



## Kuat Tekan Beton Substitusi Agregat Kasar Daur Ulang dan Bahan Tambah Tipe F *Super Plasticizer*

Aprizal Fauzi<sup>1</sup>, Eko Walujodjati<sup>2</sup>

Jurnal Konstruksi  
Institut Teknologi Garut  
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia  
Email : [jurnal@itg.ac.id](mailto:jurnal@itg.ac.id)

<sup>1</sup>1611044@itg.ac.id  
<sup>2</sup>eko.walujodjati@itg.ac.id

**Abstrak** – Beton agregat kasar daur ulang (*Recycled Concrete Agregate, RCA*) merupakan beton dengan bahan campuran limbah dari penghancuran beton yang sudah ada sebagai pengganti agregat kasar alam, sehingga dapat mengurangi penggunaan agregat kasar alam yang berlebihan dan dapat berdampak pada lingkungan. Berdasarkan hal tersebut timbul ide memakai limbah beton sebagai substitusi agregat kasar daur ulang (*Recycled Concrete Agregate, RCA*) dengan persentase 20%, 40%, 60% dan 80% dengan  $f_c' = 20$  Mpa. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kuat tekan beton substitusi agregat kasar daur ulang yang menggunakan bahan tambah Tipe F (*Super Plasticizer*) sebanyak 30 ml setiap campurannya. Benda uji berjumlah 15 benda uji silinder dengan masing-masing 3 benda uji setiap campurannya. Agregat kasar daur ulang berasal dari limbah beton pengujian laboratorium Sekolah Tinggi Teknologi Garut dengan mutu yang berbeda-beda. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 14 hari. Hasil dari penelitian menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata disetiap campurannya yaitu 8,12 Mpa untuk beton normal, 7,64 Mpa untuk substitusi agregat kasar daur ulang 20% + SP, 7,74 Mpa untuk substitusi agregat kasar daur ulang 40% + SP, 8,49 Mpa untuk substitusi agregat kasar daur ulang 60% + SP, dan 6,79 Mpa untuk substitusi agregat kasar daur ulang 80% + SP.

**Kata Kunci** – Agregat Kasar Daur Ulang; Bahan Tambah Tipe F; Beton, Kuat Tekan; *Super Plasticizer*.

### I. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Beton merupakan bahan bangunan yang paling banyak digunakan pada dunia modern ini. Bangunan yang terbuat dari beton antara lain gedung, jalan raya, jembatan, jalan kereta api, bendungan, pipa saluran, pondasi, dan lain-lain [1]. Beton mempunyai perilaku yang spesifik yaitu memiliki kuat terhadap tekan. komposisi campuran agregat, air dan semen sangat perlu diperhatikan dalam pembuatan beton agar kuat tekan beton tersebut sesuai dengan yang direncanakan.

Agregat adalah salah satu bahan material pembentuk beton yang mempunyai komposisi terbesar dalam campuran beton, banyaknya jumlah penggunaan beton di dalam konstruksi mengakibatkan adanya peningkatan kebutuhan material beton, hingga memicu penambangan batuan sebagai salah satu bahan pembentuk beton secara besar-besaran. Hal ini menyebabkan turunnya jumlah sumber alam yang tersedia bagi keperluan pembeconan.[2] Disisi lain ada beberapa bangunan tua yang paksa dibongkar karena bangunan tersebut perlu diperbaharui, mengalami kerusakan, atau tidak layak lagi ditempati. Permasalahan tersebut mendorong peneliti

untuk memanfaatkan atau mendaur ulang limbah sisa beton yang dihasilkan dari suatu aktifitas pembongkaran atau pengadaan konstruksi sebagai agregat alternatif yang dapat menggantikan sebagian atau seluruh agregat alam dalam campuran beton.

Namun beberapa penelitian dan penjelasan sebelumnya mengenai agregat kasar daur ulang cenderung menyatakan bahwa agregat kasar daur ulang kurang baik untuk digunakan pada beton struktur. Menanggapi pernyataan tersebut, peneliti menambahkan penggunaan zat kimia Tipe F (*super plasticizer*) ke dalam campuran beton yang menggunakan agregat kasar daur ulang yang diharapkan dapat menambah kekuatan beton tersebut [3].

*Super plasticizer* merupakan bahan kimia tambahan pengurangan air yang sangat efektif. Kelebihan pemakaian bahan tambahan ini antara lain mampu mengurangi jumlah pemakaian air hingga 40%, meningkatkan kelancaran pengaliran pada adonan beton, membuat semen dan mortar menjadi lebih padat serta mengurangi penyusutan dan tetesan pada beton [4],[5].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kuat beton substitusi agregat kasar daur ulang yang ditambahkan bahan Tipe F (*Super Plasticizer*) serta diharapkan adanya penambahan [6] *super plasticizer* itu bisa menambah kuat tekan beton dengan agregat kasar daur ulang yang dimana pada penelitian-penelitian sebelumnya hampir semua menyatakan agregat kasar daur ulang tidak cocok digunakan pada bangunan struktur dikarenakan kuat tekannya yang rendah [7].

Rumusan masalah yang menjadi acuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kekuatan tekan beton dengan menggunakan substitusi agregat kasar daur ulang dan bahan tambah Tipe F (*Super Plasticizer*) pada mutu rencana  $f_c' = 20$  MPa?
2. Bagaimana hasil perbandingan setiap campuran substitusi agregat kasar murni dengan agregat kasar daur ulang yang ditambah bahan Tipe F (*Super Plasticizer*)?

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui dan menganalisa data kekuatan tekan beton dengan menggunakan substitusi agregat kasar daur ulang dan bahan tambah Tipe F (*Super Plasticizer*) pada mutu rencana  $f_c' = 20$  MPa.
2. Mengetahui hasil perbandingan setiap campuran substitusi agregat kasar murni dengan agregat kasar daur ulang yang ditambah bahan Tipe F (*Super Plasticizer*).

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Beton

Beton merupakan bahan komposit yang cukup rumit, terdiri dari agregat berfungsi sebagai bahan pengisi (filler) dan pasta semen berfungsi sebagai bahan pengikat (binder) [8]. komposisi campuran beton terdiri dari agregat, air dan semen yang sangat perlu diperhatikan agar kekuatan beton tersebut sesuai dengan yang direncanakan [9]. Beton merupakan salah satu material yang banyak digunakan pada struktur bangunan sipil mempunyai perilaku yang spesifik yaitu memiliki kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik.

Berdasarkan fungsi dan kegunaannya, jenis beton dapat dibedakan menjadi 10 macam, yaitu:

- Beton Mortar
- Beton Ringan
- Beton Non-Pasir
- Beton Hampa
- Beton Bertulang
- Beton Pra-tegang
- Beton Pra-Cetak
- Beton Massa

- Beton Siklop
- Beton Serat

Berdasarkan kelas serta mutu, betn dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- Beton Kelas I
- Beton Kelas II
- Beton Kelas III

#### Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton diketahui dengan melakukan pengujian pasca umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum. Kuat tekan bisa dihitung dengan rumus:

$$F_c' = P/A,$$

Dimana:

P = Gaya maksimum dari mesin (N).

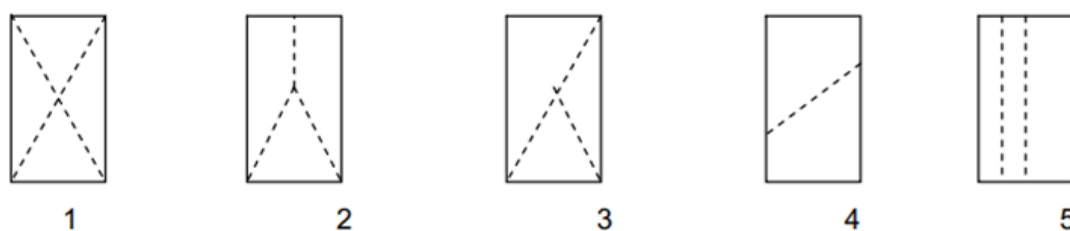
A = Luas penampang sampel (mm<sup>2</sup>)

F<sub>c</sub>' = kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)

Tabel 1: Ukuran benda uji kuat tekan beton menurut SK SNI M-62-1990-03

Jenis Benda Uji	Ukuran Cetakan (Mm)
Kubus	100 x 100 x 100
	150x 150 x 150
Balok	500 x 100 x 100
	600 x 150 x 150
Silinder	Diameter 150 dan tinggi 300
	Diameter 100 dan tinggi 200

Setelah dilakukan pengujian uji tekan pada beton, beton akan mengalami keretakan dan kehancuran dengan bentuk yang berbeda-beda, bentuk keretakan dan kehancuran yang terjadi pada beton ada lima jenis, yaitu:



Sumber: SNI 1974-2011

Gambar 1: Pola Retak Beton

Pada gambar diatas dapat dijelaskan beton nomor 1 bentuk kehancurannya dinamakan kerucut, beton nomor 2 bentuk kehancurannya kerucut dan belah, beton nomor 3 bentuk kehancurannya kerucut dan geser, nomor 4 bentuk kehancurannya geser, dan untuk beton nomor 5 bentuk kehancurannya sejajar sumbu tegak atau kolumnar.

## B. Agregat Kasar Daur Ulang

Agregat daur ulang merupakan agregat buatan yang berasal dari limbah sisa penghancuran beton yang memiliki sifat kuat, keras dan getas sebagai substitusi atau pengganti agregat alami. Agregat daur ulang dapat digunakan untuk pengganti agregat natural agar campuran beton setelah dipilih serta disaring. Agregat daur ulang hasil bongkahan bangunan terdiri dari agregat murni dan mortar lama yang menyelimuti agregat.

## C. Super Plasticizer

*Super plasticizer* merupakan bahan dari kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif [10]. Kelebihan pemakaian bahan tambahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah dalam nilai kekentalan adukan yang sama ataupun didapat adukan dengan kekentalan lebih encer dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi namun harus sesuai dengan dosis yang ditentukan. *Super Plasticizer* dibedakan menjadi 4 jenis (Edward G Nawy, 1996), diantaranya :

1. *Modifikasi Lignoosulfonat* tanpa kandungan klorida.
2. *Kondensasi Sulfoonat Melamine Formaldehyde* (SMF) dengan kandungan klorida besar 0.005%.
3. *Kondensasi Sulfoonat Nephthalene Formaldehyde* (SNF) dengan kandungan klorida yang diabaikan.
4. *Carboxyl Acrylic Ester Copolymer*.

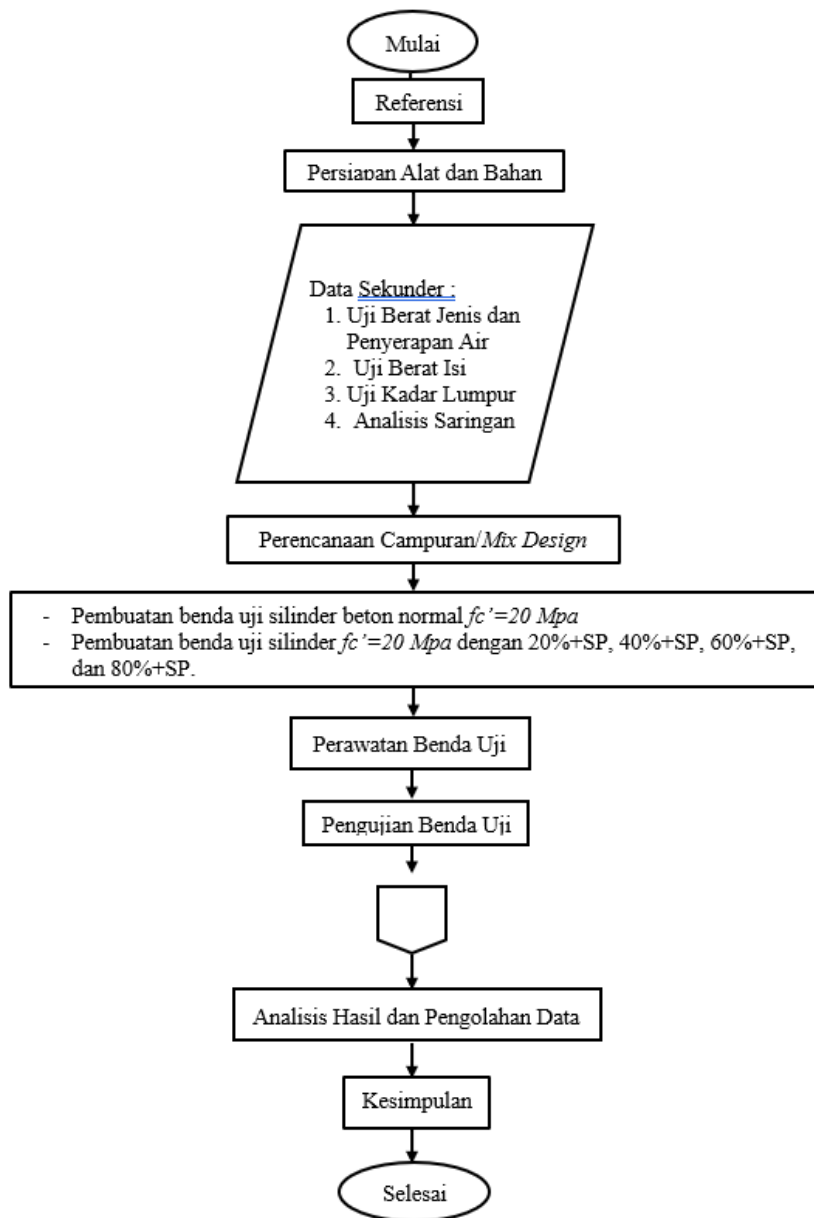
Jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah (mengacu pada ASTM C494-82), adalah sebagai berikut [11]:

1. Tipe A (*Water Reducing*)
2. Tipe B (*Retarder*)
3. Tipe C (*Accelerator*)
4. Tipe D (*Water Reducer Retarder*)
5. Tipe E (*Water Reducer Accelerator*)
6. Tipe F (*Super Plasticizer*)
7. Tipe G (*High Range Water Reducer*)

## D. Metodol Penelitian

### 1. Tahapan Penelitian

Proses dalam melaksanakan tahapan penelitian mulai dari tahap awal hingga akhir memerlukan bagan alir agar proses pengerjaan terstruktur dan lebih mudah, seperti dalam Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 2: Bagan Alir Penelitian

## 2. Alat dan Bahan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini sudah mengacu pada SNI 2493:2011.

- Timbangan dengan ketelitian 0.1 gram. Alat ini digunakan untuk menimbang berat material benda uji, dan berat benda uji dalam ketelitian 0.3% dari uji beban pada setiap titik dalam rentang penggunaannya.
- Oven dengan suhu  $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$  digunakan untuk mengeringkan agregat agar kandungan air yang ada pada agregat menghilang dan mendapatkan berat keringnya.
- Cetakan beton silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
- Kerucut Abrams satu set alat pengukur slump.
- Mesin penggetar ayakan.
- Mesin Uji tekan, kapasitas 2000 KN.
- Satu set saringan atau ayakan untuk menentukan diameter agregat yang sesuai dengan persyaratan agregat Dalam campuran beton.
- Tongkat penusuk terbuat daari bajaldiameter 16 mm dan panjang 610 mm.

- i. Palu karet dengan berat 0.6 kg±0.2 kg.
- j. Bejana.
- k. Gelas ukur 1000cc digunakan untuk melakukan pengujian kadar lumpur pada agregat.
- l. Bak rendam.
- m. Ember.
- n. Sekop atau sendok beton.
- o. Penggaris atau meteran.
- p. Wadah pencampuran harus terbuat dari logam berat dasar dengan dasar rata, kedap air dengan kedalaman yang cukup.
- q. *Ready Mix* mini.

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus pasir Cilopang.
- b. Agregat kasar batu pecah.
- c. Semen Tiga Roda
- d. Agregat kasar daur ulang
- e. *Super Plasticizer*

### E. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yaitu dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Institut Teknologi Garut.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### A. Deskripsi Data

Data yang dipakai adalah data alternatif yaitu data pengujian agregat kasar dan halus yang diambil dari laboratorium Dinas PUPR Kabupaten Garut, sedangkan untuk semen yaitu menggunakan jenis semen portland komposit. dan untuk data bahan substitusi agregat kasar daur ulang berasal dari data jurnal Arianto, A. (2015) Perbandingan antara Campuran Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang Dengan Perbandingan Campuran Agregat Kasar Alam.

Tabel 2: Data Sekunder Hasil Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Agregat Halus		Agregat Kasar		Keterangan
		Spesifikasi (ASTM)	Hasil Pengujian	Spesifikasi (ASTM)	Hasil Pengujian	
1	Kadar Lumpur	<5%	2,63 %	-	-	Memenuhi
2	Berat Isi					
	• Gembur	1,4-1,9 kg/l	1,302 kg/l	1,4-1,9 kg/l	1,288 kg/l	Memenuhi
	• Padat	1,4-1,9 kg/l	1,592 kg/l	1,4-1,9 kg/l	1,481 kg/l	Memenuhi
3	Berat Jenis					
	• Bj. Curah (bulk)	1,6-3,3	2,71	1,6-3,2	2,45	Memenuhi
	• Bj. SSD	1,6-3,3	2,84	1,6-3,2	2,55	Memenuhi
	• Bj. Apparent	1,6-3,3	3,10	1,6-3,2	2,71	Memenuhi
4	Absorpsi	<2	4,6 %	0,2-4 %	3,92 %	Memenuhi
5	Modulus Kehalusan	1,5-3,8	3,3919	-	-	Memenuhi
6	Keausan	-	-	<50%	3,60 %	Memenuhi

Sumber: Dinas PUPR Kab. Garut

Tabel 3: Data Sekunder Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Berat Volume :	
Gembur (gram/cm <sup>3</sup> )	1,55
Padat (gram/cm <sup>3</sup> )	1,58
Penentuan <i>Sfpecific-Gravity</i> :	
<i>Apparent Specific-Gravity</i>	2,631
<i>Bulk Specific-Gravity</i> Kondisi Kering	2,213
<i>Bulk Specific-Gravity</i> Kondisi SSD	2,675
Persentase Penyerapan Air (%)	7,153
Kadar Lumpur (%)	0,4

Sumber: Jurnal Arianto, A. (2015) Perbandingan Campuran Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang Dengan Perbandingan Campuran Agregat Kasar Alam.

### B. Mix Design

Rancangan menghitung campuran beton berdasarkan metode SNI 7656-2012 yang di adopsi dari ACI 211. Untuk hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4: di bawah ini:

Tabel 4: Proporsi Campuran (*Mix Design*)

Jenis Campuran	Agregat Kasar	Agregat Daur Ulang	Agregat Halus	Air	Semen	Satuan
Campuran Dasar	16,41	0,00	13,01	2,74	4,44	kg
Campuran 1	13,13	3,48	12,61	2,82	4,44	kg
Campuran 2	9,85	6,95	12,22	2,90	4,44	kg
Campuran 3	6,56	10,43	11,83	2,98	4,44	kg
Campuran 4	3,28	13,91	11,43	3,06	4,44	kg
Jumlah	49,23	34,77	61,10	14,49	22,21	kg

Tabel 4 tersebut merupakan proporsi campuran beton untuk per 3 sampel tabung silinder dengan jumlah sampel sebanyak 15 buah.

### C. Hasil Uji Slump

Uji [12] *slump* bertujuan untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu, data yang dihasilkan bisa dilihat pada tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5: Nilai Uji *Slump*

Campuran	Nilai Slump (mm)	Keterangan
Dasar	75	Memenuhi
1	85	Memenuhi
2	75	Memenuhi
3	90	Memenuhi
4	75	Memenuhi

### D. Hasil Pengujian Beton Segar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi beton segar. Hasil dari pengujian berat isi beton segar tiap satu sampel dengan nilai *slump* rencana 75-100 mm hasil pengujian ini harus memenuhi standar (SNI 1973-2008) yaitu beratnya diantara 1842 kg/m<sup>3</sup> sampai 2483 kg/m<sup>3</sup>, untuk hasilnya bisa dilihat pada tabel 6 berikut ini:

Tabel 6: Berat Isi Beton Segar

	<b>M<sub>m</sub> (Kg)</b>	<b>M<sub>c</sub> (Kg)</b>	<b>V<sub>m</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>D (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Campuran 1</b>				
1	11,96	23,34	0,0053	2147,17
2	12,02	23,14	0,0053	2098,11
3	11,72	22,96	0,0053	2120,75
<b>Campuran 2</b>				
4	11,68	23,08	0,0053	2150,94
5	11,68	22,52	0,0053	2045,28
6	11,76	23,18	0,0053	2154,72
<b>Campuran 3</b>				
7	11,64	22,82	0,0053	2109,43
8	11,68	22,24	0,0053	1992,45
9	11,52	22,60	0,0053	2090,57
<b>Campuran 4</b>				
10	11,44	22,56	0,0053	2098,11
11	11,62	22,82	0,0053	2113,21
12	11,70	23,34	0,0053	2196,23
<b>Campuran 5</b>				
13	11,48	22,42	0,0053	2064,15
14	11,56	22,74	0,0053	2109,43
15	11,52	22,28	0,0053	2030,19
Jumlah	174,98	342,04		31520,74
Rata-rata	11,66	22,80		2101,38

**E. Hasil Uji Tekan**

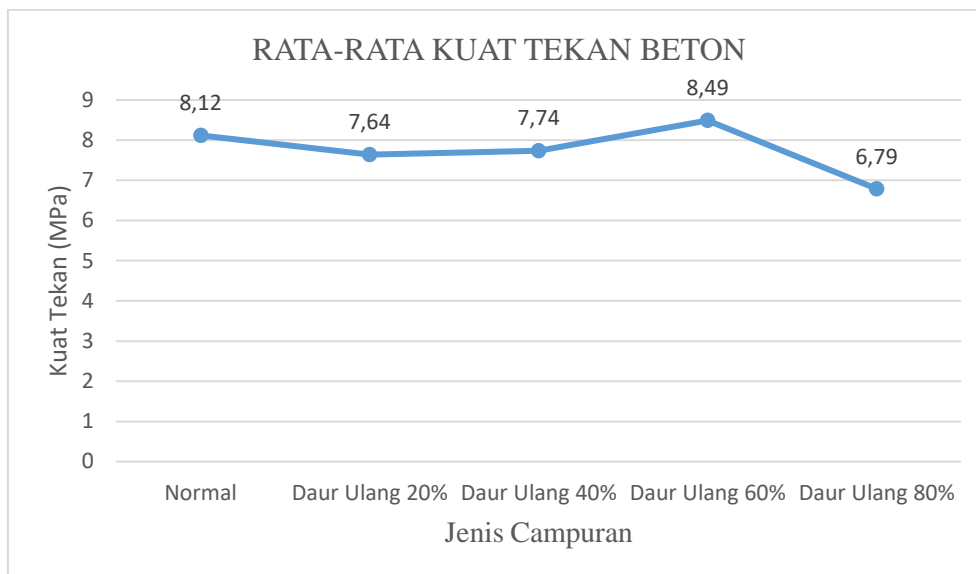
Nilai kekuatan tekan beton diperoleh dari pengujian kuat tekan beton silinder yang memiliki dimensi 15 cm x 30 cm menggunakan mesin uji tekan di laboratorium STT Garut dengan kapasitas K-700. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 14 hari. Uji tekan kali ini tidak dilakukan proses *capping* sulfur pada beton. Adapun hasil uji tekan beton bisa dilihat pada Tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7: Hasil Uji Tekan Beton

<b>Campuran</b>	<b>Kuat Tekan Rata-Rata</b>
Dasar	8,12 MPa
1	7,64 MPa
2	7,74 MPa
3	8,49 MPa
4	6,79 MPa

Berdasarkan hasil pengujian uji kuat tekan beton yang telah dilaksanakan di laboratorium STT Garut, diperoleh grafik seperti pada gambar 3 berikut:





Gambar 3: Nilai Rata-Rata Kuat Tekan Beton

#### IV. KESIMPULAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan ruang lingkup dan batasan-batasan sebagaimana dijelaskan di atas, dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Penggunaan substitusi agregat kasar daur ulang dan bahan tambah tipe F (*Super Plasticizer*) pada campuran beton cenderung mengurangi kuat tekan dibandingkan dengan beton normal, kecuali dalam campuran ke-4 dimana substitusi agregat daur ulang 60% + SP menunjukkan peningkatan kuat tekan 3,7% yakni sebesar 8,49 Mpa.
2. Hasil perbandingan setiap campuran substitusi agregat kasar murni dengan agregat kasar daur ulang yang ditambah bahan Tipe F (*super plasticizer*) menunjukkan kekuatan tekan yang tidak konsisten, campuran 1 memiliki nilai kuat tekan rata-rata 7,64 MPa, campuran 2 = 7,74 MPa, campuran 3 = 8,49 MPa, dan campuran 4 = 6,79 MPa.

##### B. Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dikerjakan dapat disarankan beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

1. Dalam hal penelitian campuran beton, data hasil uji bahan yang diperlukan sebaiknya berupa data primer hasil pengujian sendiri, bukan data sekunder dari sumber tertentu atau penelitian orang lain.
2. Dalam hal penelitian campuran beton yang data kuat tekannya harus diperoleh dari pengujian sampel benda uji, pembuatan sampel-sampel benda uji harus dilakukan seteliti mungkin sesuai dengan tata cara yang benar agar tidak terjadi hasil uji yang salah atau keliru.
3. Sebaiknya ada penelitian mengenai kuat tarik substitusi agregat kasar daur ulang.
4. Dalam pengujian kuat tekan beton, keping menggunakan sulfur sangatlah penting dilakukan agar permukaan beton rata dan jenis kehancuran betonnya teratur dan bisa dianalisis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Sian, J. A. Tjondro, and R. Sidauruk, "Studi Eksperimental Karakteristik Beton dengan Agregat Kasar Daur Ulang dengan  $f_c' = 25$  MPa," *J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 111–129, 2019, doi: 10.28932/jts.v9i2.1375.

- [2] A. Arianto, "CAMPURAN AGREGAT KASAR ALAM Oleh : Arief Arianto," pp. 1–9.
- [3] S. K. Patel, H. P. Satpathy, A. N. Nayak, and C. R. Mohanty, "Utilization of Fly Ash Cenosphere for Production of Sustainable Lightweight Concrete," *J. Inst. Eng. Ser. A*, 2020, doi: 10.1007/s40030-019-00415-6.
- [4] H. Herwani, I. Imran, I. Pane, E. Zulkifli, and E. Elvira, "Efektivitas Superplasticizer Terhadap Workabilitas Dan Kuat Tekan Beton Geopolimer," *Portal J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 12–18, 2019, doi: 10.30811/portal.v10i2.975.
- [5] M. Khan and M. Ali, "Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber," *Constr. Build. Mater.*, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.150.
- [6] R. et al Pandaleke, "Pengaruh Variasi Kadar Superplasticizer Terhadap Nilai Slump Beton Geopolymer," *J. Sipil Statik*, pp. 283–291, 2014.
- [7] Mulyati and A. A, "Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar dan Agregat Halus terhadap Kuat Tekan Beton Normal," *J. Momentum ISSN 1693-752X*, vol. 16, no. 2, pp. 1–7, 2014.
- [8] A. A. Amru and Y. Idris, "Perilaku kuat tekan beton substitusi agregat kasar daur ulang limbah beton," pp. 1–7.
- [9] D. Kuddu and M. S. Latif, "Kuat Tekan Beton Daur Ulang sebagai Bahan Struktur pada Bangunan Sederhana," no. 1, pp. 5–10, 2013.
- [10] S. Pengajar, J. Teknik, S. Universitas, and K. Ternate, "Pengaruh Penambahan Superplasticizer Terhadap Campuran Beton Ringan Yang Menggunakan Styrofoam," *Pengaruh Penambahan Superplasticizer Terhadap Campuran Bet. Ringan Yang Menggunakan Styrofoam*, vol. 7, no. 2, pp. 124–140, 2011, doi: 10.21831/inersia.v7i2.3684.
- [11] SNI 03-2495-1991, "SNI 03-2495-1991 tentang Spesifikasi bahan tambahan untuk beton," *Yayasan LPMB Bandung*, 1991.
- [12] S. N. Indonesia, "Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa dengan Standar SNI 7656: 2012," *Jakarta, Badan Standarisasi Nas.*, 2012.