

PENGARUH SERBUK CANGKANG TELUR TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON DAUR ULANG

Kharismalsyah Maulana Akbar¹, Resti Nur Arini²

^{1,2}Universitas Pancasila, Teknik Sipil, Jakarta
e-mail: resti.nurarini@univpancasila.ac.id

ABSTRACT

In Indonesia, normal concrete construction is commonly used in the construction process. Excessive concrete waste is usually uncontrolled. Laboratory concrete testing waste can also accumulate and disturb the ecosystem and reduce the aesthetic value of a place. There have been many studies using recycled aggregate from concrete waste. Meanwhile, eggs are one of the foods frequently consumed by Indonesian. Eggshells are certainly becoming waste. According to data from the Indonesia Statistics (2019), chicken egg production in Indonesia reached 4,688,120 tons. Eggshell contains about 94% calcium carbonate with a weight of 5.5 grams. Meanwhile, calcium carbonate is the main constituent of Portland cement, accounting for 70% of other constituents. Based on the reasons above, this study was conducted to determine the effect of chicken eggshell powder as a partial replacement for cement on the mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. The variations in the use of chicken eggshells in the concrete samples were 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% of the weight of cement. To determine the mechanical properties of the concrete, compressive and splitting tensile tests were conducted using a cylindrical test specimen with a size of 10 x 20 cm. It is expected that the use of chicken eggshell powder can increase the compressive strength of recycled concrete. Based on the test results, the compressive strength of the concrete composition with 2.5% eggshell powder showed the greatest increase compared to the other compositions. This is supported by the UPV test, which showed the same result. The largest increase in splitting tensile strength was also found in the 2.5% composition. Meanwhile, good homogeneity levels were obtained in the concrete, based on the UPV test results on the test specimens at the age of 28 days.

Keywords: Recycled aggregate concrete, Chicken eggshell, Compressive strength, Splitting Tensile strength, Ultrasonic pulse velocity.

ABSTRAK

Di Indonesia konstruksi beton umum digunakan dalam proses konstruksi. Limbah beton yang berlebih biasanya tidak terkontrol oleh pelaksana konstruksi. Selain limbah beton konstruksi, limbah beton hasil pengetesan laboratorium juga dapat menumpuk dan dapat mengganggu ekosistem dan menurunkan nilai estetika suatu tempat. Saat ini sudah banyak penelitian dengan menggunakan agregat dari hasil daur ulang limbah beton. Telur merupakan salah satu bahan makanan yang sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Telur yang sudah diolah menjadi bahan makanan, cangkang atau kulit telurnya tentu sudah tidak terpakai lagi. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (2019), produksi telur ayam di Indonesia mencapai 4.688.120 ton. Cangkang telur kering mengandung sekitar 94% kalsium karbonat dengan berat 5,5 gram. Sedangkan kalsium karbonat adalah bahan penyusun utama dalam pembuatan semen portland yaitu 70% dari bahan penyusun lainnya. Berdasarkan alasan di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh serbuk cangkang telur ayam sebagai pengganti semen sebagian terhadap sifat mekanis beton dengan agregat kasar daur ulang. Variasi pemakaian cangkang telur ayam dalam sampel beton adalah sebanyak 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% dari berat semen. Untuk mengetahui sifat mekanis beton dilakukan pengujian tes tekan dan tes tarik belah dengan menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 10 x 20 cm. Diharapkan dengan penggunaan serbuk cangkang telur ayam dapat meningkatkan kuat tekan beton daur ulang. Berdasarkan hasil pengujian dan analisa tes tekan menunjukkan kuat tekan beton komposisi 2,5% mengalami kenaikan terbesar dari komposisi lainnya. Hal ini didukung oleh hasil tes UPV yang menunjukkan hasil yang sama. Untuk hasil kuat tarik belah kenaikan terbesar ada pada komposisi 2,5%. Sedangkan untuk tingkat homogenitas beton didapatkan hasil yang baik, berdasarkan hasil tes UPV terhadap benda uji pada umur 28 hari.

Kata kunci : Beton agregat daur ulang, Cangkang telur ayam, Kuat tekan, Kuat tarik belah, Tes kecepatan rambat gelombang ultrasonic.

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi sipil untuk membuat gedung, jalan, jembatan dan konstruksi lainnya. Beton mempunyai beberapa kelebihan yaitu kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap api, mudah dicetak, dan bahan bakunya yang sangat melimpah di alam. Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air.[1]

Untuk keperluan penelitian terkait mutu beton, sampel-sampel yang diuji di laboratorium biasanya tidak digunakan lagi, dan sisa-sisa sampel ini biasanya hanya digunakan untuk keperluan urugan pondasi dan bahkan ada juga yang hanya dibuang di sembarang tempat. Pembuangan limbah padat seperti ini dapat mengganggu ekosistem serta menurunkan nilai estetika pada lokasi-lokasi pembuangan. Agregat yang diproses dengan menghancurkan beton lama seperti beton bekas dari hasil pembongkaran maupun beton sisa pengetesan laboratorium disebut sebagai agregat beton daur ulang. Agregat daur ulang merupakan puing-puing dari proses penghancuran struktur beton ataupun puing-puing struktur lainnya seperti limbah beton, beton *precast* yang telah ditolak, perkerasan aspal, sisa campuran beton *ready mix*, limbah beton dari laboratorium, dan sebagainya. [2]

Berdasarkan hasil studi eksperimental, agregat daur ulang mengandung pasta semen sebesar 25 hingga 45% untuk agregat kasar, dan 70 hingga 100% untuk agregat halus. Di samping itu, pada agregat daur ulang juga terdapat retak mikro, di mana retak tersebut dapat ditimbulkan oleh tumbukan mesin pemecah batu (*stone crusher*) pada saat proses produksi agregat daur ulang yang tidak dapat membelah daerah lempengan atau patahan pada agregat alam.[3]

Penelitian beton sebelumnya yang meninjau komposisi beton dengan agregat daur ulang sebagai substitusi agregat kasar dan agregat halus dilakukan oleh Annie W. (2008). Pada penelitian ini, komposisi agregat daur ulang untuk beton uji divariasikan dari 0%, 25%, dan 50% dari kebutuhan agregat kasar dan halus. Pada penelitian ini dinyatakan komposisi optimum untuk mutu beton daur ulang yang baik ialah 25% agregat kasar daur ulang.[4]



Gambar 1. Agregat Kasar Daur Ulang

Penelitian lainnya dilakukan oleh Soelarso, dkk. (2016) dalam merencanakan beton daur ulang dengan penggunaan proporsi agregat limbah daur ulang adalah 25%, 50%, 75% dan 100% menyatakan proporsi paling optimum untuk kuat tekan beton daur ulang adalah proporsi dengan limbah beton 25%. Variabilitas kualitas limbah mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan dan cenderung menurunkan kuat tekan beton normal. [5]

Penelitian lainnya oleh Balqis F.N. (2019) tentang pengaruh umur pada beton daur ulang terhadap cepat rambat gelombang ultrasonik meninjau kuat tekan beton dengan agregat daur ulang dengan menggunakan dua metode yaitu destruktif dan non-destruktif. Untuk metode non-destruktif menggunakan alat pengukur cepat rambat gelombang ultrasonik. Penelitian ini juga meninjau homogenitas dari beton daur ulang dengan bantuan alat *UPV Test*. Penelitian ini mendapatkan persamaan eksponensial hubungan kuat tekan

dengan kecepatan rambat gelombang yaitu $f_c' = 0,0381827741e^{1,5376800300V_c}$ MPa. Dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,6985272443$. [6]

Selain limbah beton, banyak limbah di lingkungan sekitar yang juga dapat merusak ekosistem lainnya, salah satunya adalah cangkang telur. Telur merupakan salah satu bahan makanan yang sudah akrab dengan masyarakat Indonesia. Telur yang sudah diolah menjadi bahan makanan, cangkang atau kulit telurnya tentu sudah tidak terpakai lagi. Masyarakat umumnya membuang limbah cangkang kulit tersebut tanpa memanfaatkannya terlebih dahulu. Di Indonesia produksi cangkang telur akan terus berlimpah selama telur diproduksi di bidang peternakan serta digunakan di restoran, pabrik roti dan mie sebagai bahan baku pembuatan makanan. Menurut data Nasional, produksi telur ayam di Indonesia mencapai 4.688.120 ton.[7] Cangkang telur kering mengandung sekitar 94% kalsium karbonat dengan berat 5,5 gram. Kalsium karbonat merupakan bahan penyusun utama cangkang telur sehingga membuat cangkang telur menjadi keras.[8] Kalsium karbonat adalah bahan penyusun utama dalam pembuatan semen Portland yaitu sekitar 70% dari bahan penyusun lainnya.

Penelitian terkait cangkang telur sebelumnya dilakukan oleh Ervian J. S. (2020), penelitian tersebut meninjau kuat tekan mortar dengan serbuk cangkang telur sebagai material substitusi semen sebagian. Komposisi serbuk cangkang telur yang digunakan untuk pembuatan mortar divariasikan dari 0%, 2,5%, 5% dan 7,5% dari kebutuhan semen. Pada penelitian tersebut menyimpulkan komposisi optimum serbuk cangkang telur untuk kuat mortar yang baik ialah 2,5% serbuk cangkang telur. Dengan hasil kuat tekan naik 1,83% dari komposisi acuan 0% pada umur mortar 28 hari. [9]



Gambar 2. Serbuk Cangkang Telur

Yosefa Flaviana Zynthia Dewi, dkk. (2020) meneliti pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi parsial semen terhadap nilai kuat tarik belah beton. Komposisi serbuk cangkang telur yang digunakan untuk pembuatan beton divariasikan dari 0%, 2,5%, 5% dan 7,5% dari kebutuhan semen. Pada penelitian tersebut dinyatakan komposisi terbaik bubuk cangkang telur untuk kuat tekan beton maupun kuat tarik belah yang baik adalah 2,5% bubuk cangkang telur dari persentase semen. Dengan hasil kuat tekan sebesar 23,94 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,78 MPa untuk beton umur 28 hari.[10]

R. F. Pohan dan M. R. Rambe (2022) meneliti beton ramah lingkungan dengan cangkang telur sebagai pengganti semen sebagian. Penelitian ini meninjau kuat tekan beton ramah lingkungan dengan bubuk cangkang telur sebagai pengganti semen sebagian. Komposisi bubuk cangkang telur yang digunakan untuk pembuatan sampel betonnya dibuat dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari kebutuhan total semen. Komposisi optimum bubuk cangkang telur untuk kuat tekan beton yang baik adalah 2,5% bubuk cangkang telur dari persentase semen. Dengan hasil kuat tekan sebesar 23,19 MPa untuk beton umur 28 hari.[11]

Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan penelitian terhadap sifat mekanis beton daur ulang dengan pemanfaatan bahan baku agregat kasar yang umumnya berupa batu pecah

diganti dengan menggunakan agregat daur ulang dari limbah beton yang dihasilkan dari pengetesan laboratorium terkait pengecekan mutu beton dan pemanfaatan serbuk cangkang telur ayam sebagai bahan pengganti semen sebagian untuk campuran beton daur ulang.

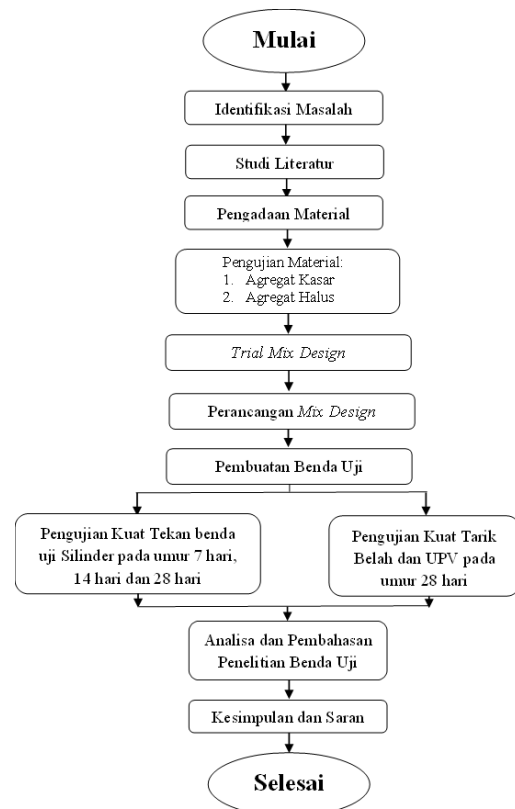
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis beton dengan campuran agregat kasar daur ulang dari limbah beton laboratorium dan serbuk cangkang telur sebagai bahan pengganti semen sebagian. Sifat mekanis beton yang ditinjau dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Dan juga untuk mengetahui berapa persen kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan jika dibandingkan dengan kuat tekan beton dan kuat tarik belah yang tidak menggunakan bubuk cangkang telur. Selain itu juga untuk mengetahui kuat tekan beton jika dibandingkan dengan metode pengujian non-destruktif UPV. Selain untuk mengetahui kuat tekan beton dengan tes UPV juga dilakukan untuk mengetahui tingkat keseragaman beton yang dibuat.

METODE PENELITIAN

Penelitian sifat mekanis beton berupa pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton dilakukan di Laboratorium Bahan dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang berada di Kampus UI Depok. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini berbentuk silinder berukuran 10 x 20 cm.

Tahapan penelitian dimulai dengan persiapan serta pengadaan material dan alat, lalu melakukan pengujian material dan pengolahan hasil pengujian material, kemudian melakukan percobaan campuran beton (*trial mix*), setelah itu membuat perhitungan campuran beton, diikuti oleh pembuatan dan perawatan benda uji, setelah memasuki umur benda uji maka pengujian benda uji dilakukan,

kemudian yang terakhir adalah melakukan analisis data dan kesimpulan.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pengujian Material

Pengujian material dilakukan dengan menggunakan standar SNI untuk mengetahui properties dari material yang akan digunakan pada penelitian ini, baik untuk agregat kasar maupun untuk agregat halus. Agregat daur ulang menggunakan limbah beton dengan mutu K-300 sampai K-350 sebagai agregat kasar. Cangkang telur ayam negeri yang digunakan sebagai bahan pengganti semen sudah menjadi serbuk dan lolos saringan no. 200. Pasir dan batu pecah alam untuk penelitian berasal dari *Batching Plant* Adhimix Lenteng Agung. Semen yang digunakan adalah semen tipe PCC merk TIGA RODA dari PT. Indocement dan menggunakan air lokal dari Laboratorium Bahan dan Material FTUI.

Agregat kasar baik agregat kasar alam maupun agregat kasar daur ulang diuji dengan pengujian analisa saringan, berat

jenis dan penyerapan, berat volume/isi, serta uji abrasi los angeles. Untuk agregat halus diuji dengan pengujian

analisa saringan, berat jenis dan penyerapan, berat volume/isi, kadar lumpur, serta uji kadar organik.

Tabel 1. Hasil Pengujian Material

<i>Properties</i>	Satuan	Agregat Kasar Alam	Agregat Kasar Daur Ulang	Agregat Halus
Berat Jenis	Kg/L	2,502	2,441	2,608
Penyerapan	%	3,509	5,264	1,010
Berat Isi	Kg/L	1,466	1,370	1,629
Kadar Lumpur	%	-	-	2,80
Kadar Organik	-	-	-	cukup
FM	-	-	-	2,252

Tabel 2. Proporsi Campuran dalam kg/m³

Material	0%	2,5%	5%	7,5%	10%
Agregat Halus	700,73	700,73	700,73	700,73	700,73
Agregat Kasar	747,66	747,66	747,66	747,66	747,66
Agregat Kasar Daur Ulang	232,90	232,90	232,90	232,90	232,90
Semen	363,64	354,55	345,45	336,36	327,27
Air	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Serbuk Cangkang Telur	0,00	9,09	18,18	27,27	36,36

Proporsi Campuran

Komposisi agregat kasar daur ulang sebesar 25% dan variasi serbuk cangkang telur dalam campuran beton sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Beton diuji kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari masing-masing 3 sampel. Sedangkan untuk benda uji tarik belah diuji pada umur 28 hari masing-masing 2 sampel. Sehingga total benda uji berjumlah 55 sampel. Perhitungan *mix design* menggunakan metode ACI 211.1-91.[12] Sebelum dihitung proporsi campuran beton yang akan dibuat dilakukan *trial mix* untuk menentukan w/c yang akan digunakan, dan berdasarkan hasil *trial mix* digunakan w/c 0,55. Untuk memudahkan penamaan sampel maka dibuat singkatan AKDU yaitu untuk Agregat Kasar Daur

Ulang dan SCT yaitu untuk Serbuk Cangkang Telur.

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton keras untuk menahan gaya tekan dalam setiap satu satuan luas permukaan beton. Secara teoritis, kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh kekuatan komponen-komponennya yaitu pasta semen, volume rongga, agregat, dan *interface* (hubungan antar muka) antara pasta semen dengan agregat. Nilai kuat tekan diperoleh dari pengujian terhadap beton dengan penampang silinder yang diberikan beban dan ditekan sampai hancur oleh mesin tekan beton. Kuat tekan beton ialah besar gaya tekan aksial maksimum per luas penampang benda

uji.[13] Rumus yang digunakan dalam menentukan nilai kuat tekan beton yaitu:

$$fc' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Di mana fc' adalah kuat tekan silinder (MPa), P adalah beban maksimum (N), dan A adalah luas bidang tekan (mm^2).

Kuat Tarik Belah Beton

Kekuatan tarik didapatkan dengan menggunakan percobaan belah silinder di mana silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horizontal di atas pelat mesin percobaan, benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik maksimum. Faktor pembentuk kekuatan tarik sama dengan kuat tekan hanya besarnya kuat tarik untuk beton normal pada umumnya adalah antara 9% - 15% dari kuat tekannya.[14] Kuat tarik beton dihitung dengan persamaan:

$$f_{ct} = \frac{2.P}{\pi.L.D} \quad (2)$$

Di mana f_{ct} adalah kuat tarik belah (MPa), P adalah beban pada waktu belah (N), L adalah panjang benda uji (mm), dan D adalah diameter benda uji (mm)

Uji Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik/ *Ultrasonic Pulse Velocity Test*

Pengujian UPV merupakan pengujian yang menggunakan energi suara berfrekuensi tinggi di atas 20 kHz. Pada dasarnya alat yang digunakan pada pengujian ini ialah *electrical pulse generator*, sepasang *transducers*, *amplifier*, dan alat pengukur waktu tempuh getaran ultrasonik dari *transducer* pengirim ke penerima.

Metode uji ini mencakup penentuan kecepatan rambat gelombang longitudinal melalui beton. Metode uji ini tidak dapat diterapkan untuk rambat gelombang jenis lain yang melalui beton. Rambat gelombang dari gelombang longitudinal dipancarkan oleh transduser

elektro akustik yang berhubungan dengan salah satu permukaan dari beton yang diuji. Setelah melalui beton, rambat gelombang diterima dan dikonversikan menjadi energi listrik oleh transduser kedua yang berjarak L dari transduser pemancar. Waktu tempuh diukur secara elektronik.[15] Dari waktu tempuh tersebut, didapatkan kecepatan rambat gelombang dengan persamaan:

$$UPV = \frac{L}{t} \quad (3)$$

Di mana UPV adalah kecepatan rambat gelombang (m/s), L adalah jarak tempuh benda uji (m), dan t adalah waktu tempuh gelombang (s).

Sedangkan tingkat homogenitas suatu sampel beton dapat dinilai melalui koefisien homogenitas (H_c). Tingkat homogenitas beton bisa didapatkan dengan cara pengujian *ultrasonic pulse velocity test*. Batasan tingkat homogenitas beton yang baik adalah 2%. Sehingga hasil koefisien homogenitas yang baik berada di antara nilai 0,98 hingga 1,02. Berikut adalah persamaan tingkat homogenitas:[16]

$$H_c = \frac{U(\text{side 1-1})}{U(\text{side 2-2})} \quad (4)$$

Di mana H_c adalah koefisien homogenitas, $U[\text{side 1-1}]$ adalah kecepatan rambat pada titik 1-1 (m/s), $U[\text{side 2-2}]$ adalah kecepatan rambat pada titik 2-2 (m/s).



Gambar 4. Alat *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPV)

HASIL dan PEMBAHASAN

Pengujian kuat tekan dilakukan pada sampel silinder beton berdimensi 10 x 20 cm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur rencana 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Masing-masing umur rencana terdapat 3 sampel silinder. Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada sampel silinder beton berdimensi 10 x 20 cm. Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada sampel

dengan umur 28 hari. Masing-masing variasi sampel terdapat 2 sampel silinder.

Sedangkan pengujian *UPV* dilakukan pada benda uji silinder beton daur ulang umur 28 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat homogenitas beton dan juga untuk membandingkan hasil kuat tekan beton (f_c') dari *crushing test* dan *UPV test*.

Tabel 3. Hasil Rata-rata Pengujian Kuat Tekan Beton

Umur (Hari)	Rata- Rata Kuat Tekan f_c' (MPa)				
	AKDU + SCT 0%	AKDU + SCT 2,5%	AKDU + SCT 5%	AKDU + SCT 7,5%	AKDU + SCT 10%
7	13,14	19,25	15,72	12,75	14,43
14	16,34	20,72	18,85	17,89	16,92
28	18,71	24,41	21,85	19,05	19,85
Standar Deviasi Kuat Tekan f_c'					
7	0,63	0,50	1,01	0,97	1,21
14	0,45	0,35	1,00	0,46	0,04
28	0,61	1,50	0,96	0,50	0,14

Berdasarkan Tabel 3 di atas dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan beton daur ulang yang sebagian semennya diganti oleh serbuk cangkang telur lebih besar dari beton daur ulang yang tidak menggunakan serbuk cangkang telur. Satu-satunya kuat tekan yang lebih rendah hanyalah pada campuran 7,5% untuk umur pengujian 7 hari. Untuk kuat tekan tertinggi pada masing-masing umur pengujian adalah campuran dengan serbuk cangkang telur 2,5%.

Tabel 4. Persentase selisih kuat tekan beton umur 7 hari

Komposisi	Kuat Tekan f_c' (MPa)	Persentase Kenaikan dan Penurunan Kekuatan
AKDU + SCT 0%	13,14	0%
AKDU + SCT 2,5%	19,25	+46,51%
AKDU + SCT 5%	15,72	+19,65%
AKDU + SCT 7,5%	12,75	-2,97%
AKDU + SCT 10%	14,43	+9,84%

Pada umur beton 7 hari, kuat tekan beton mengalami kenaikan pada komposisi serbuk cangkang telur 2,5% sebesar 46,51%, untuk komposisi 5% sebesar 19,65% dan untuk komposisi 10% sebesar 9,84% namun mengalami penurunan kekuatan pada komposisi 7,5% sebesar 2,97% jika dibandingkan dengan kekuatan komposisi 0%.

Tabel 5. Persentase selisih kuat tekan beton umur 14 hari

Komposisi	Kuat Tekan f_c' (MPa)	Persentase Kenaikan dan Penurunan Kekuatan
AKDU + SCT 0%	16,34	0%
AKDU + SCT 2,5%	20,72	+26,80%
AKDU + SCT 5%	18,85	+15,38%
AKDU + SCT 7,5%	17,89	+9,48%
AKDU + SCT 10%	16,92	+3,53%

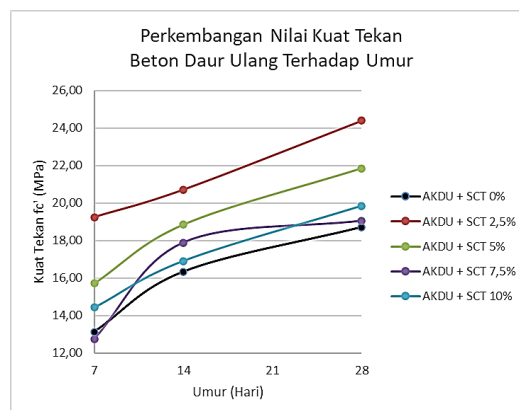
Pada umur beton 14 hari, semua komposisi serbuk cangkang telur mengalami kenaikan kuat tekan beton jika dibandingkan dengan kekuatan

komposisi 0%. Pada komposisi serbuk cangkang telur 2,5% mengalami kenaikan sebesar 26,80%, untuk komposisi 5% sebesar 15,38%, pada komposisi 7,5% sebesar 9,48% dan terakhir untuk komposisi 10% sebesar 3,53%.

Tabel 6. Persentase selisih kuat tekan beton umur 28 hari

Komposisi	Kuat Tekan f_c' (MPa)	Persentase Kenaikan dan Penurunan Kekuatan
AKDU + SCT 0%	18,71	0%
AKDU + SCT 2,5%	24,41	+30,42%
AKDU + SCT 5%	21,85	+16,74%
AKDU + SCT 7,5%	19,05	+1,81%
AKDU + SCT 10%	19,85	+6,10%

Pada umur beton 28 hari, sama seperti umur 14 hari, semua komposisi serbuk cangkang telur mengalami kenaikan kuat tekan beton jika dibandingkan dengan kekuatan komposisi 0%. Pada komposisi serbuk cangkang telur 2,5% mengalami kenaikan sebesar 30,42%, untuk komposisi 5% sebesar 16,74%, pada komposisi 7,5% sebesar 1,81% dan terakhir untuk komposisi 10% sebesar 6,10%. Berdasarkan hasil pengujian hari ke 28, nilai kuat tekan beton daur ulang dengan menggunakan serbuk cangkang telur dapat dikatakan lebih besar dari yang tidak menggunakan serbuk cangkang telur.



Gambar 5. Grafik Perkembangan Nilai Kuat Tekan Beton Daur Ulang Terhadap Umur

Gambar 5 merupakan grafik perkembangan nilai kuat tekan beton terhadap umur, dapat dilihat bahwa kuat tekan beton daur ulang akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya usia beton tersebut. Kenaikan yang terjadi relatif linier kecuali untuk sampel beton daur ulang dengan komposisi serbuk cangkang telur 7,5%.

Tabel 7. Hasil Rata-rata Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Rata-rata Kuat Tarik Belah f_{ct} (MPa)				
AKDU + SCT	AKDU + SCT	AKDU + SCT	AKDU + SCT	AKDU + SCT
0%	2,5%	5%	7,5%	10%
1,92	2,89	2,36	2,29	2,45
Standar Deviasi Tarik Belah f_{ct}				
0,02	0,06	0,02	0,03	0,07

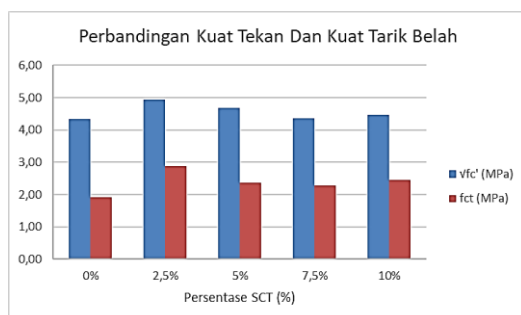
Dari Tabel 7 di atas didapat kuat tarik belah beton tertinggi pada campuran 2,5% sebesar 2,89 MPa. Hasil tersebut mengalami kenaikan paling tinggi sebesar 50,04% jika dibandingkan dengan campuran 0%. Sedangkan untuk kenaikan paling rendah adalah untuk campuran 7,5% dengan persentase kenaikan 18,91%.



Gambar 6. Perbandingan Kuat Tarik Belah antara Beton Menggunakan Campuran Cangkang Telur dan Beton Tidak menggunakan Cangkang Telur

Tabel 8. Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tekan

Kode Sampel	Perbandingan	
	$\sqrt{fc'}$	$fct/\sqrt{fc'}$
AKDU + SCT 0%	4,33	0,445
AKDU + SCT 2,5%	4,94	0,584
AKDU + SCT 5%	4,67	0,506
AKDU + SCT 7,5%	4,36	0,524
AKDU + SCT 10%	4,46	0,549



Gambar 7. Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 7 di atas, nilai kuat tekan dan kuat tarik belah terbesar ada pada komposisi serbuk cangkang telur sebesar 2,5%. Dengan nilai kuat tekan sebesar 24,41 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,89 MPa.

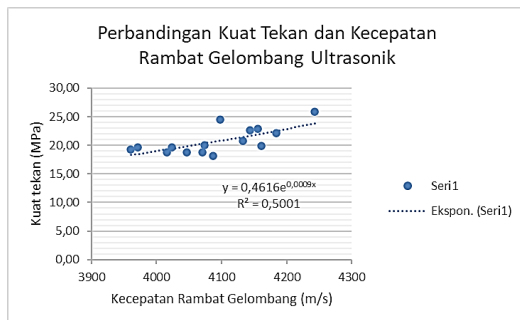
Tabel 9. Hasil Rata-rata Pengujian UPV Beton

Kode Sampel	Cepat Rambat Gelombang g (m/s)	fc' (MPa)
AKDU + SCT 0%	4031	18,85
AKDU + SCT 2,5%	4166	23,20
AKDU + SCT 5%	4153	22,70
AKDU + SCT 7,5%	4019	18,49
AKDU + SCT 10%	4086	20,52

Dari tabel 9 didapatkan kuat tekan dengan metode non-destruktif UPV di mana hasil komposisi 2,5% lebih besar jika dibandingkan dengan komposisi lainnya. Hal ini mendukung hasil pengujian tes tekan sebelumnya di mana didapatkan hasil yang relatif sama. Perbedaan pada kedua metode yang terbesar ada pada sampel beton daur ulang dengan komposisi serbuk cangkang telur 2,5% yaitu sebesar 4,93%. Lalu untuk komposisi 5% dengan perbedaan sebesar 3,90%, untuk komposisi 7,5% sebesar 2,95%, dan untuk 10% yaitu sebesar 3,38%. Sedangkan perbedaan terkecil didapatkan pada komposisi serbuk cangkang telur 0% yaitu sebesar 0,74%.



Gambar 8. Pengujian Kuat Tekan *Crushing Test* Dan Kecepatan Rambat Gelombang Ultrasonik *UPV Test*



Gambar 9. Perbandingan Kuat Tekan *Crushing Test* Dan Kecepatan Rambat Gelombang Ultrasonik *UPV Test*

Berdasarkan Gambar 9 di atas didapatkan hubungan antara kuat tekan dan kecepatan rambat gelombang ultrasonik dengan persamaan eksponensial sebagai berikut.

$$f_c' = 0,3422e^{0,001Vc} \quad (5)$$

Di mana f_c' adalah kuat tekan beton (MPa) dan Vc adalah kecepatan rambat gelombang ultrasonik (m/s). Persamaan eksponensial didapatkan dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,6589$.

Tabel 10. Koefisien Homogenitas dengan Pengujian *UPV Test*

Kode Sampel	Homogenitas
AKDU + SCT 0% 1	0,22%
AKDU + SCT 0% 2	0,38%
AKDU + SCT 0% 3	0,81%
AKDU + SCT 2,5% 1	0,63%
AKDU + SCT 2,5% 2	0,64%
AKDU + SCT 2,5% 3	0,42%
AKDU + SCT 5% 1	1,66%
AKDU + SCT 5% 2	0,41%
AKDU + SCT 5% 3	0,84%
AKDU + SCT 7,5% 1	1,01%
AKDU + SCT 7,5% 2	0,99%
AKDU + SCT 7,5% 3	0,80%
AKDU + SCT 10% 1	1,04%
AKDU + SCT 10% 2	0,40%
AKDU + SCT 10% 3	0,42%

Menurut metode koefisien homogenitas, untuk tingkat homogenitas dengan toleransi 2%, berdasarkan tabel 4.27 di atas maka seluruh sampel pengujian dapat dinyatakan baik tingkat homogenitasnya. Hal tersebut berarti dalam setiap sampel uji beton terdapat komposisi adukan yang seimbang antar material penyusun beton tersebut.

KESIMPULAN

Hasil pengujian kuat tekan beton daur ulang dengan pengujian *crushing test* memiliki sifat yang normal yaitu nilai kuat tekan semakin bertambah seiring dengan pertambahan umur beton daur ulang. Nilai kuat tekan beton daur ulang paling tinggi yaitu sebesar 24,41 MPa dengan komposisi serbuk cangkang telur 2,5% dari semen, sedangkan nilai terkecil adalah sebesar 19,05 MPa dengan komposisi serbuk cangkang telur 7,5%. Untuk Nilai kuat tarik belah beton daur ulang paling tinggi yaitu sebesar 2,89 MPa dengan komposisi serbuk cangkang telur 2,5% dari semen, sedangkan nilai terkecil adalah sebesar 2,29 MPa dengan komposisi serbuk cangkang telur 7,5%.

Nilai kuat tekan beton daur ulang dengan serbuk cangkang telur yang dihasilkan mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan beton daur ulang tanpa serbuk cangkang telur. Persentase kenaikan tertinggi adalah +30,42% untuk komposisi serbuk cangkang telur 2,5%, sedangkan yang paling rendah adalah +1,81% dengan komposisi serbuk cangkang telur 7,5%. Untuk kuat tarik belah didapatkan persentase kenaikan tertinggi adalah 50,04% dengan komposisi 2,5% dan untuk kenaikan terendah adalah 18,91% dengan komposisi 7,5%.

Tingkat homogenitas dari campuran beton daur ulang dengan serbuk cangkang telur yang dihasilkan relatif baik dinilai dari hasil pengujian cepat rambat gelombang *UPV Test*. Tingkat homogenitas yang baik menandakan campuran beton bersifat homogen.

Berdasarkan hasil pengujian dengan metode cepat rambat gelombang *UPV Test* juga didapatkan hasil kuat tekan atau f_c' dari beton daur ulang dengan serbuk cangkang telur. Nilai kuat tekan beton daur ulang paling tinggi adalah 23,20 MPa untuk campuran serbuk cangkang telur 2,5% dan yang paling rendah adalah 18,49 MPa dengan komposisi serbuk cangkang telur 7,5%. Selain itu, dari hasil perbandingan hasil kuat tekan dan kecepatan rambat gelombang dari *UPV Test* didapatkan persamaan eksponensial $f_c' = 0,3422e^{0,001V_c}$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,6589$. Di mana f_c' adalah kuat tekan dan V_c adalah kecepatan rambat gelombang ultrasonik.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dari hasil kuat tekan dan kuat tarik belah, komposisi penggunaan cangkang telur paling baik dalam campuran beton adalah 2,5%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pancasila Jakarta dan Laboratorium Bahan Dan Material FTUI Depok yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mc Cormac and Jack C (2004). *Desain Beton Bertulang*, 2nd ed. Jakarta: Erlangga.
- [2] M. Behera, S. K. Bhattacharyya, A.K. Minocha, R. Deoliya, and S. Maiti. (2014). "Recycled Aggregate from C&D Waste & its Use in Concrete," *Constr Build Mater*.
- [3] Suharmanto (2008). "Studi Eksperimental Agregat Daur Ulang," *Institut Teknologi Bandung*.
- [4] A. Wulandari. (2008). "Studi Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Dengan Menggunakan Agregat Daur Ulang," Universitas Indonesia.
- [5] Soelarso dkk. (2016). "Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas," Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [6] Balqis Fara Norita. (2019). "Pengaruh Umur Pada Beton Daur Ulang Terhadap Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik," Universitas Indonesia, Depok.
- [7] Badan Pusat Statistik. (2019). "Produksi Telur Ayam Petelur,"
- [8] G. D. Butcher and R. Miles, "Concepts of Eggshell Quality," *University of Florida*, 1990.

- [9] E. Jaka Saputra. (2019). "Pengaruh Cangkang Telur Sebagai Replacement Semen Terhadap Kuat Tekan Mortar," Universitas Pancasila.
- [10] Y. F. Z. Dewi, H. Manalip dan R. S. Windah. (2020). "Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Belah Beton," Sipil Statik, vol. 8.
- [11] R. F. Pohan dan M. Rambe. (2022). "Beton Ramah Lingkungan Dengan Cangkang Telur Sebagai Pengganti Sebagian Semen," METIKS, vol. 2.
- [12] American Concrete Institute, (2009). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*
- [13] Badan Standardisasi Nasional, (2011). *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.*
- [14] Badan Standardisasi Nasional, (2002). *Metode pengujian kuat tarik belah beton.*
- [15] Badan Standardisasi Nasional, (2012). *Metode uji kecepatan rambat gelombang melalui beton (ASTM C 597-02, IDT).*
- [16] M. Benaicha, O. Jalbaud, X. Roguiez, A. H. Alaoui, and Y. Burtschell, (2015). "Prediction of Self-Compacting Concrete Homogeneity by Ultrasonic Velocity," *Alexandria Engineering Journal.*