

## **RECYCLE CONCRETE AGREGATE TERHADAP KUAT TEKAN BETON BERBASIS ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS**

**Septyanto Kurniawan<sup>1</sup>, Andika Serdianto Rizki Syah Putra<sup>2</sup>**

Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro<sup>1,2</sup>

E-mail : s\_yan\_k@gmail.com<sup>1</sup>, andikasrs2120@gmail.com<sup>2</sup>

### **ABSTRAK**

*Recycle Concrete Agregate (RCA)* adalah suatu limbah konstruksi yang berbentuk sampel maupun limbah konstruksi pembongkaran. Penggunaan agregat beton daur ulang umumnya meningkatkan susut pengeringan, rangkai dan daya serap air, serta menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas beton agregat daur ulang dibandingkan beton dengan campuran agregat alam. Penelitian ini berguna untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan *RCA* sebagai penggantian agregat kasar dan halus natural terhadap kuat tekan beton, dan desain optimal dengan persentase penggantian 25%, 50%, 75%, 100% agregat beton daur ulang. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode desain empiris secara eksperimen yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data, yang didasarkan pada hasil percobaan atau pengalaman yang ada. Pada penelitian yang telah dilakukan di laboratorium untuk dapat mengetahui hasil dari Penggunaan *Recycle Concrete Agregate Terhadap Kuat Tekan Beton* serta menggunakan campuran agregat beton daur ulang kasar dan halus yang berbeda, yaitu : 25%, 50%, 75%, 100% dari sampel yang telah dilakukan pengujian kuat tekan beton rencana 20 MPa didapatkan hasil kuat tekan beton rata-rata terbesar *RCA* 75% sebesar 26,023 MPa, sedangkan nilai kuat tekan beton terkecil terdapat pada hasil kuat tekan beton rata-rata *RCA* 50% sebesar 22,914 MPa. Dari hasil analisis data menggunakan *Analytical Hierarchy Process* bahwa desain optimal dari penggantian *RCA* terdapat pada *RCA* 25% sebanyak 51,7%.

**Kata Kunci :** Kuat Tekan; *Recycle Concrete Agregate*.

### **PENDAHULUAN**

Jumlah limbah konstruksi meningkat setiap tahun yang membuat penumpukan limbah konstruksi. (Damdelen, 2018). Kegiatan konstruksi yang menyebabkan banyak bangunan lama yang sudah ada dibongkar, baik karena keterbatasan lahan untuk pembangunan baru maupun karena bangunan eksisting sudah cacat secara struktural. (Hamad & Dawi, 2017). Penggunaan agregat daur ulang dalam beton dapat merusak beberapa sifat mekanik beton. (Bidabadi et al., 2020). Beberapa upaya untuk menggunakan agregat beton daur ulang (*RCA*) dalam produksi beton karena aspek negatif yang

melekat terkait dengan *RCA*. (Andreu & Miren, 2014). Kehadiran mortar semen lama memiliki efek merugikan pada sifat segar dan kekuatan beton baru. (Nedeljković, Mylonas, Wiktor, Schlangen, & Visser, 2022).

Beberapa metode sederhana dan ekonomis seperti mengontrol rasio air-semen, menyesuaikan kadar air agregat dan metode pencampuran yang berbeda dapat meningkatkan kinerja beton daur ulang untuk memenuhi persyaratan kualitas beton. (Bai, Zhu, Liu, & Liu, 2020). Dalam penelitian Bidabadi, ditunjukkan bahwa kuat tekan beton daur ulang memiliki hubungan terbalik dengan peningkatan jumlah *RCA* dan juga

penggantian agregat halus memiliki efek negatif yang lebih kecil terhadap kuat tekan dibandingkan dengan agregat kasar.(Bidabadi et al., 2020). Insinyur dan produsen harus didorong untuk memaksimalkan penggunaan agregat beton daur ulang dan menghindari aplikasi agregat daur ulang berkualitas tinggi yang diremehkan. (Andreu & Miren, 2014). Hasil program penelitian Hamad & Dawi berdampak positif pada penggunaan agregat kasar daur ulang yang dihasilkan oleh penghancuran silinder beton yang diuji di industri konstruksi beton. Namun, penelitian masa depan diperlukan untuk mempelajari pengaruh substitusi parsial atau penuh agregat alam dengan agregat daur ulang tersebut pada kekuatan tekan beton, penelitian masa depan diperlukan untuk menyelidiki daya tahan dan kinerja jangka panjang dari beton tersebut. (Hamad & Dawi, 2017). Metode perawatan dapat digunakan secara efektif untuk agregat daur ulang untuk meningkatkan karakteristiknya. (Saravanakumar, Abhiram, & Manoj, 2016) Hasil penelitian Kou, Poon menunjukkan bahwa gerbang agregat daur ulang kelas rendah dapat digunakan untuk menghasilkan beton non-struktural. (Kou, Poon, & Wan, 2012).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton

Beton adalah bahan seperti batu yang diperoleh dengan mencampurkan semen, pasir dan kerikil atau agregat kasar lainnya dengan proporsi tertentu, dan air untuk mencampur, dan mengeras dalam bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan. Sebagian besar material terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Semen dan air bercampur secara kimia untuk mengikat partikel agregat menjadi massa padat. Beton dengan berbagai sifat dapat diperoleh dengan penyesuaian yang tepat dari proporsi

bahan penyusunnya.(Darwin, Dolan, & Nilson, 2016)

Tabel 1. Kelas Dan Mutu Beton

Kelas	Mutu	$\sigma'_{bk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'_{bmg}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Tujuan	Pengawasan terhadap	
					Mutu Agregat	Kekuatan Tekanan
1	B0	-	-	Non Struktural	Ringan	Tanpa
2	B1	-	-	Struktural	Sedang	Tanpa
	K125	125	200	Struktural	Ketat	Kontinu
	K175	175	250	Struktural	Ketat	Kontinu
	K225	225	300	Struktural	Ketat	Kontinu
3	K>300	>225	>300	Struktural	Ketat	Kontinu

(Peraturan Beton Indonesia, 1971)

### Semen

Bahan semen adalah salah satu yang memiliki sifat perekat dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat menjadi massa padat dengan kekuatan dan daya tahan yang memadai. Untuk membuat beton struktural, semen hidrolik digunakan secara eksklusif. Air diperlukan untuk proses kimia (hidrasi) di mana bubuk semen mengeras dan menjadi satu massa padat. (Darwin et al., 2016) Semen portland adalah bahan bubuk halus berwarna keabu-abuan yang terutama terdiri dari kalsium dan aluminium silikat.

### Agregat

Dalam beton struktural biasa, agregat menempati 65 hingga 75 persen dari volume massa yang dikeraskan. Sisanya terdiri dari pasta semen yang mengeras, air yang tidak tercampur (air yang tidak terlibat dalam hidrasi semen), dan rongga udara. Dua yang terakhir tidak berkontribusi pada kekuatan beton. Semakin padat agregat yang dikemas, semakin baik daya tahan beton. Untuk alasan ini gradasi ukuran partikel di gerbang agregat, untuk menghasilkan pengemasan yang rapat, penting. Juga penting bahwa agregat memiliki

kekuatan, daya tahan, dan ketahanan cuaca yang baik. Agregat alam umumnya diklasifikasikan sebagai halus dan kasar. (Darwin et al., 2016).

### Recycle Concrete Agregate (RCA)

RCA adalah suatu limbah konstruksi yang berbentuk sampel maupun limbah konstruksi maupun pembongkaran (CDW). Penggunaan agregat beton daur ulang umumnya meningkatkan susut pengeringan, rangkai dan daya serap air, serta menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas beton agregat daur ulang dibandingkan dengan pengikat Bahan semen yang digunakan dalam penelitian ini beton agregat alam. (Kou & Poon, 2013). Pada penelitian Sainz-Aja restorasi limbah yang dihasilkan dalam konstruksi dan pembongkaran ini didukung oleh sejumlah besar proyek penelitian yang menjamin bahwa beton RAC dapat dirancang dengan sifat mekanik dan daya tahan yang baik. (Sainz-Aja, Carrascal, Polanco, & Thomas, 2022).

### Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Campuran beton merupakan perpaduan dari material penyusunnya karakteristik dan sifat bahan akan mempengaruhi hasil rancangan Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton (*mix design*).

Tabel 2. Nilai slump yang dianjurkan

Tipe Kontruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi Beton Berulang (Dinding Dan Pondasi Telapak)	75	25
Pondasi Telapak Tanpa Tulangan, Pondasi Tiang Pancang, Dinding	75	25

Bawah Tanah		
Balok dan Dinding Bertulang	100	25
Kolom Bangunan	100	25
Perkerasan dan Plat Lantai	75	25
Beton Massa	50	25

(SNI 7656, 2012)

Slump tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah semen atau bahan bersifat semen lainnya dalam tingkat pemakaian yang normal, penggunaan sedikit bahan tambahan mineral yang halus dapat mengurangi kebutuhan air, perkiraan kebutuhan air untuk beberapa ukuran agregat dan target slump yang diinginkan lihat tabel 3.

Tabel 3. Perkiraan Tambahan Air Pencampuran

Slump (mm)	Maximum Nominal Size of Coarse Aggregate (mm)					
	9,5	12,7	19,0	25,0	37,5	50,0
25 – 50	207	199	190	179	166	154
75 – 100	228	216	205	193	181	169
150 - 175	243	228	216	202	190	179

(SNI 7656, 2012)

### Kuat Tekan Beton (Compressive Strength)

Berdasarkan SNI 03-1974 : 2011 (SNI 03-1974, 2011) Kuat tekan beton merupakan besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin tekan. Sifat utama beton adalah Memiliki kuat tekan tinggi dan Memiliki kuat tarik lemah. Kualitasnya tergantung pada kualitas semen dan agregat pembuatnya. Beton bisa kehilangan kekuatan hingga 40% jika pengeringan diadakan sebelum waktu yang tepat.

Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan pengujian yang mengacu pada standar yang umumnya digunakan yaitu standar ASTM (American Society for Testing and Material). Kuat tekan masing-masing

benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi yang dicapai benda uji umur 28 hari. Nilai kuat tekan beton untuk benda uji dengan dimensi yang berbeda dapat diperoleh dengan mengkonversi hasil kali yang telah tersedia pada SNI-1974:2011. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter tinggi 30 cm dan lebar 15 cm.

Tabel 4. Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai Umur

Slump (mm)	Maximum Nominal Size of Coarse Aggregate (mm)					
	9,5	12,7	19,0	25,0	37,5	50,0
25 – 50	207	199	190	179	166	154
75 – 100	228	216	205	193	181	169
150 – 175	243	228	216	202	190	179

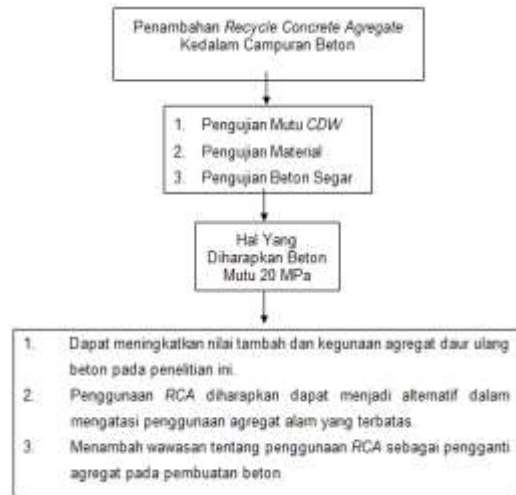
(Peraturan Beton Indonesia, 1971)

### Faktor Air Semen (FAS)

Rasio berat air dengan berat semen disebut rasio air/ semen. Ini adalah faktor paling penting untuk mendapatkan kekuatan beton. Rasio w/c (*water/cement*) yang lebih rendah menyebabkan kekuatan beton yang lebih tinggi. Secara umum, rasio air/ semen yang digunakan adalah 0,45-0,60. Air yang terlalu banyak menyebabkan pemisahan dan kekosongan pada beton atau yang biasa disebut *bleeding* pada beton. Rasio Air/ Semen berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Seperti yang ditunjukkan pada grafik di bawah ini ketika rasio w/c meningkat kekuatan beton akan menurun dan ketika rasio w/c menurun maka kekuatan beton meningkat

### Kerangka Pemikiran

Pada setiap penelitian pasti diperlukan adanya kerangka pemikiran sebagai pedoman dalam menentukan arah dari peneliti, kerangka pemikiran pada penelitian sebagai berikut :



Gambar 1. Kerangka Pemikiran (Septyanto Kurniawan, 2022)

## METODE PENELITIAN

### Desain Penelitian

Dalam Desain penelitian ini metode yang dilakukan adalah dengan cara membuat benda uji di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung, dimana penelitian dilakukan dengan metode eksperimen. Beton yang diuji dengan kondisi setelah ditambahkan campuran RCA. Dengan pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton berumur 3,7 dan 14 hari. Dengan jumlah 75 sampel beton, dengan komposisi penggantian agregat dengan RCA 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari berat agregat, dengan mutu rencana 20 MPa. Diharapkan dapat diketahui pengaruh penambahan bahan tambahan yang diberikan terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan.

### Instrumen Penelitian

Pengujian dilakukan dilaboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung. Pengujian yang dilakukan yaitu menghancurkan CDW menjadi RCA pengujian ikat semen, pengujian densitas semen Berat jenis dan penyerapan agregat, pengujian kadar lumpur, pengujian analisa saringan, pengujian beton segar, dan pengujian

kuat tekan beton, pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Menghancurkan CDW. Tujuan menghancurkan CDW menjadi RCA yaitu untuk mencampurkan RCA ke dalam campuran beton sebagai pengganti agregat. Alat digunakan adalah palu bodem. CDW yang digunakan adalah pembongkaran rigid dari tol Sumatra. Langkah sebelum menghancurkan CDW adalah menguji CDW dengan alat core drill. Setelah itu memecahkan CDW hingga menjadi agregat kasar ukuran 1-3 cm dengan palu bodem.
2. Pengujian Ikat Semen. Langkah pengujian ikat semen adalah dengan melepaskan jarum vicat berdiameter 1 mm ke dalam adukan semen pada selang waktu 15 menit, setiap kali jarum diturunkan dicatat penurunannya. Waktu pengikatan awal diperoleh jika penurunan mencapai 25 mm
3. Pengujian *Densitas* Semen. Tujuan pengujian *Densitas* untuk menentukan kepadatan beton segar dan untuk mengetahui apakah nilai *Densitas* beton sebenarnya sudah memenuhi nilai *densitas* beton rencana. Berdasarkan standard (SNI\_2531, 2015) *densitas* semen yang disyaratkan melalui pengujian dengan metode *Le Chatelier* adalah 3,15 gr/m<sup>3</sup>. Dalam penelitian ini, peralatan yang digunakan adalah botol *Le Chatelier*, kerosin bebas air, timbangan, termometer, air dengan suhu 20° C
4. Pembuatan Benda uji. Benda uji yang digunakan yaitu benda uji silinder sebanyak 75 sampel, bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat benda uji terlebih dahulu

ditimbang sesuai dengan rancangan yang telah dihasilkan, untuk komposisi bahan tambahan RCA sesuai dengan persentase yang direncanakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari berat agregat yang direncanakan

5. Langkah-Langkah Pembuatan Beton. Penakaran (Penimbangan) bahan-bahan untuk pembuatan beton, seperti semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah), RCA dan Timbangan yang di gunakan dalam pembuatan benda uji adalah timbangan digital. Penggunaan timbangan digital dapat meminimalisasi kesalahan dan mengefektifkan waktu. Angka yang ditunjukkan timbangan digital mendekati akurat dalam penimbangan material
6. Pengujian Beton segar. Pada dasarnya pengujian beton segar dilakukan untuk melihat konsistensi campuran sebagai dasar untuk kemudahan pekerjaan. Pengujian beton segar pada umumnya meliputi pengujian *slump*, dan berat isi. Beberapa standar pengujian beton segar menurut ASTM, kontrol ini dimaksudkan untuk mendapatkan keseragaman beton yang dihasilkan. (Mulyono, 2004)
7. Percetakan Benda uji. Cetakan benda uji yang digunakan berbentuk silinder.dengan jumlah 75 sampel
8. Pengujian Kuat Tekan. Tahap Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah benda uji dilakukan perawatan umur 3, 7 dan 14 hari. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan untuk mengetahui kapasitas beton mampu menahan kuat tekan maksimum

## HASIL PENELITIAN

Pengujian CDW, pengujian material beton, uji kuat tekan beton dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung. Pengujian CDW, pengujian material agregat kasar dan agregat halus, untuk mendapatkan nilai hasil pengujian CDW dilakukan beberapa pengujian yaitu *Core Drill*, pengujian agregat kasar dilakukan beberapa pengujian yaitu: Analisa saringan, kadar air, berat isi, berat jenis dan penyerapan, uji keausan, untuk pengujian agregat halus dilakukan beberapa pengujian yaitu: Analisa saringan, kadar air, berat isi, uji kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan air, dan untuk pengujian sifat mekanik beton berupa pengujian kuat tekan beton.

### Pengujian *Core Drill* CDW

Tabel 5. *Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete Dccfyd*

No	Code	Weight	Maximum Load (P)	Compressive Strength Before Correction	Vertical Drilling Direction Correction Factor	Compressive Strength After Correction
1	A	3,560	189	24,055	0,92	22,130
2	B	3,590	242	30,800	0,92	28,336
3	C	3,590	214	27,236	0,92	25,057
4	D	3,640	292	37,164	0,92	34,191
5	E	3,590	229	29,145	0,92	26,814
Average f'cc (N/mm <sup>2</sup> )				<b>29,680</b>		<b>27,306</b>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

### Pengujian Kadar Ikatan Semen

Tabel 6. Pengujian Waktu Ikatan Semen Dengan Alat *Vicat*

No	Interval	Sampel A	Sampel B	Rata-rata
----	----------	----------	----------	-----------

	Waktu Penukunan (menit)	Penurunan (mm)	Waktu Pencatatan (WI B)	Penurunan (mm)	Waktu Pencatatan (WI B)	Penukunan (mm)
1	15	41,0	15:13:00	41,0	18:15:00	41,0
2	30	41,0	15:28:00	41,0	18:30:00	41,0
3	45	40,0	15:43:00	41,0	18:45:00	40,5
4	60	40,0	15:58:00	41,0	19:00:00	40,5
5	75	40,0	16:13:00	40,0	19:15:00	40,0
6	90	36,0	16:28:00	40,0	19:30:00	38,0
7	105	20,0	16:43:00	34,0	19:45:00	27,0
8	120	12,0	16:58:00	24,0	20:00:00	18,0
9	135	8,0	17:13:00	14,0	20:15:00	11,0
10	150	4,5	17:28:00	6,0	20:30:00	5,3
11	165	2,0	17:43:00	3,0	20:45:00	2,5
10	180	0	17:58:00	0	21:00:00	0,0

(Septyanto Kurniawan, 2022)

### Pengujian Densitas Semen Hidraulis

Tabel 7. Pengujian *Densitas* Semen Hidraulis

Keterangan	Satuan	Sampel	
		1	2
Massa Botol + Kerosin (M1)	Gr	339,55	340,12
Massa Botol + Semen + Kerosin (M2)	Gr	402,95	403,70
Berat Semen (BS) = M2-M1	Gr	63,40	63,58
Bacaan Awal (V1)	cm <sup>3</sup>	0,00	0,50
Bacaan Akhir (V2)	cm <sup>3</sup>	19,90	20,70
Berat Isi Air Pada Temp. 20 °C (BA)	gr/cm <sup>3</sup>	0,9982	0,9982
Densitas BS/(V2-V1)*BA	gr/cm <sup>3</sup>	3,180	3,142
Rata-Rata	gr/cm <sup>3</sup>	<b>3,161</b>	

(Septyanto Kurniawan, 2022)

### Mix Design

Langkah pertama, kita akan menentukan Mutu rencana Beton yang akan dibuat, dan dalam penelitian ini

akan membuat beton mutu rencana 20 MPa (N/mm<sup>2</sup>). Berikut ini adalah data untuk membuat Mix Design Beton Mutu rencana f'c 20 MPa:

f'c	:	20	MPa
Slump	:	75 - 100	mm
Nilai	:	7 Mpa	=> Tabel
Tambah/ margin (M)			5.3.2.2 SNI 2847- 2013 (Hal. 39)
f'cr	:	27,000	MPa
(f'c+Standar Deviation)			
	:	331,71	Kg/cm <sup>2</sup>
		6	

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Agregat Halus

<i>Fine Aggregate</i>	<i>NA</i>	<i>RCA</i>	<i>Used</i>	<i>Unit</i>
<i>Fineness Modulus</i>	5,034	4,808	4,921	%
<i>Bulk Specific Gravity (SSD)</i>	2,378	2,193	2,286	g/cm <sup>3</sup>
<i>Absorption</i>	1,743	8,589	5,166	%
<i>Water Content</i>	4,249	5,230	4,740	%
<i>Unit Weigh</i>	1,582	1,414	1,498	g/cm <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 9. Data Hasil Pengujian Agregat Kasar

<i>Coarse Aggregate</i>	<i>NA</i>	<i>RCA</i>	<i>Used</i>	<i>Unit</i>
<i>Fine Modulus Maksimum</i>	3,014	3,664	3,339	%
<i>Nominal Size (mm)</i>	19,000	37,500	37,500	Mm
<i>Bulk Specific Gravity (SSD)</i>	2,521	2,421	2,471	g/cm <sup>3</sup>
<i>Absorption</i>	0,416	0,252	0,334	%
<i>Water Content</i>	4,733	9,543	7,138	%
<i>Unit Weigh</i>	1595,000	1490,000	1542,500	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 10. Tabel Rasio Air Semen

<i>Compressive Strength of Concrete at 28 days, (MPa)</i>	<i>Compressive Strength of Concrete at 28 days, (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>w/c</i>
15	184	0,79
20	246	0,69
25	307	0,61
30	369	0,54
35	430	0,47
40	491	0,42

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Untuk mendapatkan rasio air semen dihitung sebagai berikut:

$$0,61 - \left( \frac{25 - (20 + 7)}{(25 - 20) * (0,61 - 0,69)} \right) = 0,578$$

Factor air semen 0,578

Maka, RCA 0%, 25%, 50%, 75%, 100% membutuhkan semen sebanyak  $181 \div 0,578 = 313,149 \text{ Kg/m}^3$ .

Tabel 11. Tabel Volume Agregat Kasar Per Satuan Beton

<i>Maximum Nominal Size of Coarse Aggregate (mm)</i>	<i>The Volume of Coarse Aggregate Based of Fineness Modulus of Fine Aggregate and Maximum Nominal Size of coarse Aggregate</i>			
	<i>2,40</i>	<i>2,60</i>	<i>2,80</i>	<i>3,00</i>
9,50	0,50	0,48	0,46	0,44
12,50	0,59	0,57	0,55	0,53
19,00	0,66	0,64	0,62	0,60
25,00	0,71	0,69	0,67	0,65
37,50	0,75	0,73	0,71	0,69
50,00	0,78	0,76	0,74	0,72

(SNI\_7656, 2012)

Dari data diatas maka diambil angka 0,60 untuk RCA 0% sedangkan 0,69 untuk RCA 25%, 50%, 75%, dan 100%. Sehingga berat keringnya didapat sebagai berikut :

$$\text{RCA } 0\% = 0,69 \times 1595 \text{ kg} = 1100,550 \text{ kg}$$

RCA 25% = 0,69 x 1569 kg = 1082,438 kg.

RCA 50% = 0,69 x 1543 kg = 1064,325 kg

RCA 75% = 0,69 x 1516 kg = 1046,213 kg

RCA 100% = 0,69 x 1490 kg = 1028,100 kg

Tabel 12. Perkiraan Berat Beton Segar

<i>Maximum Nominal Size of Coarse Aggregate (mm)</i>	<i>Estimated Weight of Concrete (Kg/m<sup>3</sup>)</i>
9,5	2280
12,5	2310
19,0	2345
25,0	2380
37,5	2410
50,0	2445

(SNI\_7656, 2012)

Berdasarkan data diatas maka perkiraan berat beton adalah 2410 kg/m<sup>3</sup> untuk beton RCA 0%, 25%, 50%, 75%, 100%.

Sehingga : Agregat Halus = Estimasi berat - (Berat semen +air + agregat kasar) Volume 1 *Specimen* Silinder 15x30=  
 $(\frac{22}{7} \times 0,075 \times 0,075) \times 0,3 = 0,0053036$  m<sup>3</sup>

Tabel 13. Komposisi Final Beton RCA 0%

<i>Komposisi Berdasarkan Perkiraan Berat Beton</i>		
Cement	<b>313,149</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>181</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>1100,550</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>815,301</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 14. *Concrete Composition 15 Specimen cylinder 15x30 cm RCA 0%*

Cement	<b>24,912</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>14,399</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>87,553</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>64,860</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 15. Komposisi Final Beton RCA 25%

<i>Komposisi Berdasarkan Perkiraan Berat Beton</i>		
Cement	<b>313,149</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>181</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>811,828</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>625,060</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Coarse Aggregate RCA	<b>270,609</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Fine Aggregate RCA	<b>208,353</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 16. *Concrete Composition 15 Specimen cylinder 15x30 cm RCA 25%*

Cement	<b>24,912</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>14,399</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>64,584</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>49,726</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Coarse Aggregate RCA	<b>21,528</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Fine Aggregate RCA	<b>16,575</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 17. Komposisi Final Beton RCA 50%

<i>Komposisi Berdasarkan Perkiraan Berat Beton</i>		
Cement	<b>313,149</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>181</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>532,163</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>425,763</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Coarse Aggregate RCA	<b>532,163</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Fine Aggregate RCA	<b>425,763</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 18. *Concrete Composition 15 Specimen cylinder 15x30 cm RCA 50%*

Cement	<b>1,661</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>0,960</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>2,822</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>2,258</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Coarse Aggregate RCA	<b>2,822</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Fine Aggregate RCA	<b>2,258</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 19. Komposisi Final Beton RCA 75%

<b>Komposisi Berdasarkan Perkiraan Berat Beton</b>		
Cement	<b>313,149</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>181</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>261,553</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>217,410</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Coarse Aggregate RCA	<b>784,659</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Fine Aggregate RCA	<b>652,229</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 20. Concrete Composition 15 Specimen cylinder 15x30 cm RCA 75%

Cement	<b>24,912</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>14,399</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>20,807</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>17,296</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Coarse Aggregate RCA	<b>62,422</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Fine Aggregate RCA	<b>51,887</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 21. Komposisi Final Beton RCA 100%

<b>Komposisi Berdasarkan Perkiraan Berat Beton 1m<sup>3</sup></b>		
Cement	<b>313,149</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>181</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>1028,100</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>887,751</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 22. Concrete Composition 15 Specimen cylinder 15x30 cm RCA 100%

Cement	<b>24,912</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Water	<b>14,399</b>	Liter
Coarse Aggregate	<b>81,789</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Sand	<b>70,624</b>	Kg/m <sup>3</sup>

(Septyanto Kurniawan, 2022)

### Uji Slump Beton



Gambar 2. Bar Chart Slump Test (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)

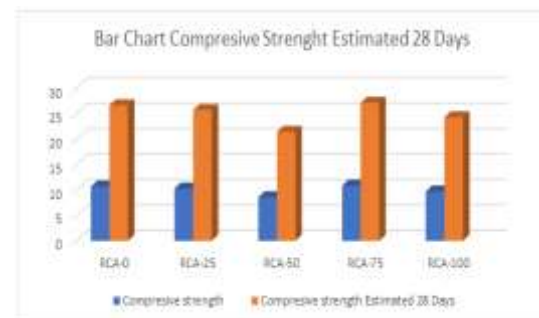
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan semakin banyak RCA yang digunakan maka Slump akan semakin rendah, ini disebabkan penyerapan air RCA cukup banyak.

### Hasil Uji Kuat Tekan

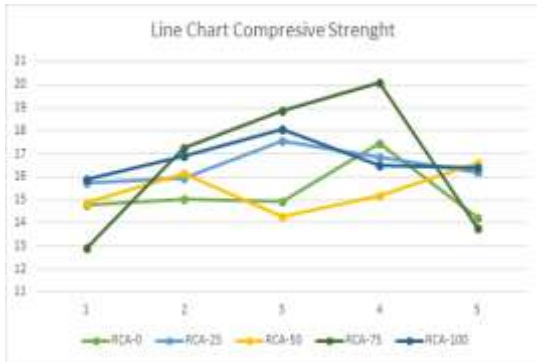
Setelah beton dicetak dan dilakukan perawatan dengan perendaman di kolam rendam selama waktu 3, 7 dan 14 hari. Beton akan diuji dengan menggunakan *Universal Test Machine*. Dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan didapat data-data yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. Compressive Strength 3 Days (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)



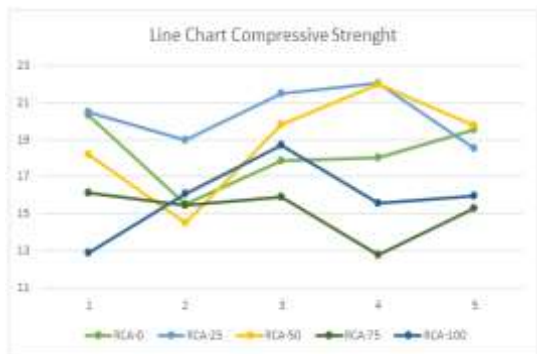
Gambar 4. Bar Chart Average Compressive Strength Conversion 3 Days (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)



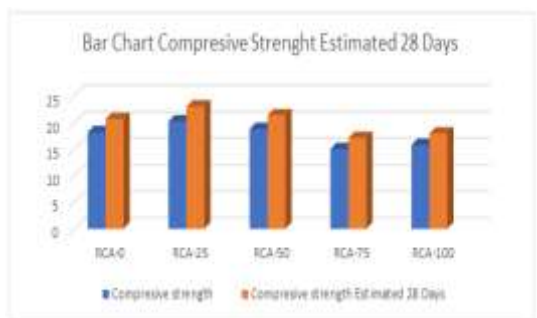
Gambar 5. *Compressive Strength 7 Days* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)



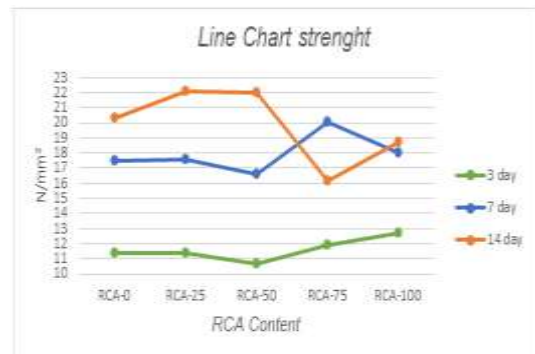
Gambar 6. *Bar Chart Average Compressive Strength Conversion 7 Days* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)



Gambar 7. *Compressive Strength 14 Days* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)



Gambar 8. *Bar Chart Average Compressive Strength Conversion 14 days* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)



Gambar 9. *Pengujian Beton Terbaik Masing-Masing Campuran Dan Hari* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)

### Analytical Hierarchy Process (AHP)

Metode *Analytical Hierarchy Process* menggunakan *Software Microsoft Excel 2019*. *Analytical Hierarchy Process* dilakukan untuk memecahkan persoalan kompleks dengan Menyusun hirarki kriteria, dinilai secara subjektif oleh pihak yang berkepentingan lalu menarik berbagai pertimbangan guna mengembangkan bobot atau prioritas. Pengolahan data yang dilakukan adalah berikut ini adalah berikut :

1. *RCA Research* sebagai tujuan utama
2. Penggantian *RCA* menjadi karakteristik
3. Nilai kuat tekan beton sebagai alternatif



Gambar 10. *Bagan Analytical Hierarchy Process* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 23. Nilai Kuat Tekan Beton Umur 3 Hari

Code	No. Sample					Average	Unit
	1	2	3	4	5		
RC A-25	28,424	28,424	18,384	25,313	28,000	25,709	M Pa
RC A-50	19,939	26,727	15,838	18,101	26,586	21,438	M Pa
RC A-75	24,747	24,889	27,576	29,838	28,707	27,152	M Pa
RC A-100	31,677	18,101	29,697	23,899	30,828	26,840	M Pa

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 24. Nilai Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Code	No. Sample					Average	Unit
	1	2	3	4	5		
RC A-25	24,156	24,503	26,936	25,893	24,851	25,268	M Pa
RC A-50	22,852	24,764	21,896	23,287	25,459	23,652	M Pa
RC A-75	19,811	26,502	29,021	30,846	21,114	25,459	M Pa
RC A-100	24,416	25,980	27,718	25,372	25,198	25,737	M Pa

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 25. Nilai Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Code	No. Sample					Average	Unit
	1	2	3	4	5		
RC A-25	23,296	21,622	24,454	25,097	21,108	20,318	M Pa
RC A-50	20,721	16,539	22,523	25,033	22,459	18,859	M Pa
RC A-75	18,340	17,568	18,083	14,544	17,375	15,103	M Pa
RC A-100	14,672	18,276	21,301	17,697	18,147	15,838	M Pa

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 26. Nilai Perbandingan Analytical Hierarchy Process

Nilai	Nilai Perbandingan Analytical Hierarchy Process
1	Sama Penting Dengan
2	Mendekati Sedikit Lebih Penting Dari
3	Sedikit Lebih Penting Dari
4	Mendekati Lebih Penting Dari
5	Lebih Penting Dari
6	Mendekati Sangat Penting Dari
7	Sangat Penting Dari
8	Mendekati Mutlak Dari
9	Mutlak Sangat Penting Dari

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 27. Nilai Index Ratio (IR)

Order	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ratio Index	0,0	0,0	0,5	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Menurut (Xiao, Li, & Poon, 2012) kuat tekan beton dengan penggantian RCA didapat hasil sebagai berikut

Tabel 28. Kuat Tekan Beton Menurut Xiao, Li, & Poon

Code	Kuat Tekan (MPa)
RC 0	26,90
RC 30	25,40
RC 50	23,60
RC 70	24,20
RC 100	23,80

(Xiao, Li, & Poon, 2012)

Menurut (Bidabadi et al., 2020) kuat tekan beton dengan penggantian RCA didapat hasil sebagai berikut

Tabel 29. Kuat Tekan Beton Menurut Bidabadi, Akbari, & Panahi

Code	Kuat Tekan (MPa)
RC 0	41,23
RC 30	33,95

RC 50	33,02
RC 70	29,78
RC 100	28,35
RF 30	37,50
RF 50	34,18
RF 70	32,69
RF 100	35,84

(Bidabadi, Akbari, & Panahi, 2020)

Menurut (Kou et al., 2012) kuat tekan beton dengan penggantian RCA didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 30. Kuat Tekan Beton Menurut Kou & Poon

Code	Kuat Tekan (MPa)
RC 0 1	43,40
RC 20 1	39,40
RC 50 1	37,80
RC 100 1	27,90
RC 0 2	43,40
RC 20 2	39,70
RC 50 2	33,90
RC 100 2	32,30
RC 0 3	43,40
RC 20 3	45,30
RC 50 3	42,50
RC 100 3	38,10

(Kou & Poon, 2012)

Hasil peneliti terdahulu di gunakan untuk mencari nilai perbandingan *Analytical Hierarchy Process*. Ini bertujuan menemukan hasil yang baik

Tabel 31. Nilai Perbandingan Berdasarkan Peneliti Terdahulu

Code	RCA 25	RCA 50	RCA 75	RCA 100
Nilai dari Xiao, Li, & Poon	1	3	5	7
Nilai dari Bidabadi, Akbari, & Panahi	1	3	5	5
Nilai dari Kou & Poon	1	3	5	7
Nilai hasil	1	3	5	6

(Septyanto Kurniawan, 2022)

Tabel 32. Nilai Karakteristik Analytical Hierarchy Process

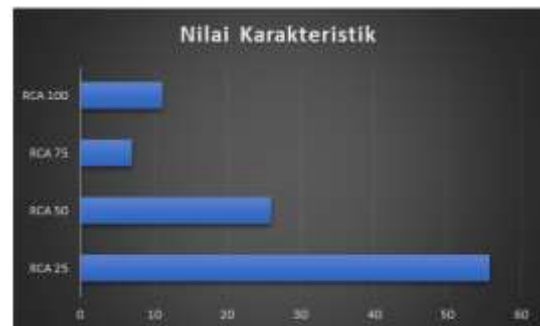
	RCA 25	RCA 50	RCA 75	RCA 100
RCA 25	1,000	3,000	6,000	5,000
RCA 50	0,333	1,000	4,000	3,000
RCA 75	0,167	0,250	1,000	0,500
RCA 100	0,200	0,333	2,000	1,000
JUMLAH	1,700	4,583	13,000	9,500

Sumber : Septyanto Kurniawan 2022

Tabel 33. Nilai Eigen pada Nilai Karakteristik Analytical Hierarchy Process

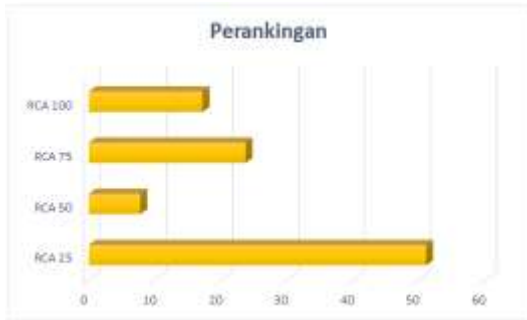
NILAI EIGEN				JUMLAH AH	RERATA
0,59	0,66	0,46	0,53	2,256	0,564
5	1	8	2	1,032	0,258
0,19	0,21	0,30	0,31	0,276	0,069
4	6	7	5	0,436	0,109
0,09	0,05	0,07	0,05		
7	3	5	1		
0,11	0,06	0,15	0,10		
6	9	0	1		
1,00	1,00	1,00	1,00		1,000
0	0	0	0		

(Septyanto Kurniawan, 2022)



Gambar 11. Diagram Nilai Karakteristik *Analytical Hierarchy Process* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)

Penempatan nilai kriteria jika nilai lebih dominan ke sebelah kiri maka nilai diletakkan di baris pada kriteria yang sesuai dan nilai kriteria pada kolom adalah hasil dari 1/nilai baris kriteria. Saat hasil dominan kanan maka pengerjaan nilai diletakkan pada kolom dan pada baris kriteria dihitung dengan 1/nilai kolom kriteria.



Gambar 12. Diagram Perankingan *Analytical Hierarchy Process RCA Research* (Sumber : Septyanto Kurniawan, 2022)

Hasil *Analytical Hierarchy Process* menggunakan *Expert choice versi 11* ditunjukkan pada tabel dan Gambar dapat dilihat bahwa nilai perankingan penggantian RCA 25% lebih direkomendasikan sebanyak 51,7%, lalu penggantian RCA 50% sebanyak 7,7%, penggantian 75% sebanyak 23,8%, dan penggantian 100% sebanyak 16,8%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sifat-sifat beton semakin banyak RCA yang digunakan maka *slump* akan semakin rendah, ini disebabkan penyerapan air RCA cukup banyak daripada NA, kuat tekan beton dengan penggunaan RCA mengalami ketidakstabilan di setiap pengujian harinya
2. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pengaruh penggantian RCA terhadap campuran beton didapatkan hasil kuat tekan beton RCA 0% sebesar 24,533 MPa, RCA 25% sebesar 25,415 MPa, RCA 50% sebesar 22,914 MPa, RCA 75% sebesar 26,023 MPa, dan RCA 100% sebesar 25,256 MPa. Dari hasil pengujian tersebut disimpulkan penggantian

RCA berpengaruh pada kuat tekan beton.

3. Berdasarkan hasil dari *Analytical Hierarchy Process* menggunakan *Expert Choice Versi 11* dapat dilihat bahwa desain optimal dari penggantian RCA terdapat pada RCA 25% sebanyak 51,7%

## DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Y., & Daud, Y. (2018). Analisa penggunaan silicafume, superplastizicer serta penambahan serbuk kaca terhadap peningkatan mutu beton pada perencanaan beton mutu tinggi (K-600) menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 7(2), 150-162.
- Andreu, G., & Miren, E. (2014). Experimental Analysis Of Properties Of High Performance Recycled Aggregate Concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 227-235.
- Bai, G., Zhu, C., Liu, C., & Liu, B. (2020). An Evaluation Of The Recycled Aggregate Characteristics And The Recycled Aggregate Concrete Mechanical Properties. *Construction and Building Materials*, 240, 117978.
- Bidabadi, M. S., Akbari, M., & Panahi, O. (2020). Optimum Mix Design Of Recycled Concrete Based On The Fresh And Hardened Properties Of Concrete. *Journal of Building Engineering*, 32, 101483.
- Chen, Y., Chen, Z., Xu, J., Lui, E. M., & Wu, B. (2019). Performance Evaluation Of Recycled Aggregate Concrete Under Multiaxial Compression. *Construction and Building Materials*, 229, 116935.
- Damdelen, O. (2018). Investigation Of 30% Recycled Coarse Aggregate Content In Sustainable Concrete

- Mixes. *Construction and Building Materials*, 184, 408-418.
- Darwin, D., Dolan, C. W., & Nilson, A. H. (2016). *Design of concrete structures* (Vol. 2): McGraw-Hill Education New York, NY, USA:.
- Hamad, B. S., & Dawi, A. H. (2017). Sustainable Normal And High Strength Recycled Aggregate Concretes Using Crushed Tested Cylinders As Coarse Aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 7, 228-239.
- Kou, S.-C., & Poon, C.-S. (2013). Long-Term Mechanical And Durability Properties Of Recycled Aggregate Concrete Prepared With The Incorporation Of Fly Ash. *Cement and Concrete Composites*, 37, 12-19.
- Kou, S.-C., Poon, C.-S., & Wan, H.-W. (2012). Properties Of Concrete Prepared With Low-Grade Recycled Aggregates. *Construction and Building Materials*, 36, 881-889.
- Kurniawan, S. (2016). Analisa Perawatan Beton Cetak Menggunakan Uap. TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil, 5(2).
- Manzi, S., Mazzotti, C., & Bignozzi, M. C. (2013). Short And Long-Term Behavior Of Structural Concrete With Recycled Concrete Aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 37, 312-318.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton. Andi Offset, Yogyakarta.*
- Nedeljković, M., Mylonas, A., Wiktor, V., Schlangen, E., & Visser, J. (2022). Influence Of Sand Drying And Mixing Sequence On The Performance Of Mortars With Fine Recycled Concrete Aggregates. *Construction and Building Materials*, 315, 125750.
- Pedro, D. d., De Brito, J., & Evangelista, L. (2017). Structural Concrete With Simultaneous Incorporation Of Fine And Coarse Recycled Concrete Aggregates: Mechanical, Durability And Long-Term Properties. *Construction and Building Materials*, 154, 294-309.
- Penyusun, T. (2020). *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah. Edisi Revisi IV.* In: Metro. Universitas Muhammadiyah Metro.
- Pepe, M., Toledo Filho, R. D., Koenders, E. A., & Martinelli, E. (2014). Alternative Processing Procedures For Recycled Aggregates In Structural Concrete. *Construction and Building Materials*, 69, 124-132.
- Peraturan\_Beton\_Indonesia. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia. NI-2, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya.*
- Permatasari, Sylvina, and Septyanto Kurniawan. "Analisis Kuat Tekan Beton Mutu K-250 Terhadap Pengaruh Penambahan Batu Kapur Dari Desa Cantung Kecamatan Hampang Kabupaten Kotabaru." TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil 11.2 (2022): 87-94
- Sainz-Aja, J. A., Carrascal, I. A., Polanco, J. A., & Thomas, C. (2022). Effect Of Temperature On Fatigue Behaviour Of Self-Compacting Recycled Aggregate Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 125, 104309.
- Saravanakumar, P., Abhiram, K., & Manoj, B. (2016). Properties Of Treated Recycled Aggregates And Its Influence On Concrete Strength Characteristics. *Construction and Building Materials*, 111, 611-617.
- Silva, R., De Brito, J., & Dhir, R. (2018). Fresh-State Performance Of Recycled Aggregate Concrete: A Review. *Construction and Building Materials*, 178, 19-31.

- Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2016). Establishing A Relationship Between Modulus Of Elasticity And Compressive Strength Of Recycled Aggregate Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2171-2186.
- SK\_SNI\_S-04-1989-F. (1989). Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A *Spesifikasi Bahan Bangunan (Bahan bangunan bukan logam)*. Bandung.
- SNI\_03-1968. (1990). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Badan Standar Nas. Indones.*
- SNI\_03-1970. (1990). Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus. In: SNI.
- SNI\_03-1971. (1990). Metode Pengujian Kadar Air Agregat.
- SNI\_03-1974. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder.
- SNI\_03-6827. (2002). Metode Pengujian Waktu Ikut Awal Semen Portland Dengan Menggunakan Alat Vicat.
- SNI\_15-2049. (2004). Semen Portland. *Jakarta: BSN.*
- SNI\_1969. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. In: Bandung: BSN.
- SNI\_1973. (2008). Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara Beton. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.*
- SNI\_2417. (2008). Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.*
- SNI\_2493. (2011). Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium. *SNI, 2493*, 2011.
- SNI\_2531. (2015). Metode uji densitas semen hidraulis (ASTM C 188-95 (2003)). In: Bandung.
- SNI\_2847. (2013). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. *Badan Standar Nasional.*
- SNI\_4817. (2008). Spesifikasi Lembaran Bahan Penutup Untuk Perawatan Beton. *Badan Standar Nasional.*
- SNI\_7656. (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa. *Badan Standar Nasional*, 91-01.
- Sukarmo, M. (2020). Faktor Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton. Retrieved from <https://solusibetonreadymix.com/blog/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-kuat-tekan-beton/>
- Tam, V. W., Soomro, M., & Evangelista, A. C. J. (2018). A Review Of Recycled Aggregate In Concrete Applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*, 172, 272-292.
- Xiao, J., Li, W., Fan, Y., & Huang, X. (2012). An Overview Of Study On Recycled Aggregate Concrete In China (1996–2011). *Construction and Building Materials*, 31, 364-383.
- Xiao, J., Li, W., & Poon, C. (2012). Recent studies on mechanical properties of recycled aggregate concrete in China—A review. *Science China Technological Sciences*, 55(6), 1463-1480.
- Zhao, Z., Remond, S., Damidot, D., & Xu, W. (2015). Influence Of Fine Recycled Concrete Aggregates On The Properties Of Mortars. *Construction and Building Materials*, 81, 179-186.
- Zhao, Z., Wang, S., Lu, L., & Gong, C. (2013). Evaluation Of Pre-Coated Recycled Aggregate For Concrete And Mortar. *Construction and Building Materials*, 43, 191-196.