

## Pengaruh Substitusi Agregat Buatan (Beton Daur Ulang) Terhadap Kuat Tekan Beton Normal

Andi Yusra<sup>1</sup>, Lissa Opirina<sup>2</sup>, Irwansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar, Meulaboh  
e-mail: [yusra.andi@yahoo.com](mailto:yusra.andi@yahoo.com), [lissaopirina@gmail.com](mailto:lissaopirina@gmail.com)

### Abstract

*The development of building construction has caused the need for construction materials to increase. Material recycling can be an alternative because it reduces the use of natural materials. Recycled aggregate construction is environmentally friendly construction. This research uses concrete recycle and boiler crust. The recycled concrete used passed the 19.1 mm filter, while the boiler scale was used 15% of the weight of cement by passing the filter No. 200. Variation in the percentage of concrete is recycled to coarse aggregate, 25%, 50%, 75%, 100% and made concrete without recycle as comparable concrete (0%). The strength of concrete is planned to be 30 MPa at 28 days. The weight of concrete without recycle (0%) is 12,430 kg, the use of 25% concrete recycle is 12,419 kg, the use of 50% recycled concrete is 12,245 kg, the use of 75% recycled concrete is 12,131 kg and the use of 100% recycled concrete is 12,106 kg. Test of the average compressive strength of concrete cylinders without the addition of recycled concrete is 30.007 MPa, 25% recycled concrete is 23.213 MPa, 50% recycled concrete is 26.799 MPa, 75% recycled concrete is 16.419 MPa and 100% recycled concrete is 20.382 MPa. Overall, it can be seen that the effect of using recycle concrete with the addition of boiler crust to the compressive strength of concrete has decreased to 25%, 50%, 75% and 100%. The decreased in percentage is 22.664%, 10.692%, 45.283% and 32.075%. The results of the study show that the percentage of the optimum aggregates substitution of recycle in concrete is at 50%, which is equal to 26,799 MPa. Based on SNI 03-6468-2000 concrete with the use of concrete recycle with the addition of boiler scale at the age of 28 days can be used for structural purposes, because the compressive strength is between 12.5 - 40 MPa. The crack pattern that occurs is of two kinds, namely the addition of recycled concrete 0%, 25%, 50% shear and at 75% and 100% in the form of a columnar axis.*

**Keywords**—Recycle Concrete, Boiler Crust and Srength of Concrete

### ABSTRAK

Berkembangnya pembangunan menyebabkan kebutuhan material konstruksi meningkat. Daur ulang material dapat menjadi salah satu alternatif karena mengurangi pemakaian material alam. Konstruksi dengan agregat daur ulang merupakan konstruksi yang ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan beton daur ulang dan kerak boiler. Beton daur ulang yang digunakan lolos saringan 19,1 mm, sedangkan kerak boiler yang digunakan 15% dari berat semen dengan lolos saringan no.200. Variasi persentase beton daur ulang terhadap berat agregat kasar (*coarse aggregate*), 25%, 50%, 75%, 100% dan dibuat beton dengan penggunaan 0% beton daur ulang sebagai beton perbandingan. Mutu beton rencana 30 MPa pada umur 28 hari. Berat beton tanpa beton daur ulang (0%) ialah 12,430 kg, penggunaan 25% beton daur ulang adalah 12,419 kg, penggunaan 50% beton daur ulang adalah 12,245 kg, penggunaan 75% beton daur ulang adalah 12,131 kg dan penggunaan 100% beton daur ulang adalah 12,106 kg. Pengujian kuat tekan rata-rata beton silinder dengan penggunaan 0% beton daur ulang sebagai substitusi diperoleh kuat tekan 30,007 MPa, penggunaan 25% beton daur ulang adalah 23,213 MPa, penggunaan 50% beton daur ulang adalah 26,799 MPa, penggunaan 75% beton daur ulang adalah 16,419 MPa dan penggunaan 100% beton daur ulang adalah 20,382 MPa. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pengaruh penggunaan beton daur ulang sebagai substitusi agregat kasar serta penambahan kerak boiler terhadap kuat tekan beton mengalami penurunan kuat tekan pada 25%, 50%, 75% dan 100% penggunaan beton daur ulang

sebesar 22,642%, 10,692%, 45,283% dan 32,075%. Dari hasil penelitian menunjukkan persentase berat optimum penggunaan beton daur ulang 50% dalam campuran beton diperoleh kuat tekan sebesar 26,799 MPa. Berdasarkan SNI 03-6468-2000 beton dengan penggunaan beton daur ulang dengan penambahan kerak boiler pada pengujian umur 28 hari dapat digunakan untuk keperluan struktur bangunan, karena kuat tekan yang diperoleh berada di antara 12,5 – 40 MPa. Pola retak yang terjadi ada dua tipe pola retak yaitu pada penambahan beton daur ulang 0%, 25%, 50% diperoleh pola retak geser (*shear*) dan pada penambahan 75% dan 100% diperoleh pola retak (*columnar*).

**Kata kunci** : Beton daur ulang, Kerak Boiler dan Kuat Tekan Beton Normal.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi yang sangat cepat dalam memenuhi kebutuhan manusia akan tempat tinggal, sarana, dan prasarana memberikan dampak terhadap lingkungan. Industri konstruksi berkontribusi menghasilkan sampah atau reruntuhan, menurut data dari Badan Pusat Statistik Indonesia tahun 2017, limbah padat yang dihasilkan setiap hari mencapai 66.941,36 m<sup>3</sup>. Limbah tersebut berupa limbah padat yang dihasilkan dari aktifitas industri, perumahan dan pertanian dimana di dalamnya termasuk limbah hasil dari pelaksanaan pembangunan konstruksi. Berbagai usaha terhadap upaya perkembangan teknologi konstruksi perlu didukung oleh penelitian. Penelitian yang sudah sering dilakukan menggunakan suatu teknologi sederhana dengan memanfaatkan sumber daya lokal termasuk pemanfaatan limbah sebagai bahan bangunan (Wijoyo, et. al., 2013).

Jumlah sampah konstruksi demikian besar sehingga menjadi perhatian dunia untuk menjaga sumber alam dan mengurangi eksploitasi sumber daya alam. Salah satu upaya dalam mengurangi banyaknya penggunaan sumber daya alam untuk material beton adalah dengan memanfaatkan beton bekas (daur ulang) untuk digunakan kembali dalam pembuatan beton baru sebagai agregat kasar. Pemanfaatan beton bekas (daur ulang) tersebut memiliki kekurangan yaitu menurunnya mutu beton diakibatkan karena adanya porositas yang terjadi di dalam beton sangat tinggi. Salah satu cara yang mampu menutupi rongga atau pori diantara partikel agregat adalah dengan menambahkan *filler* (Rohman, Cahyono, 2013).

Hasil penelitian kuat tekan dapat diketahui bahwa persentase penambahan abu kerak *boiler* sebagai *filler* berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Persentase penambahan abu kerak *boiler* 15% terhadap berat semen, mendapatkan kuat tekan beton yang optimum (Yusra, 2014).

Salah satu material yang dapat digunakan untuk *filler* adalah kerak *boiler*, karena kerak *boiler* mengandung silika (SiO<sub>2</sub>) yang tinggi sehingga dapat dipakai sebagai bahan pozolan dalam campuran beton (Ermiyati, 2007). Kerak *boiler* yang akan digunakan dengan syarat lolos saringan no. 200 sehingga dapat digunakan untuk pengisi rongga porositas. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f'c = 30$  MPa dengan benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Supaya beton daur ulang tidak terbuang maka dengan adanya ilmu pengetahuan dan teknologi dilakukan penelitian beton daur ulang terhadap kuat tekan dengan besar butiran lolos saringan 19.1 mm, dengan variasi substitusi agregat daur ulang yaitu, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat agregat kasar. Sedangkan beton dengan 0% penggunaan agregat daur ulang sebagai benda uji pembanding.

Agregat daur ulang adalah agregat yang berasal dari limbah, dimana salah satu limbah yang digunakan adalah limbah beton yang berasal dari sisa benda uji di laboratorium PUPR Aceh Barat, yang dihancurkan secara manual menjadi agregat kasar yang digunakan sebagai bahan pengganti agregat alam sebagian atau seluruhnya dalam campuran beton. Agregat daur ulang merupakan salah satu kelompok agregat buatan. Agregat buatan yaitu agregat yang dibuat dengan tujuan penggunaan tertentu, atau karena kekurangan agregat batuan-batuan alam (Suharwanto, 2004). Proses pembuatan agregat daur ulang dilakukan dengan cara memecahkan limbah beton menjadi ukuran agregat dengan gradasi yang baik sebagai pengisi beton. Pecahan

limbah beton ini dapat berupa agregat yang terbelah, agregat dengan mortar yang menempel pada permukaannya dan pecahan mortar dari limbah beton. Gambar 1.1 menunjukkan agregat daur ulang yang digunakan dalam penelitian ini. Agregat ini dihasilkan dari pemecahan benda uji beton (beton daur ulang) yang ada di laboratorium Dinas PUPR Kabupaten Aceh Barat. Beton daur ulang tersebut diambil secara acak.



Gambar 1.1 Agregat Daur Ulang  
Sumber : Penulis

Suhawanto (2004) melakukan studi eksperimental dimana agregat daur ulang mengandung mortar sebesar 25 hingga 45% untuk agregat kasar, dan 70 hingga 100% untuk agregat halus. Kandungan mortar tersebut mengakibatkan berat jenis agregat menjadi lebih kecil, lebih porous atau berpori, sehingga kekerasannya berkurang, bidang temu (*interface*) yang bertambah, dan unsur-unsur kimia agresif (seperti  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{MgSO}_4$ ) lebih mudah masuk dan merusak. Berdasarkan hasil penelitian Marastuti, et. al., (2014) bahwa partikel agregat daur ulang yang diproduksi dengan menggunakan pemecah batu (*stone crusher*) mempunyai bentuk gradasi yang baik, namun memiliki absorpsi yang tinggi dan berat jenis yang rendah dibandingkan dengan agregat alam.

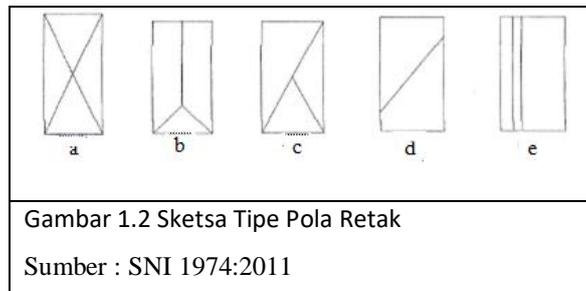
Penggunaan bahan tambahan dimaksudkan untuk memperbaiki dan menambah sifat bahan sesuai dengan sifat beton yang diinginkan. Bahan tambahan yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambahan yang bersifat kimia atau *chemical admixture*, dan bahan tambahan mineral yang dikenal dengan *additive*. Bahan tambahan *additive* ditambahkan untuk memperbaiki kinerja kekuatan beton, sedangkan *admixture* berfungsi untuk kemudahan pekerjaan (*workability*) yang ditambahkan pada saat pengadukan dan saat pelaksanaan pengecoran (Mulyono, 2004).

Kerak *boiler* merupakan limbah hasil pembakaran cangkang kelapa sawit juga mengandung kation anorganik seperti kalium dan natrium (Graille, et. al, 1985, dalam Yusra, 2014). Kerak boiler pada proses pembakaran cangkang dan serat buah pada suhu 700 – 800 °C pada dapur tungku boiler. Pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras berwarna putih – keabuan akibat pembakaran dengan suhu yang tinggi dengan kandungan silika 61 %. Tingginya kandungan silika ini membuat abu kerak boiler ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozolan dalam campuran beton (Graille, et. al, 1985).

Menurut hasil penelitian (Muhardi dkk, 2004, dalam Yusra, 2014) limbah pembakaran serat dan cangkang sawit yang berupa abu memiliki unsur yang bermanfaat untuk meningkatkan kekuatan mortar. Mortar yang menggunakan abu sawit sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 10% - 40% dan perbandingan volume semen : agregat halus 1 : 3, serta faktor air semen 0,55 menghasilkan kuat tekan maksimum pada pembakaran abu kelapa sawit 20% yang mana abu sawit memiliki sifat pozolan dan mengandung unsur silika yang cukup banyak (sekitar 60% dari berat seluruh sisa pembakaran).

Beton daur ulang merupakan campuran yang diperoleh dari proses ulang material yang sebelumnya. Beberapa perbedaan kualitas, sifat-sifat fisik dan kimia agregat daur ulang, menyebabkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan, seperti menurunnya kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitasnya. Selain itu juga diamati perbedaan kemiringan kurva hubungan tegangan-regangan uniaksial dan multiaksial, yang menjadi landai pada saat sebelum beban puncak dan menjadi curam setelah beban puncak. Di samping itu, hubungan tegangan-regangan puncak multiaksial juga menjadi menurun. Perbedaan sifat-sifat material beton agregat daur ulang tersebut mengakibatkan beberapa perbedaan persamaan yang menggambarkan hubungan antara kuat tarik dan kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tekan, dan model konstitutif tegangan-regangan beton uniaksial, tegangan regangan puncak multiaksial. Beberapa persamaan dan model konstitutif telah diperoleh dari hasil studi eksperimental untuk menggambarkan perbedaan sifat-sifat dan perilaku mekanik beton agregat daur ulang (Bardosono, Herbudiman, 2010).

Pola retak dapat diketahui dengan cara melihat retakan pada benda uji. Ada beberapa bentuk retakan dari benda uji akibat pengujian tekan yaitu, (a) Kerucut (*cone*), (b) kerucut dan belah (*cone and split*), (c) kerucut dan geser, (*cone and shear*) (d) geser (*shear*), dan (e) sejajar sumbu tegak (*columnar*), seperti yang terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Sketsa Tipe Pola Retak

Sumber : SNI 1974:2011

Kelima macam pola retak di atas dapat terjadi dalam satu campuran. Hal ini disebabkan oleh faktor berikut :

- Tidak homogenya agregat kasar, akibatnya distribusi kekuatan dalam benda uji tidak merata sehingga retakan akan mengikuti titik-titik perlemahannya.
- Terjadi pemisahan (*segregation*) material beton selama pembuatan benda uji, material yang berat akan berada di bawah dan yang lebih ringan berada dibagian atas yang mengakibatkan keroposnya beton.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan melakukan persiapan material, persiapan peralatan, penyiapan abu kerak boiler cangkang sawit, pemeriksaan sifat fisis agregat, perencanaan campuran beton (*Mix Design*), pengerjaan pengadukan beton, pemeriksaan adukan beton (*Slump Test*), pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji.

### 2.1 Persiapan Material

Material yang digunakan untuk membuat beton ialah material semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) dan air serta beton daur ulang sebagai substitusi agregat kasar. Kemudian, sebagai beton pembanding dibuat juga beton normal mutu 30 MPa tanpa penambahan beton daur ulang (0% beton daur ulang). Bahan baku beton daur ulang diperoleh dari Laboratorium Dinas PUPR Desa Drien Rampak, Kecamatan Johan Pahlawan, Kabupaten

Aceh Barat, Aceh. Beton daur ulang tersebut dari sisa pengujian benda uji proyek dan penelitian, beton tersebut dihancurkan sehingga berbentuk agregat kasar dengan lolos saringan 19.1 mm.

Abu kerak *boiler* yang digunakan didapat dari hasil pembakaran cangkang kelapa sawit dari salah satu Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit di wilayah Nagan Raya. Kerak boiler yang diambil dari dapur pembakaran pabrik CPO yang bentuk awalnya berupa bongkahan-bongkahan kristal yang kemudian akan dihancurkan dengan menggunakan alat uji *proctor*, selanjutnya disaring dengan saringan diameter lolos no. 200.

Bahan semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen portland tipe I, produksi salah satu pabrik semen yang ada di Aceh. Pemeriksaan laboratorium terhadap semen ini tidak dilakukan karena telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 15-2049-2004). Pemeriksaan hanya dilakukan secara visual terhadap kantong yang robek dan tidak terdapat gumpalan-gumpalan yang keras pada semen.

Agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) di dapat dari Krueng Mereubo Kecamatan Mereubo Kabupaten Aceh Barat. Pemeriksaan terhadap agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) sebagai material pembentuk beton perlu dilakukan untuk mendapatkan mutu material yang baik (SNI 2847-2013). Pemeriksaan ini dilakukan terhadap sifat-sifat agregat yang meliputi berat jenis (*specific gravity*), penyerapan (*absorbtion*), berat volume (*bulk density*), analisa saringan (*sieve analysis*), dan Modulus Kehalusan (*finenes modulus*).

Air yang digunakan untuk campuran beton dan perawatannya berasal dari air bersih yang diperoleh dari Laboratorium Dinas PUPR Aceh Barat. Air yang ada di laboratorium ini sudah memenuhi standar air bersih layak pakai untuk campuran beton.

## 2.2 Pembuatan Benda Uji

Untuk komposisi campuran (*concrete mix design*) beton, direncanakan dengan menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI 211.1-91) dengan mutu beton rencana 30 MPa. Perencanaan berdasarkan kepada metode perbandingan berat material pembentuk beton.

Pengerjaan beton normal diawali dengan persiapan bahan pembentuk beton (pasir, kerikil, semen dan air). Kemudian bahan tersebut dimasukkan kedalam mesin pengaduk beton (*concrete mixer*). Selanjutnya dilakukan pengujian beton segar yaitu pengukuran *slump test*. Pekerjaan selanjutnya yaitu memasukkan beton kedalam cetakan selama 24 jam. Pengerjaan pembuatan beton dengan substitusi beton daur ulang adalah sebagai berikut : agregat kasar, agregat dari beton daur ulang, agregat halus dan semen portland tipe I dicampur kemudian dilanjutkan dengan menambahkan air sesuai proporsi campuran sehingga menjadi suatu adukan bahan beton. Adapun komposisi masing-masing adukan yang dibuat di sesuaikan dengan persentase benda uji. kemudian ditambahkan beton daur ulang dengan variasi 25 ,50 ,75 dan 100% dari berat agregat kasar. Setelah adukan beton diaduk merata, tahapan berikutnya dilakukan pengujian beton segar meliputi pengukuran *slump* dan mengukur suhu beton segar. Pekerjaan selanjutnya yaitu memasukkan beton kedalam cetakan tunggu selama 24 jam.

Setelah dilakukan pekerjaan beton, selanjutnya dilakukan perendaman untuk perawatan beton sesuai umur rencana dengan cara dimasukkan kedalam kolam yang ada di Laboratorium Dinas PUPR Aceh Barat. Pengujian kuat tekan silinder dilakukan setelah beton mencapai umur rencana yaitu pada umur 28 hari. Beton diberikan beban arah vertikal atau sejajar dengan silinder secara perlahan hingga benda uji hancur. Total jumlah benda uji yaitu 15 buah berbentuk silinder ( $\varnothing 15$  cm, T= 30 cm) dengan berbagai variasi persentase agregat buatan (beton daur ulang) adalah 25 %, 50%, 75% dan 100% terhadap berat agregat kasar. Setiap komposisi beton normal dan beton dengan substitusi agregat buatan (beton daur ulang) masing-masing dibuat sebanyak 3 buah untuk pengujian ulangan yang dibutuhkan.

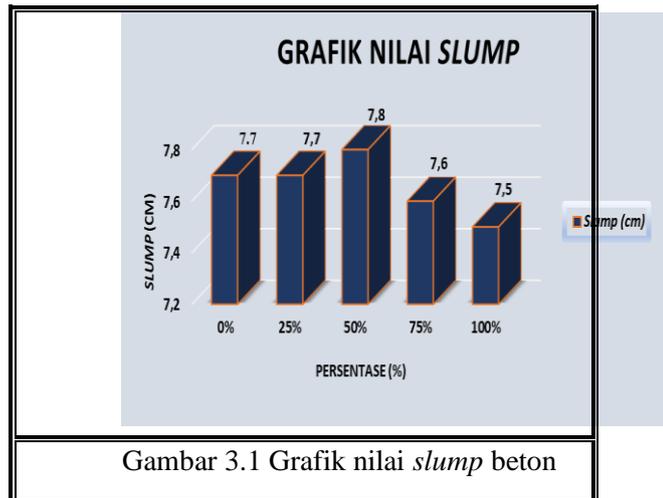
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan (*mix design*) campuran beton dapat dilihat pada Tabel 3.1. Penggunaan agregat daur ulang dan penambahan abu kerak boiler dengan persentase substitusi yaitu: 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% untuk tiga benda uji silinder. Pada 0% penggunaan agregat daur ulang, digunakan: 7,236 kg semen, 0 kg kerak boiler, 2,544 kg air, 17,661 kg agregat kasar, 0 kg agregat daur ulang dan 9,855 kg agregat halus. Untuk 25% penggunaan agregat daur ulang, digunakan: 6,150 kg semen, 1,086 kg kerak boiler, 2,544 kg air, 13,245 kg agregat kasar, 13,245 kg agregat daur ulang dan 9,855 kg agregat halus. Kemudian pada 50% penggunaan agregat daur ulang, digunakan: 6,150 kg semen, 1,086 kg kerak boiler, 2,544 kg air, 8,829 kg agregat kasar, 8,829 kg agregat daur ulang dan 9,855 kg agregat halus. Selanjutnya 75% penggunaan agregat daur ulang, digunakan: 6,150 kg semen, 1,086 kg kerak boiler, 2,544 kg air, 4,416 kg agregat kasar, 13,245 kg agregat daur ulang dan 9,855 kg agregat halus. Untuk 100% penggunaan agregat daur ulang, digunakan: 6,150 kg semen, 1,086 kg kerak boiler, 2,544 kg air, 0 kg agregat kasar, 17,661 kg agregat daur ulang dan 9,855 kg agregat halus. Pada table tersebut di bawah menunjukkan perbedaan jumlah berat semen dan variasi berat agregat kasar dan agregat daur ulang, sedangkan untuk berat air dan berat agregat halus terlihat jumlah beratnya sama untuk rancangan campuran beton.

Tabel 3.1 Campuran Beton Yang Digunakan Dalam 3 Benda Uji

Material	Jumlah Material Yang Digunakan Untuk 3 Benda Uji				
	Persentase Penggunaan Agregat Daur Ulang				
	0%	25%	50%	75%	100%
Semen (Kg)	7,236	6,150	6,150	6,150	6,150
Kerak Boiler (Kg)	0	1,086	1,086	1,086	1,086
Air (Kg)	2,544	2,544	2,544	2,544	2,544
Agregat Kasar (Kg)	17,661	13,245	8,829	4,416	0
Agregat daur ulang (Kg)	0	4,416	8,829	13,245	17,661
Agregat Halus (Kg)	9,855	9,855	9,855	9,855	9,855

Grafik nilai *slump* di bawah, menunjukkan bahwa bentuk *slump* menunjukkan perbedaan, dimana hal ini diperkirakan semakin tinggi persentase penggunaan agregat ulang pada campuran beton mengakibatkan semakin tinggi penyerapan airnya. sesuai dengan persentase penggunaan beton daur ulang. Nilai *slump* pada persentase 0% dan persentase 25% penggunaan agregat daur ulang diperoleh nilai sebesar 7,7 cm. Pada penggunaan agregat daur ulang dengan persentase 75% sebesar 7,6 cm dan persentase 100% sebesar 7,5 cm. Hasil uji *slump* menunjukkan semakin tinggi persentase penggunaan beton daur ulang menyebabkan semakin tinggi penyerapan air pada beton.

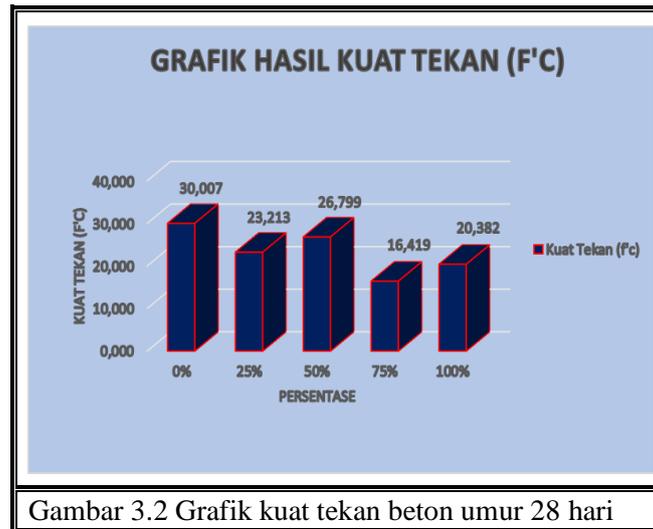


Gambar 3.1 Grafik nilai slump beton

Tabel 3.2 dan Gambar 3.2 menunjukkan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari, terlihat kuat tekan rata-rata benda uji beton tanpa penggunaan beton daur ulang dengan penambahan abu kerak boiler adalah 30,007 MPa. Nilai kuat tekan Benda uji dengan penggunaan beton daur ulang 25%, 50%, 75% dan 100% dengan penambahan 15% abu kerak boiler adalah 23,213 MPa, 26,799 MPa, 16,419 MPa dan 20,382 MPa. Kuat tekan optimum benda uji yang menggunakan beton daur ulang dengan penambahan abu kerak boiler 15% berada pada persentase 50% adalah 26,799 MPa.

Tabel 3.2 Perhitungan Kuat Tekan Beton Silinder Umur 28 Hari

PERSENTASE BETON RECYCLE	FAS	BENDA UJI	Kuat Tekan Beton ( $f'c$ )						
			Berat Sempel (kg)	Vol. Silinder ( $cm^3$ )	Berat Isi ( $kg/cm^3$ )	Luas Silinder ( $mm^2$ )	KN	N	Mpa ( $N/mm^2$ )
0%	0,48	1	12,450	5298,75	0,002	17662,5	510	510000	28,875
	0,48	2	12,345	5298,75	0,002	17662,5	530	530000	30,007
	0,48	3	12,495	5298,75	0,002	17662,5	550	550000	31,139
<b>RATA-RATA</b>			<b>12,430</b>	<b>5.298,750</b>	<b>0,002</b>	<b>17.662,500</b>	<b>530</b>	<b>530.000</b>	<b>30,007</b>
25%	0,51	1	12,440	5298,75	0,002	17662,5	410	410000	23,213
	0,51	2	12,441	5298,75	0,002	17662,5	390	390000	22,081
	0,51	3	12,375	5298,75	0,002	17662,5	430	430000	24,345
<b>RATA-RATA</b>			<b>12,419</b>	<b>5.298,750</b>	<b>0,002</b>	<b>17.662,500</b>	<b>410,000</b>	<b>410.000</b>	<b>23,213</b>
50%	0,54	1	12,110	5298,75	0,002	17662,5	450	450000	25,478
	0,54	2	12,300	5298,75	0,002	17662,5	470	470000	26,610
	0,54	3	12,325	5298,75	0,002	17662,5	500	500000	28,309
<b>RATA-RATA</b>			<b>12,245</b>	<b>5.298,750</b>	<b>0,002</b>	<b>17.662,500</b>	<b>473,333</b>	<b>473.333</b>	<b>26,799</b>
75%	0,54	1	12,157	5298,75	0,002	17662,5	330	330000	18,684
	0,54	2	12,105	5298,75	0,002	17662,5	260	260000	14,720
	0,54	3	12,130	5298,75	0,002	17662,5	280	280000	15,853
<b>RATA-RATA</b>			<b>12,131</b>	<b>5.298,750</b>	<b>0,002</b>	<b>17.662,500</b>	<b>290,000</b>	<b>290.000</b>	<b>16,419</b>
100%	0,54	1	12,125	5298,75	0,002	17662,5	380	380000	21,515
	0,54	2	12,070	5298,75	0,002	17662,5	320	320000	18,117
	0,54	3	12,122	5298,75	0,002	17662,5	380	380000	21,515
<b>RATA-RATA</b>			<b>12,106</b>	<b>5.298,750</b>	<b>0,002</b>	<b>17.662,500</b>	<b>360,000</b>	<b>360.000</b>	<b>20,382</b>



Pengujian beton pada umur rencana 28 hari dengan persentase agregat daur ulang yang berbeda-beda diperoleh berat benda uji yang berbeda beda, yaitu: berat benda uji beton tanpa penggunaan beton daur ulang dengan penambahan abu kerak boiler adalah 12,430 kg, sedangkan benda uji yang menggunakan beton daur ulang 25%, 50%, 75% dan 100% dengan penambahan 15% abu kerak boiler diperoleh berat benda uji 12,419 kg, 12,245 kg, 12,131 kg dan 12,106 kg.

Kuat tekan rata-rata benda uji dengan penggunaan agregat daur ulang 25%, 50%, 75% dan 100% dengan penambahan 15% abu kerak boiler adalah 23,213 MPa, 26,799 MPa, 16,419 MPa dan 20,382 MPa. Benda uji tanpa penggunaan agregat daur ulang dan abu kerak boiler adalah 30,007 MPa. Kuat tekan optimum penggunaan agregat daur ulang dengan penambahan abu kerak boiler 15% berada pada persentase 50% adalah 26,799 MPa.

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari, menunjukkan perbedaan nilai kuat tekan antara beton normal dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang. Beton dengan penggunaan agregat daur ulang mengalami penurunan kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 3.2 Pada beton normal diperoleh nilai kuat tekan sebesar 30,007 MPa, Kemudian diperoleh penurunan kuat tekan pada beton dengan penggunaan agregat daur ulang, yaitu: terjadi penurunan pada beton dengan penggunaan agregat daur ulang 25% sebesar 6,794 Mpa (22,641%), pada penggunaan agregat daur ulang 50% sebesar 3,208 Mpa (10,691%), pada 75% sebesar 13,588 Mpa (5,283%) dan pada penambahan 100% sebesar 9,625 Mpa (32,076%). Penyebab menurunnya mutu beton dengan menggunakan agregat daur ulang terjadi akibat beberapa perbedaan kualitas sifat fisis agregat daur ulang dengan agregat alam. Sehingga perbedaan sifat material beton yang dihasilkan dapat menurunkan kuat tekan beton. Beberapa hal yang juga mempengaruhi mutu beton dengan penggunaan agregat daur ulang ternyata memerlukan air adukan yang lebih tinggi karena sifat penyerapan air terhadap agregat daur ulang yang lebih besar yang menyebabkan nilai factor air semen berubah (tidak konsisten) sehingga diperkirakan menyebabkan nilai kuat tekan beton menurun. Selanjutnya agregat daur ulang yang dihasilkan dari beton daur ulang juga mengandung mortar sebesar 25 hingga 45% dimana mortar yang melekat pada agregat daur ulang diperkirakan menyumbang nilai kuat tekan yang rendah, sehingga menyebabkan kuat tekan beton menurun. Pemilihan material beton daur ulang secara acak dalam proses pembuatan agregat ulang juga ditengarai sebagai penyebab menurunnya kuat tekan beton.

Beton di klasifikasikan berdasarkan SNI 03-6468-2000 kelas dan mutu beton . Untuk beton dengan penggunaan agregat daur ulang 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dan penambahan abu kerak boiler 15% tergolong dalam beton *Structural*. Berdasarkan SNI 03-6468-2000, beton yang menggunakan agregat daur ulang dengan penambahan abu kerak boiler 15% pada umur 28 hari dapat digunakan untuk keperluan struktur, karena kuat tekan yang dihasilkan berada diantara

12,5 - 40 MPa. Sedangkan menurut Tjokrodimuljo (1996), beton dengan penggunaan agregat daur ulang dengan penambahan abu kerak boiler 15% masih dapat digunakan untuk keperluan struktur, karena nilai kuat tekan yang dihasilkan berada di antara 15 - 40 MPa, tergolong kedalam beton struktural.

Hasil pengujian benda uji silinder menunjukkan pola retak yang dominan terjadi adalah geser (*shear*) dan sejajar sumbu tegak (*columnar*). Dalam hal ini geser (*shear*) mengindikasikan bahwa permukaan benda uji kurang datar dan kepadatannya juga kurang. Sehingga benda uji mengalami keretakan bukan murni akibat tekan, namun ada juga karena geser. Kegagalan karena geser ini terjadi ketika pengujian, silinder beton tidak benar-benar tertahan pada sisi atas dan sisi bawahnya, namun terdapat sisi yang dapat bergeser. Hal inilah yang dapat mengurangi nilai kuat tekan beton sebenarnya. Permukaan benda uji silinder beton yang tidak rata terjadi karena adanya penyusutan yang terjadi pada beton saat proses pengikatan, sehingga permukaannya menurun dari keadaan semula yang terjadi pada penggunaan agregat daur ulang 0% sebesar 30,007 MPa, 25% sebesar 23,213 MPa, 50% sebesar 26,799 MPa dimana persentase 25% dan 50% menggunakan penambahan abu kerak boiler 15% dari berat semen. Sedangkan *columnar* (sejajar sumbu tegak), Hal ini disebabkan karena beton cenderung memiliki kuat tekan yang rendah dan kehancuran lebih dahulu terjadi pada bagian mortar yang terjadi pada penggunaan agregat daur ulang 75% sebesar 16,419 MPa, 100% sebesar 20,382 MPa dimana disetiap persentase menggunakan abu kerak boiler 15% dari berat semen.

Tabel 3.3 Persentase Kenaikan Dan Penurunan Kuat Tekan Beton

Persentase Substitusi Beton <i>Recycle</i>	0%	25%	50%	75%	100%
Kuat Tekan (Mpa)	30,007	23,213	26,799	16,419	20,382
% Penurunan	0	-22,642	-10,692	-45,283	-32,075

Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa beton *recycle* dengan penambahan abu kerak boiler mengalami penurunan yang berbeda-beda disetiap persentase penurunan optimum terjadi pada persentase agregat daur ulang 75% sebesar 45,283% atau 16,419 MPa.

Dari pengamatan pengujian kuat tekan beton dapat dilihat bentuk retakan yang terjadi pada benda uji. Pola retakan yang terjadi pada benda uji dalam penelitian ini ada dua jenis yaitu geser (*shear*) dan sejajar sumbu tegak (*columnar*). Pola retak pada beton dengan substitusi agregat daur ulang (25%) dan (50%) berbentuk geser (*shear*) hal ini menunjukkan ikatan antara mortar dan agregat cukup kuat, dibandingkang dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang 75% dan 100% yang mempunyai pola retak berbentuk sejajar sumbu tegak (*columnar*). Bentuk pola retak benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 4.4.



#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai hasil akhir dari penelitian ini :

- Kuat tekan rata-rata benda uji dengan penggunaan agregat daur ulang 25%, 50%, 75% dan 100% dengan penambahan 15% abu kerak boiler adalah 23,213 MPa, 26,799 MPa, 16,419 MPa dan 20,382 MPa. Sedangkan benda uji tanpa penggunaan agregat daur ulang dan abu kerak boiler mempunyai kuat tekan sebesar 30,007 MPa.
- Beton yang menggunakan agregat daur ulang dengan penambahan kerak *boiler* dalam campuran beton mengalami penurunan kuat tekan jika dibandingkan dengan beton normal 30 MPa.
- Terjadi penurunan nilai *slump* pada campuran beton yang menggunakan agregat daur ulang. Hal ini terjadi akibat semakin tinggi persentase penggunaan agregat daur ulang maka semakin tinggi pula penyerapan air pada campuran beton.
- Terjadi perubahan nilai faktor air semen (FAS) yang disebabkan oleh penyerapan air yang lebih besar pada beton yang menggunakan agregat daur ulang jika dibandingkan dengan

beton normal, hal ini diperkirakan juga menyebabkan terjadinya penurunan kuat tekan pada beton dengan penggunaan agregat daur ulang.

- d. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan kuat tekan optimum diperoleh pada penggunaan agregat ulang 50% yaitu sebesar 26,799 MPa.
- e. Penyebab menurunnya mutu beton disebabkan beberapa hal yaitu perbedaan kualitas sifat-sifat fisis agregat, pemilihan beton daur ulang (agregat daur ulang) secara acak dan adanya mortar yg melekat pada agregat daur ulang yang menyumbang nilai kuat tekan yang rendah.
- f. Pola retak pada beton dengan substitusi agregat daur ulang (25%) dan (50%) berbentuk geser (*shear*), hal ini menunjukkan ikatan antara mortar dan agregat cukup kuat, dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang 75% dan 100% yang mempunyai pola retak berbentuk sejajar sumbu tegak (*columnar*).

## 5. SARAN

Berkat penelitian ini, penulis sangat berharap dapat dikembangkan lagi penelitian terhadap agregat daur ulang dengan penambahan kerak boiler, dan dijadikan sebagai salah satu pedoman dalam merencanakan beton agregat buatan/agregat daur ulang dengan penambahan kerak boiler. Maksud dan saran disajikan pada beberapa hal sebagai berikut:

- a. Perlunya alat yang lebih praktis saat proses penghancuran beton daur ulang untuk mendapatkan agregat daur ulang, demikian juga untuk proses mendapatkan abu kerak boiler,
- b. Pemilihan beton daur ulang sebaiknya dilihat juga dari mutu betonnya yang seragam,
- c. Sebaiknya lebih memperhatikan air untuk campuran beton karena penyerapan air pada campuran beton yang menggunakan agregat daur ulang cukup tinggi,
- d. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap campuran yang lebih variatif, sehingga dapat digunakan di lapangan,
- e. Ruang lingkup untuk penelitian ini masih bisa dikembangkan, yaitu dengan memakai benda uji kubus serta persentase agregat daur ulang yang lebih bervariasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan sejawat dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar dan mahasiswa yang telah memberi dukungan dan masukan terhadap proses penulisan karya ilmiah penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Concrete Institute, 2002, ACI 211.1-91, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, USA*.
- [2] A, 2010. *Balok Dan Pelat Beton Bertulang*, Edisi Pertama Graha Ilmu, Yogyakarta
- [3] Astanto, T. B., 2001, *Kontruksi Beton bertulang*, Edisi Pertama Kanisius, Yogyakarta.
- [4] Pusat Statistik Indonesia, 2017, *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia*, Jakarta
- [5] Badan Standarisasi Nasional, 2013, SNI-2847-2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, Jakarta
- [6] Bardosono, H., dan B. Herbudiman, 2010, *Pemanfaatan Beton Daur Ulang Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Beton Mutu Tinggi*, Institut Teknologi Nasional Bandung
- [7] El-Reedy, M. A., 2009, *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*, CRC Press
- [8] Ermiyati, 2007, *Abu Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Resapan Air Pada Mortar*, Universitas Pekanbaru Riau

- [9] Marastuti, P., Elly, T., dan Essy, A., 2014, *Penggunaan Agregat Kasar Daur Ulang Dari Limbah Beton Padat dengan Mutu K350- K400 terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, dan Susut pada Beton*, Universitas Indonesia
- [10] Muhardi, Sitompul, I. R., dan Rinaldi., 2004, *Pengaruh Penambahan Abu Sawit Terhadap Kuat Tekan Mortar*, Universitas Riau
- [11] Mulyono, T., 2005, *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Yogyakarta
- [12] Rohman, R. K., dan S. D. Cahyono., 2013, *Penggunaan Abu Ampas Tebu Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton Dari Agregat Beton Bekas*, Universitas Merdeka Madiun
- [13] Suharwanto, 2004, *Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang*, Institut Teknologi Bandung
- [14] Tjokrodijuljo, K., 2007, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta
- [15] Yusra, A., 2014, *Pengaruh Variasi Zat Tambahan Terhadap Sifat Mekanis Beton Mutu Tinggi*, Universitas Syiah Kuala.