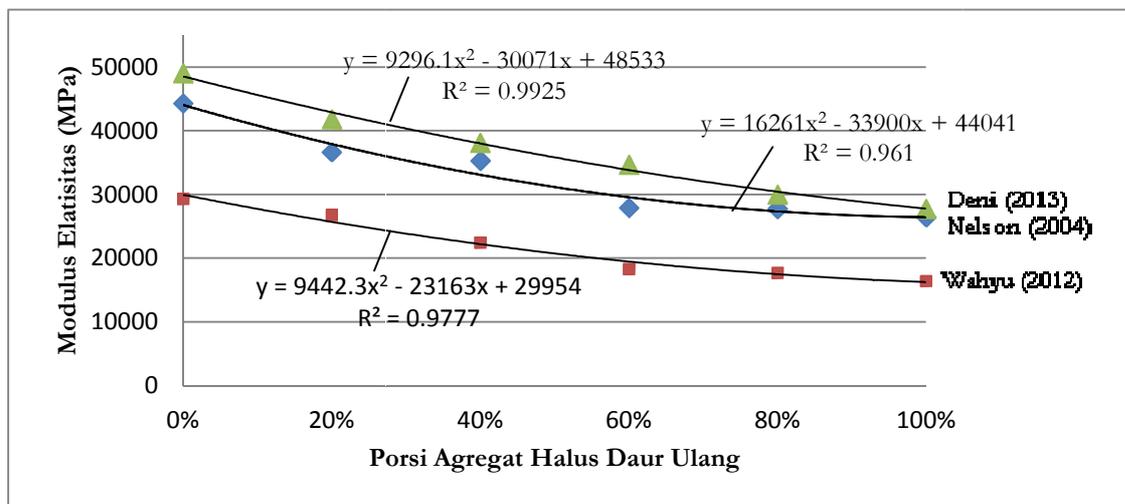
substitusi 0% ke 20% terjadi penurunan sebesar 20,97% dan mengalami penurunan pada ratio substitusi berikutnya. Ini menunjukkan bahwa beton berkinerja tinggi yang dalam pekerjaan pencampuran menggunakan FAS yang rendah tidak didukung dengan agregat halus daur ulang yang memiliki absorpsi yang cukup tinggi sehingga beton menjadi kurang *workable* dan berdampak pada sulitnya pemadatan.

Kecenderungan penurunan kuat tekan akibat penggunaan agregat daur ulang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kecenderungan penurunan kuat tekan akibat pergantian agregat alam oleh agregat daur ulang

Penurunan juga terjadi terhadap nilai modulus elastisitasnya. Penurunannya terjadi seiring dengan penurunan kuat tekannya. Sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 4.12.



Gambar 7. Kecenderungan penurunan modulus elastisitas akibat pergantian agregat alam oleh agregat daur ulang

Dalam penelitian ini penurunan kuat tekan berkisar antara 21% - 38% akibat pengaruh agregat halus daur ulang. Sedangkan modulus elastisitasnya terjadi penurunan berkisar antara 15% - 44%. Penurunan ini dimungkinkan terjadi karena absorpsi agregat yang terlalu tinggi sehingga proses hidrasi semen tidak bisa berjalan dengan sempurna. Selain itu luasnya permukaan agregat yang terselimuti mortar lama juga menyebabkan daya ikat antar agregat akan berkurang sehingga menurunkan kekuatannya.

## SIMPULAN

Kesimpulan dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pemakaian agregat halus daur ulang sebagai pengganti agregat halus alami memberikan pengaruh penurunan yang cukup besar terhadap kuat tekan pada beton berkinerja tinggi *grade* 80. Hal ini tidak terlepas dari mortar yang terkandung pada agregat halus daur ulang, absorpsi yang tinggi serta kontaminasi kotoran atau debu

yang menempel pada agregat halus daur ulang. Dosis pergantian agregat halus daur ulang terkecil dalam penelitian ini sebesar 20% dari berat agregat halus alami. Dari dosis 20% tersebut memberikan kuat tekan sebesar 67,58 MPa dan cenderung mengalami penurunan di setiap dosis pergantian agregat alam oleh agregat daur ulang berikutnya yaitu 40% ( $f_c' = 62,06$  MPa), 60% ( $f_c' = 60,68$  MPa), 80% ( $f_c' = 57,92$  MPa), 100% (53,79 MPa).

- b. Nilai modulus elastisitas beton berkinerja tinggi dengan agregat halus daur ulang juga mengalami penurunan seiring dengan penurunan kuat tekan beton. Didapat persamaan nilai modulus elastisitas dari penelitian beton berkinerja tinggi *grade* 80 dengan agregat halus daur ulang sebesar  $E_c = 4621\sqrt{f_c'}$  dan lebih kecil dari nilai modulus elastisitas beton (*ACI* 318 1989) yaitu sebesar  $E_c = W_c^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f_c'}$

## REKOMENDASI

Saran yang dapat kami berikan untuk menindaklanjuti hasil penelitian ini adalah

- Perlu diupayakan untuk mendapatkan formulasi yang tepat (*flow chart*) didalam membuat *mix design* untuk beton kinerja tinggi
- Campuran kering bahan penyusun beton perlu diupayakan lebih tercampur merata sebelum air dan *superplasticizer* dimasukkan kedalam campuran.
- Kadar air yang terkandung didalam *superplasticizer* perlu diperhitungkan untuk menentukan besar kecilnya fas.
- Perlu dilakukan pengujian *setting time* pada *fresh concrete*.
- Perlu dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui pola struktur bagian didalam beton.

## REFERENSI

- As'ad, Sholihin dan Safitri, Endah., *Compressing Strength of Concrete using Recycled Aggregate From Concrete and Masonry Debris*, Proceedings of the 4th ASEAN Civil Engineering Conference, Yogyakarta, 2011.
- Hardjasaputra, Harianto, Joey Tirtawijaya dan S. Giovanni Tandaju, *The Recent Development of Ultra High Performance Concrete (UHPC) in Indonesia*, Internasional Conference of EACEF ( *European Asian Civil Engineering Forum* ) B 111-116, Univ. Atma Jaya Yogyakarta, 2011.
- Hardjasaputra, Harianto, A. Ciputera dan F. Sutanto, *Pengaruh Penggunaan Limbah Konstruksi Sebagai Agregat Kasar dan Agregat Halus Pada Kuat Tekan Beton Daur Ulang*. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 2 (KonTekS2), Univ. Atma Jaya Yogyakarta, pp. 433-445, 2008.
- Martanto, W.T, *Pengaruh Komposisi Agregat Halus Daur Ulang terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Normal dan Beton Mutu Tinggi*, Skripsi, Universitas Negeri Sebelas Maret, 2012.
- Nelson, Shing Chai NGO, *High strength Structural Concrete with Recycled Aggregates*, Dissertation, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, 2004.
- Solyman, Mahmoud., *Classification of Recycled Sands and their Applications as Fine Aggregates for Concrete and Bituminous Mixtures*. Thesis. Kassel University. 2005.