

UJI EKSPERIMENTAL KUAT TEKAN BETON DAUR ULANG DENGAN BAHAN TAMBAH ABU TERBANG (FLY ASH) DAN SERBUK KACA SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN

Meri Apsari Punusingon

Banu D. Handono, Ronny Pandaleke

Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado

Email: meripunusingon@yahoo.com

ABSTRAK

Penggunaan material daur ulang merupakan salah satu usaha memanfaatkan limbah yang ada sekaligus meminimalkan jumlah limbah konstruksi dan limbah batubara. Tujuan penelitian untuk mendapatkan berapa proporsi yang tepat serta mengetahui nilai kuat tekan beton yang optimum dengan penambahan fly ash dan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton. Jumlah benda uji 36 buah silinder berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dengan 3 benda uji untuk setiap variasi. 5 variasi untuk Fly ash terdiri dari 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. 7 variasi untuk serbuk kaca yaitu 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10.5%, 12.5%, dan 15%. Perencanaan campuran beton menggunakan Metode ACI 211.1-91 yang dimodifikasi. Pengujian kuat tekan diuji pada umur beton 28 hari. Hasil pemeriksaan agregat dari pecahan limbah beton didapat keausan agregat kasar 34.4% dengan absorsi sebesar 8.52% dan 12.74% untuk agregat halus. Beton dengan menggunakan agregat buatan dari pecahan limbah beton tergolong beton normal dengan berat volume beton berkisar 2021.23 kg/m^3 - 2061.57 kg/m^3 . Kuat tekan optimum pada fly ash 20% sebesar 18.61 MPa. Variasi C dengan proporsi 20% fly ash dan 5% serbuk kaca menghasilkan nilai kuat tekan optimum sebesar 16.93 MPa. Dengan adanya penambahan serbuk kaca 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% dan 15% kuat tekan beton meningkat sampai penambahan 5% serbuk kaca. Namun kuat tekan menurun seiring dengan penambahan serbuk kaca 7.5%, 10%, dan 12.5% kemudian naik pada 15% serbuk kaca.

Kata kunci: beton daur ulang, fly ash, serbuk kaca, kuat tekan.

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur saat ini mengalami peningkatan yang signifikan. Pembangunan infrastruktur baru tidak hanya dilakukan pada lahan-lahan yang masih kosong saja tetapi dilakukan juga pembangunan infrastruktur baru untuk menggantikan infrastruktur lama. Dampak dari pembangunan infrastruktur baru menggantikan infrastruktur lama adalah munculnya limbah konstruksi dan meningkatkan penggunaan agregat sehingga sumber daya alam menjadi terbatas.

Limbah konstruksi yang dihasilkan jumlahnya beragam tergantung jenis bangunan yang dihancurkan, limbah konstruksi ini menyebabkan masalah lingkungan sehingga membutuhkan penanganan berupa pengelolaan yang tepat. Hasil dari bangunan infrastruktur lama sangat beragam, mulai dari campuran beton hingga kayu, logam sisa tulangan, dan kaca.

Penanganan limbah puing bangunan juga beragam sesuai dengan material tersebut. Secara umum pengelolaan sampah puing bangunan, jika merujuk dari pengelolaan di negara-negara maju, ada empat jenis yaitu reuse, recovery, recycling, dan landfilling (Teresa Janine Paul 1997).

Perkembangan teknologi beton yang meningkat dari waktu ke waktu dan banyaknya pengguna beton dalam bidang konstruksi membuat upaya untuk menciptakan mutu beton yang baik dan ekonomis. Upaya tersebut tentu tidak lepas dari adanya inovasi-inovasi yang ingin menciptakan beton baru, inovasi untuk menciptakan beton baru memunculkan suatu gagasan yaitu dengan memanfaatkan benda-benda tak habis pakai (limbah) yang menumpuk tetapi tidak semua limbah dapat dimanfaatkan untuk membuat campuran beton.

Indonesia merupakan Negara penghasil batubara terbesar ke-2 di dunia setelah China

dengan jumlah cadangan batubara yang besar pula. Hal ini dapat menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap lingkungan. Dengan memanfaatkan *fly ash* dapat berpengaruh baik terhadap lingkungan, sehingga salah satu alternatif yang dapat dilakukan dari pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) yaitu dengan mencampurkannya pada campuran beton.

Kebutuhan semen yang tinggi pada pembuatan beton mutu tinggi adalah salah satu latar belakang yang menjadi sorotan permasalahan pada industri konstruksi saat ini. Telah diketahui bahwa pemakaian semen yang berlebihan merupakan salah satu hal yang membuat global warming. Maka dari itu pemanfaatan kembali limbah sebagai pengganti penggunaan semen sangat diperlukan.

Selama beberapa tahun terakhir ini, telah diadakan penelitian untuk mengembangkan penggunaan limbah-limbah yang masih bisa digunakan untuk bahan campur dalam adukan beton. Pemanfaatan limbah serbuk kaca untuk digunakan kembali (re-use) merupakan salah satu solusi penanganan limbah yang tepat. Salah satu usaha untuk mengatasi masalah tersebut adalah memanfaatkan limbah serbuk kaca sebagai powder.

Limbah kaca biasanya hanya didaur ulang sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan nilai guna limbah kaca. Karena kandungan silikanya yang cukup tinggi, kaca dapat digunakan sebagai alternatif bahan pembuatan beton. Kaca memiliki ketahanan terhadap abrasi serta ketahanan terhadap cuaca atau serangan kimia yang baik.

Daur ulang merupakan salah satu cara yang digunakan untuk meminimalkan jumlah sampah yang ada sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomisnya menjadi barang-barang yang berguna. Daur ulang merupakan proses untuk mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan lahan, dan emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan proses pembuatan barang baru. Material yang bisa didaur ulang terdiri dari sampah konstruksi beton, kaca, plastik, kertas, logam, tekstil, dan barang elektronik.

Beton daur ulang merupakan campuran yang diperoleh dari proses ulang material sejenis sebelumnya. Beberapa perbedaan

kualitas, sifat-sifat fisik dan kimia agregat daur ulang, menyebabkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan. Antara lain menurunnya kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitasnya.

Untuk memperbaiki sifat-sifat beton daur ulang dapat dilakukan dengan beberapa cara. Salah satu cara adalah dengan memberikan bahan tambah serbuk kaca dan *fly ash* pada waktu pelaksanaan pencampuran beton. Bahan tambah digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton daur ulang tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen. (Handy Yohanes Karwur, 2013). Nilai kuat tekan pada umur beton 28 hari untuk kaca 6%, kaca 8% dan kaca 10% mengalami peningkatan terhadap kaca 0% tetapi, nilai kuat tekan beton pada variasi berikutnya yaitu pada kaca 12% dan kaca 15% mengalami penurunan. Nilai kuat tekan optimum didapat pada variasi kaca 10% yaitu 31,1 MPa.

Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Penganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisita. (Soelarso, Baehaki, dan Nur Fatah Sidik, 2016). Penelitian ini merencanakan beton normal dengan kuat tekan yang ditargetkan adalah 25 MPa dan menggunakan slump 30-60 mm serta menggunakan Portland Pozzolan Cement (PPC). Penggunaan proporsi agregat limbah dalam penelitian ini adalah 25%, 50%, 75% dan 100 % dari berat total agregat alami dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan limbah beton, semakin besar penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Proporsi paling optimum dari penelitian ini adalah proporsi limbah 25%. Variabilitas kualitas limbah mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan dan cenderung menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas.

Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton (Alfian Hendri Umboh,

2014). Berdasarkan hasil pengujian, penambahan persentase abu terbang (fly ash) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada presentase abu terbang (fly ash) 30% yaitu sebesar 24,18 MPa untuk umur beton 28 hari. Dan nilai kuat tekan terendah pada presentase abu terbang (fly ash) 70% yaitu sebesar 3,645 MPa untuk umur beton 7 hari.

LANDASAN TEORI

Saat ini telah banyak dilakukan penelitian untuk penggunaan bahan material lain khususnya limbah padat yang dapat digunakan sebagai material pengganti pembentuk beton. Salah satu diantaranya yaitu penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat alam dari sisa bongkaran bangunan, sisa bangunan yang terbakar, sisa bangunan terkena gempa dan sisa beton siap pakai. Beton memiliki sifat dasar yang unik sehingga diperlukan pengetahuan yang cukup luas mengenai sifat bahan dasar terutama sifat bahan dasar dari agregat daur ulang. Agregat daur ulang ini memiliki sifat dasar yang berbeda dengan agregat alam sehingga perbedaan ini mengakibatkan perbedaan sifat beton yang dihasilkan. Limbah kaca serta limbah sisa pembakaran batu bara (*fly ash*) dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen.

Beton

Beton adalah bahan yang didapat dengan mencampurkan semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari.

Beton Daur Ulang

Beton agregat daur ulang adalah beton yang terbentuk dari agregat daur ulang yang berasal dari limbah beton sebagai pengganti agregat alam sebagian atau seluruhnya. Beberapa peneliti yang telah melakukan studi eksperimental terhadap beton daur ulang memberikan informasi tentang kekurangan dan kelemahan beton agregat daur ulang bila dibandingkan dengan beton agregat alam.

Disamping itu, informasi tentang beton agregat daur ulang juga masih sangat sedikit, sehingga penelitian lanjutan mengenai beton agregat daur ulang sangat diperlukan, agar para pengguna beton agregat daur ulang menjadi lebih yakin (Suharwanto, 2004).

Bahan Tambah

Bahan tambah bermanfaat sebagai pengganti keseluruhan atau sebagian material pembentuk beton. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi (Mulyono, 2003). Bahan tambahan biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit, dan harus dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton. Manfaat dari penggunaan bahan tambahan ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan dipakai di lapangan.

1. Serbuk Kaca

Unsur pokok dari kaca adalah silika (Setiawan, 2006). Ada beberapa kandungan kimia dalam kaca seperti Tabel 1. di bawah ini:

Tabel 1. Kandungan Serbuk Kaca

Unsur	Serbuk Kaca
SiO ₂	61.72 %
Al ₂ O ₃	3.45 %
F ₂ O ₃	0.18 %
CaO	2.59 %

Sumber: Hanafiah, (2011)

Bubuk kaca mempunyai kelebihan dibandingkan dengan bahan pengisi pori yang lainnya (Dian, 2011), yaitu:

1. Mempunyai sifat tidak menyerap air (zero water absorption) dapat mengisi rongga-rongga pada beton secara maksimal sehingga beton bersifat kedap air.
2. Serbuk kaca memperbaiki kandungan dari beton segar sehingga kekuatan yang tinggi dapat dicapai tanpa penggunaan superplasticizer.
3. Kaca tidak mengandung bahan berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia.

- Serbuk kaca yang baik mempunyai sifat pozzoland sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti semen dan filler yang dapat meningkatkan kuat tekan beton.

2. Fly Ash

Fly ash merupakan pozzolan yang dihasilkan ketika batubara dibakar dan merupakan partikel yang sangat kecil sehingga bisa melayang di udara. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan Alumina dimana bahan pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat seperti semen, akan tetapi dengan bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida (senyawa hasil reaksi antara semen dan air) pada suhu kamar membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat yang mempunyai sifat seperti semen

Untuk mengetahui presentase komposisi unsur-unsur yang terkandung *fly ash* asal PLTU Amurang diuji dengan Metode Analisis Gravimetrik, S.SA dan Spektrofotometer di Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado.

Tabel 2. Pengujian Bahan Pembentuk Fly Ash

No.	Parameter	Hasil Analisis (%)
1	SiO_2	36.23
2	Al_2O_3	6.25
3	Fe_2O_3	4.34
4	CaO	2.85
5	Na_2O	0.93
6	K_2O	0.14
7	MgO	0.49
8	P_2O_5	0.06
9	Air	0.52

Sumber: Manuahe, (2014)

Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990).

$$f'c = \frac{P}{A}$$

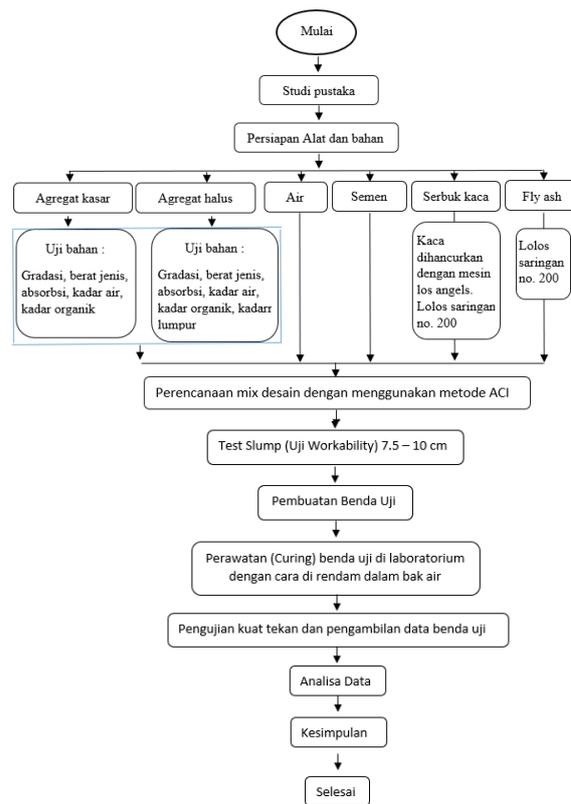
Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dalam percobaan ini akan dilakukan percobaan untuk mengetahui kekuatan beton. Agregat yang akan digunakan adalah agregat daur ulang dari sisa benda uji yang ada di Laboratorium Struktur dan Material Bangunan Fakultas Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado. Pengambilan agregat sisa benda uji ini dilakukan tanpa melihat kekuatan awal dari beton benda uji. Hal ini dilakukan karena ada penelitian yang pernah dilakukan bahwa kekuatan awal dari beton yang akan didaur ulang tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap kekuatan beton daur ulang. Komposisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100% menggunakan material agregat kasar dan agregat halus dari hasil daur ulang.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pekerjaan. Dimulai dari persiapan bahan, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dan pengujian benda uji. Semua pekerjaan dilakukan berpedoman pada peraturan/standar yang berlaku dengan penyesuaian terhadap kondisi dan fasilitas laboratorium yang ada.

Persiapan Material

1. Semen

Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I yaitu semen tonasa.

2. Air

Air yang digunakan dalam campuran beton diambil dari airsumur bor Fakultas Teknik Unsrat.

3. Agregat kasar

Berasal dari pecahan beton dari hasil penelitian-penelitian di Lab Struktur Unsrat dengan ukuran agregat 4.75 – 19 mm.

4. Agregat halus

Berasal dari pecahan beton dari hasil penelitian – penelitian di Lab struktur dengan ukuran agregat 0.15 – 4.75 mm.

5. Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash yang digunakan adalah fly ash tipe F dari PLTU Amurang. Diayak menggunakan ayakan no. 200. Kemudian fly ash yang lolos ayakan no. 200 digunakan dalam campuran beton

6. Serbuk Kaca

Pecahan kaca diambil dari sisa-sisa potongan kaca di tokoh dan dari pecahan gelas, kemudian dihancurkan menggunakan mesin Los Angeles. Diayak dengan menggunakan mesin pada ayakan no. 200. Serbuk kaca yang lolos ayakan no. 200 adalah yang digunakan.

Tahapan Penelitian di Laboratorium

1. Pemeriksaan agregat kasar, meliputi analisa saringan (ASTM C33), berat jenis dan penyerapan air (absorpsi), kadar air, berat volume, dan keausan (abrasi) dengan mesin *Los Angeles*.
2. Pemeriksaan agregat halus, meliputi analisa saringan (ASTM C33), berat jenis dan penyerapan air (absorpsi), kadar air, kadar lumpur, dan zat organik.
3. Benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 10/20 cm.
4. Pengujian slump untuk menentukan tingkat *workability*. Nilai slump 7.5 cm – 10 cm.
5. Perawatan (*curing*).
6. Menghitung berat volume beton.
7. Pemeriksaan kuat tekan pada umur beton 28 hari. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekan (compression test machine) standar pengujian SK-SNI M-14-1989-F dan ASTM C39.

Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji 36 buah silinder dengan d 10 cm dan t 20 cm. Pengujian kuat tekan untuk serbuk kaca terdiri dari 7 jenis campuran, dimana komposisi fly ash diambil nilai kuat tekan optimum antara 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% seperti pada Tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

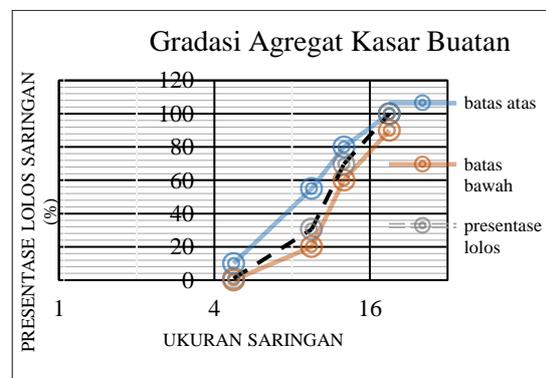
Pemeriksaan Material

Hasil pemeriksaan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3. sebagai berikut:

Tabel 3. Karakteristik Agregat Kasar Buatan

Jenis	Batu Pecah	
Asal	Pecahan Limbah Beton	
Ukuran Maksimum	19.0	Mm
Modulus Halus butiran	1.99	
<i>Bulk Specific Grafity OD</i>	2.04	
<i>Bulk Specific Grafity SSD</i>	2.22	
<i>Apparent Specific Grafity</i>	2.48	
Absorpsi Maksimum	8.52	%
Keausan (Abrasi)	34.4	%
Kadar Air	7.92	%
Berat Volume (<i>rodding</i>)	1.18	gr/cm ³
Berat Volume (<i>shoveling</i>)	1.09	gr/cm ³

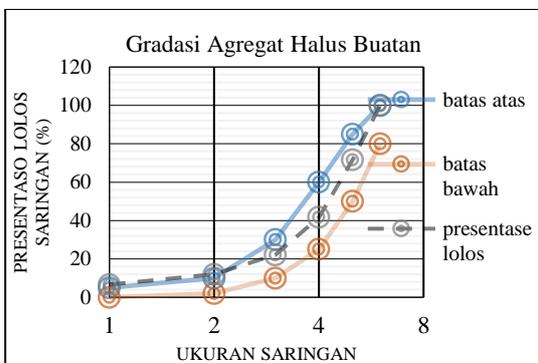
Daya serap (absorpsi) agregat kasar buatan dari pecahan limbah beton tinggi. Dari hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar memenuhi syarat, dimana agregat kasar buatan dari pecahan limbah beton berada diantara batas atas dan batas bawah. Sehingga agregat buatan ini dapat digunakan dalam campuran beton.



Gambar 2. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar dari Pecahan Limbah Beton

Tabel 4. Karakteristik Agregat Halus Buatan

Jenis	Pasir	
Asal	Pecahan Limbah Beton	
Ukuran Maksimum	4.75	mm
Modulus Halus Butiran	3.46	
Bulk Specific Gravity OD	1.93	
Bulk Specific Gravity SSD	2.17	
Apparent Specific Gravity	2.56	
Absorpsi Maksimum	12.74	%
Kadar Air	6.59	%
Zat Organik (no. pembanding)	1	
Kadar Lumpur	3.82	%
Presentase Endapan Lumpur	5.19	



Gambar 3. Hasil Analisa Saringan Agregat Halus dari Pecahan Limbah Beton

Agregat halus dari pecahan limbah beton yang digunakan dalam campuran beton memiliki daya serap (absorpsi) yang tinggi dan tergolong agregat halus tipe I (pasir kasar) berdasarkan hasil pemeriksaan analisa saringan.

Metode Campuran Beton

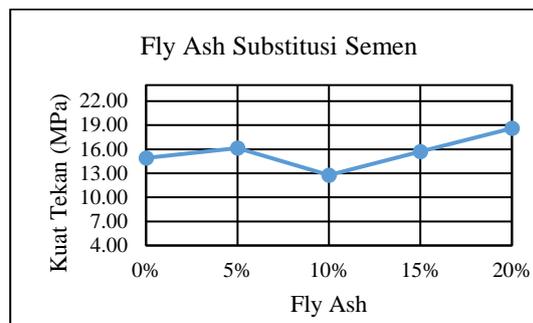
Perencanaan campuran beton menggunakan Metode ACI 211.1-91 yang dimodifikasi, didapat komposisi sebagai berikut seperti pada Tabel 6.

Tabel 5. Komposisi Campuran dengan fly ash sebagai substitusi parsial semen (3 silinder)

Fly Ash Substitusi Parsial Semen						
Material (kg)	FAS	0%	5%	10%	15%	20%
Agregat Kasar	0.55	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96
Agregat Halus	0.55	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94
Air	0.55	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Semen	0.55	2.11	2.00	1.90	1.79	1.35
Fly Ash	0.55	0	0.11	0.21	0.32	0.76

Tabel 6. Pengujian kuat tekan dengan fly ash sebagai substitusi parsial semen.

Variasi	0%	5%	10%	15%	20%
Berat (kg)	3.23	3.18	3.17	3.16	3.16
P (kN)	117.17	126.91	100.30	123.22	146.11
Kuat Tekan (MPa)	14.93	16.17	12.78	15.70	18.61



Gambar 4. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton dengan Variasi Fly Ash pada Umur 7 hari

Kuat tekan dengan bahan tambah fly ash sebagai substitusi parsial semen pada umur 7 hari optimum pada variasi 20% fly ash sebesar 18.61. Untuk proporsi selanjutnya digunakan kadar fly ash 20% dan variasi serbuk kaca 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, dan 15%.

Tabel 7. Variasi Campuran

Kode	Fly Ash	Serbuk Kaca	Semen
A	20%	0%	80 %
B	20%	2.5%	77.5 %
C	20%	5%	75 %
D	20%	7.5%	72.5 %
E	20%	10%	70 %
F	20%	12.5%	67.5 %
G	20%	15%	65 %

Tabel 8. Komposisi Campuran Beton (6 silinder)

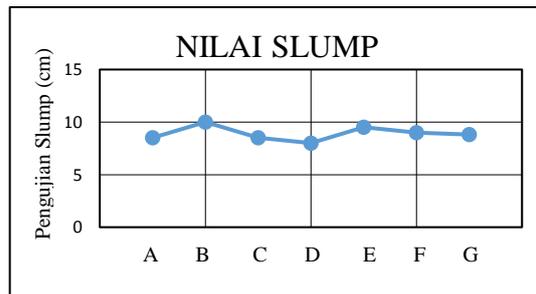
Fly Ash 20%							
Material (kg)	0%	2.5%	5%	7.5%	10%	12.5%	15%
agregat kasar	7.92	7.92	7.92	7.92	7.92	7.92	7.92
agregat halus	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16
Air	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82
fly ash	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Semen	3.04	2.96	2.89	2.81	2.74	2.66	2.58
serbuk kaca	0	0.08	0.15	0.23	0.30	0.38	0.46

Pemeriksaan Nilai Slump dan Nilai FAS

Nilai *slump* yang bervariasi antara 7.5 cm sampai 10 cm dipengaruhi oleh kondisi kadar air dan penyerapan (absorpsi) agregat yang tidak seragam. Untuk mempertahankan nilai *slump* rencana, dilakukan koreksi dengan memberikan penambahan air pada campuran beton. uji *slump* mengacu pada SNI 03-1972-2008. Hasil pemeriksaan slump untuk masing-masing campuran beton dapat dilihat dalam Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Slump pada tiap campuran

Variasi Campuran	Nilai Slump (cm)	Penambahan Air untuk Volume Campuran Beton $0.0113 m^3$
A	8.5	0.36
B	10	0.38
C	8.5	0.10
D	8	0.20
E	9.5	0.29
F	9	0.28
G	8.8	0.20



Gambar 5. Perbandingan Nilai Slump antar Variasi

Dalam pemeriksaan pengujian slump ada dua tipe slump yaitu slump geser (terjadi apabila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir ke bawah pada bidang miring) dan slump runtuh (terjadi bila kerucut runtuh semuanya) dapat dilihat pada Gambar 6.

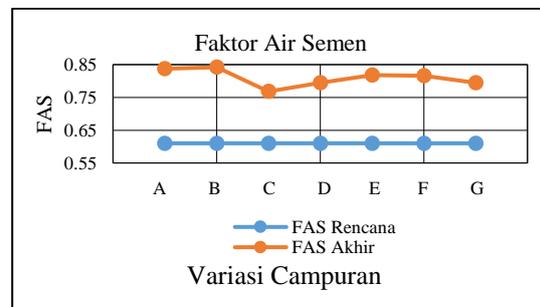


Gambar 6. (a) Slump Geser, (b) Slump Runtuh

Penambahan air menaikkan nilai faktor air semen. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai FAS Rencana dan FAS Akhir

Variasi	FAS Rencana	Penambahan Air untuk Volume Campuran Beton $0.0113 m^3$	FAS Akhir
A	0.61	0.36	0.837
B	0.61	0.38	0.842
C	0.61	0.10	0.768
D	0.61	0.20	0.795
E	0.61	0.29	0.818
F	0.61	0.28	0.816
G	0.61	0.20	0.795



Gambar 7. Perbandingan Nilai FAS Awal dan FAS Akhir

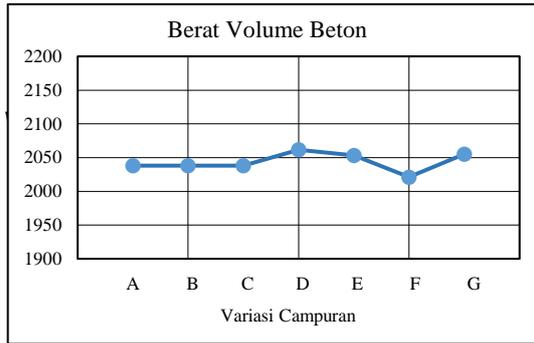
Berat Volume Beton

Berat volume beton dihitung sebelum diadakannya pembebanan terhadap benda uji silinder. Dari hasil pemeriksaan berat volume beton untuk beton daur ulang termasuk dalam kategori beton normal. Hasil pemeriksaan berat volume rata-rata dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Rata-rata Pemeriksaan Berat Volume Umur Beton 28 hari.

Variasi	Volume Cetakan (m^3)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (kg/m^3)
A	0.00157	3.20	2038.22
B	0.00157	3.20	2038.09
C	0.00157	3.20	2038.09
D	0.00157	3.24	2061.57
E	0.00157	3.22	2053.08
F	0.00157	3.17	2021.23
G	0.00157	3.23	2055.20

PENUTUP



Gambar 8. Perbandingan berat volume beton tiap variasi

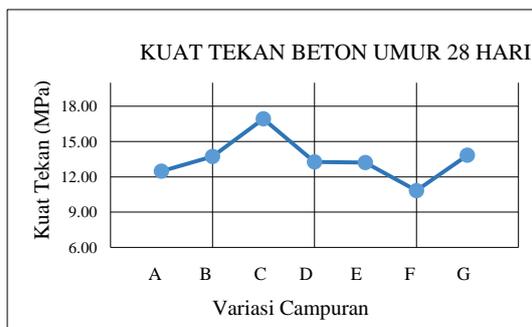
Dari hasil pemeriksaan berat volume beton dengan menggunakan agregat daur ulang (pecahan limbah beton) didapat berat volume beton antara 2021.23 kg/m³ - 2061.57 kg/m³ sesuai klasifikasi SNI 03-2847-2002 termasuk dalam kategori beton normal.

Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton daur ulang yang optimum pada 20% fly ash dan 5% serbuk kaca sebesar 16.93 MPa. Hasil pengujian kuat tekan beton daur ulang dapat dilihat pada Tabel 12. atau pada Gambar 9.

Tabel 12. Rata-rata Nilai Kuat Tekan Beton pada Umur 28 hari

Variasi	Kuat Tekan (MPa)	Presentase Kuat Tekan terhadap 0% Serbuk Kaca
A	12.48	100
B	13.73	110.02
C	16.93	135.66
D	13.27	106.33
E	13.22	105.93
F	10.83	86.78
G	13.85	110.98



Gambar 9. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton pada Umur beton 28 hari

Kesimpulan

1. Penggunaan agregat buatan dari pecahan limbah beton dalam campuran beton menghasilkan nilai faktor air semen yang tinggi berkisar 0.768 – 0.842 sehingga nilai kuat tekan rendah, hal ini dikarenakan penyerapan (absorpsi) agregat yang tinggi untuk agregat kasar 8.52% dan 12.74% untuk agregat halus.
2. Agregat dari pecahan limbah beton memenuhi syarat sebagai bahan material pembentuk beton dengan keausan (abrasi) agregat kasar sebesar 34.4%. Pengujian analisa saringan agregat halus buatan tergolong jenis pasir kasar (tipe 1) dalam SNI 03-2834-2000.
3. Berat volume beton dengan menggunakan agregat buatan (pecahan dari limbah beton) berkisar 2021.23 kg/m³ - 2061.57 kg/m³ tergolong kategori beton normal dalam SNI 03-2847-2002.
4. Pengujian kuat tekan beton daur ulang dengan fly ash sebagai pengganti sebagian semen menghasilkan nilai kuat tekan optimum pada 20% fly ash sebesar 18.61 MPa.
5. Dengan adanya penambahan serbuk kaca 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% dan 15% kuat tekan beton meningkat sampai penambahan 5% serbuk kaca. Namun seiring dengan penambahan serbuk kaca 7.5%, 10%, 12.5%, dan 15% hanya menurunkan nilai kuat tekan.
6. Variasi C dengan kadar 20% fly ash dan 5% serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen menghasilkan nilai kuat tekan yang optimum sebesar 16.93 MPa dan kuat tekan terendah pada variasi F (20% fly ash, 12.5% serbuk kaca

Saran

Dari uraian di atas berdasarkan pembahasan dan hasil penelitian ternyata masih banyak kekurangan dalam penelitian ini, perlu melakukan penelitian lebih lanjut di laboratorium untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi diperlukan saran-saran yang bersifat membangun seperti yang disebutkan sebagai berikut:

1. Untuk menggunakan agregat dari pecahan limbah beton sebaiknya dalam

- perencanaan campuran beton direncanakan FAS yang kecil.
2. Masih perlu melakukan penelitian lanjut tentang beton daur ulang mutu tinggi.
 3. Melakukan lebih lanjut pengujian sifat-sifat mekanik beton selain kuat tekan.
 4. Memperbanyak benda uji untuk setiap variasi untuk mendapatkan nilai rata-rata yang tepat dan sesuai.
 5. Melakukan penelitian lebih lanjut serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen dengan menggunakan berbagai macam jenis kaca dalam campuran beton.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 211.1-91, *Standard Practice for selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.

ASTM C 33-03, 2002. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Annual Books of ASTM Standards. USA.

ASTM C-39, 2002. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*. Annual Books of ASTM Standards. USA.

Badan Standarisasi Nasional, 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton SNI 03-1974-1990*. Yayasan LPMB. Bandung.

Badan Standarisasi Nasional, 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SNI 03-2834-2000*. ICS. Bandung.

Badan Standarisasi Nasional, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*. Yayasan LPMB. Bandung.

Badan Standarisasi Nasional, 2008. *Cara Uji Slump Beton SNI 03-1972-2008*. Yayasan LPMB. Bandung.

Dian, 2011. *Jenis-Jenis Kaca dan Aplikasinya*, Teknik Industri. <http://www.kompasiana.com/diansudianto/5500695b8133119fa78b7/jenis-kaca-dan-aplikasinya>.

Hanafiah, N., 2011. *Pengaruh Penambahan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan Variasi 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap Kuat Tekan dan Nilai Slump*. Yogyakarta.

Karwur Handy Yohanes., 2013. *Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen*. Jurnal Sipil Statik Vol. 1, 276-281.

Manuahe, Riger., 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. Jurnal Sipil Statik Vol. 2, 277-282.

Mulyono, T., 2003. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta..

Setiawan, B., 2006. *Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca pada Beton Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Shrinkage*. Universitas Kristen Petra. Surabaya.

Soelarso, Beahaki, dan Nur Fatah Sidik., 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas*. Jurnal Fondasi Vol. 5.

- Suharwanto, 2004. *Perilaku mekanik Beton Agregat Daur Ulang: Aspek Material-Struktural*. Institut Teknologi Bandung.
- Sumajouw, M. D. J., Dapas, S. O., Windah, R. S., 2014. *Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*, Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol. 4. No. 4. Unsrat Manado
- Teresa Janine Paul. 1997. *Sustainability in Practice: Reducing Contruction Waste ini the Ontario Residential Contruction Industry*. Ontario.
- Umboh Alfian Hendri., 2014. *Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Sipil Statik Vol.2, 352-358.