



## ST-4

# PENGARUH CANGKANG TELUR TERHADAP KUAT TEKAN, POROSITAS, DAN PERMEABILITAS PADA BETON POROUS SEBAGAI MATERIAL *GREEN BUILDING*

Harmiyati<sup>1\*</sup>, Devi Syahputri<sup>2</sup> dan Deddy Purnomo Retno<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nst No.113, Pekanbaru  
e-mail: [harmiyati.mimi@eng.uir.ac.id](mailto:harmiyati.mimi@eng.uir.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nst No.113, Pekanbaru  
e-mail: [devisyahputri13@gmail.com](mailto:devisyahputri13@gmail.com)

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nst No.113, Pekanbaru  
e-mail: [deddy.purnomo@eng.uir.ac.id](mailto:deddy.purnomo@eng.uir.ac.id)

## ABSTRAK

Pengaplikasian beton porous pada konstruksi masih jarang digunakan karena mempunyai kelemahan dari sisi kuat tekannya. Dengan kuat tekan standar 12 MPa dapat diaplikasikan sebagai area parkir, jalan dengan intensitas ringan, dan trotoar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan cangkang telur terhadap kuat tekan, porositas, permeabilitas dan diharapkan mencapai target *GreenShip New Building* pada kategori konservasi air serta sumber dan siklus material. Metode penelitian ini dilaksanakan berdasarkan standarisasi dari SNI 7656-2012 dan ACI 522R-10 untuk pengujian kuat tekan, porositas dan permeabilitas terhadap beton porous. Benda uji berupa beton silinder berukuran 15 x 30 cm dengan variasi penambahan cangkang telur sebesar 0%, 1,5%, 3%, dan 4,5% terhadap berat semen sebanyak 36 sampel. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan rata-rata beton porous pada umur 28 hari dengan total benda uji sebanyak 3 sampel untuk variasi 0%, 1,5%, 3%, dan 4,5% secara berturut-turut adalah 12,2 MPa, 13,6 MPa, 16,5 MPa, dan 20,3 MPa. Hasil porositas rata-rata beton porous dengan total benda uji sebanyak 3 sampel untuk variasi 0%, 1,5%, 3%, dan 4,5% secara berturut-turut adalah 24,5%, 23,3%, 22,9%, dan 21,6%. Hasil permeabilitas rata-rata beton porous dengan total benda uji sebanyak 3 sampel untuk variasi 0%, 1,5%, 3%, dan 4,5% secara berturut-turut adalah 0,50 cm/det, 0,41 cm/det, 0,31 cm/det, dan 0,24 cm/det. Sehingga beton porous dengan tambahan cangkang telur pada penelitian ini menggunakan material ramah lingkungan yang sesuai dengan kategori pertama konversi air dan kategori kedua sumber dan siklus material pada penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI.

Kata kunci: Beton Porous, Kuat Tekan, Permeabilitas.

## PENDAHULUAN

Berkurangnya kawasan hijau dan resapan air merupakan beberapa faktor dari dampak negatif dari perkembangan konstruksi di Indonesia yang berkembang pesat. Perubahan tata guna lahan tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan menyebabkan infiltrasi pada tanah terhambat dan limpasan permukaan air meluap. Untuk mengurangi risiko ini, diperlukan penggunaan material yang tepat.

Menurut SNI 7656-2012, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Keunggulan material beton pada dunia konstruksi yaitu karena mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap api, harga yang relatif murah, pengerjaannya cukup mudah karena dapat dicetak sesuai keinginan, serta biaya perawatan yang relatif murah (Absari, 2019).

Salah satu inovasi yang dilakukan adalah beton porous, agregat halus yang dihilangkan pada campuran beton dapat menghasilkan beton yang berpori sehingga membuat beton porous menjadi mudah meloloskan air. Pengaplikasian beton porous pada konstruksi ringan seperti tempat parkir, trotoar/area pejalan kaki, taman, dan perkerasan kaku untuk jalan lokal dengan intensitas lalu lintas rendah beton porous dapat dimanfaatkan (Desmaliana et al., 2018).

Cangkang telur mengandung sekitar 95% kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan berat 5.5 gram dan rata-rata dari cangkang telur mengandung 3% fosfor dan 3% terdiri atas magnesium, natrium, kalium (Ashariyanto

et al., 2022). Kalsium karbonat merupakan salah satu unsur penyusun terpenting dalam produksi beton yaitu semen portland, sehingga peneliti melakukan inovasi dengan menambahkan cangkang telur pada beton porous. Penggunaan cangkang telur dalam penelitian ini dapat mengurangi jumlah cangkang telur yang cukup besar karena telur banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik untuk pangan dan kuliner yang limbahnya berdampak pada lingkungan (Pohan & R Rambe, 2022).

Kuat tekan beton porous dengan penambahan cangkang telur, apabila mampu mencapai kuat tekan rencana 12 MPa atau melebihi tentunya beton porous ini dapat diaplikasikan pada konstruksi ringan seperti area parkir, trotoar jalan, taman, serta lalu lintas dengan intensitas ringan. Pemanfaatan cangkang telur pada beton porous diharapkan dapat mencapai target sumber dan siklus material *GreenShip New Building* serta mampu memperkuat karakteristik beton porous yang mempunyai sifat meloloskan air untuk mencapai target *GreenShip New Building* pada kategori konservasi air.

## KAJIAN PUSTAKA

### Beton Porous

Menurut ACI 522R-10 beton porous dapat dideskripsikan sebagai beton yang memiliki nilai slump mendekati nol, yang terbentuk dari semen portland, agregat kasar, sedikit agregat halus atau tidak sama sekali, campuran tambahan, dan air. Beton porous merupakan jenis beton yang mempunyai rongga atau pori-pori sehingga beton yang dihasilkan akan meloloskan air. Beton porous merupakan jenis beton ringan yang memiliki volume porositas antara berkisar 10 - 25% yang memungkinkan air hujan dapat melewati dan masuk ke dalam tanah untuk mengurangi limpasan permukaan. (Idrus, A. R., 2021).

Beton porous memiliki kekuatan yang rendah dibandingkan beton konvensional, namun mempunyai porositas yang tinggi sehingga cocok untuk pengaplikasian pada konstruksi ringan seperti area parkir, trotoar untuk pejalan kaki, taman, serta perkerasan kaku untuk jalan lokal dengan intensitas lalu lintas yang rendah, lapangan tenis, dan lainnya.

### Bahan Tambah (Cangkang Telur)

Bahan tambahan merupakan bahan selain material penyusun pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada campuran beton. Penambahan bahan tambah ini bisa dilakukan pada saat pengadukan beton. Bahan tambah digunakan untuk mengubah atau memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton. Bahan tambahan pada penelitian ini adalah limbah cangkang telur yang telah dihaluskan. Cangkang telur mengandung sekitar 95% kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan berat 5.5 gram dan rata-rata dari cangkang telur mengandung 3% fosfor dan 3% terdiri atas magnesium, natrium, kalium (Ashariyanto et al., 2022). Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari kapur, silika, aluminium oksida, besi (III) oksida dan kalsium karbonat yang merupakan oksida dominan. Kandungan cangkang telur yang sama pada semen menjadi bahan tambah pada beton porous diharapkan dapat meningkatkan mutu terhadap beton porous.

### Kuat Tekan Beton Porous

Kuat tekan adalah suatu nilai yang ditunjukkan oleh besarnya beban tekan yang dapat dipikul oleh benda uji dari beton tersebut sampai runtuh. Kuat tekan biasanya ditentukan *compression testing machine* yang bekerja secara hidrolis. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Nilai kuat tekan beton meningkat sejalan dengan peningkatan umurnya dan pada umur 28 hari, beton mencapai kekuatan maksimal. Nilai kuat tekan beton diukur dengan membuat benda uji berbentuk silinder atau kubus. Rumus yang dipakai dalam pemeriksaan kuat tekan beton adalah sebagai berikut :

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

dengan  $f_c'$  = kuat tekan benda uji (MPa), P = besar beban maksimum (N), dan A = luas penampang benda uji (mm).



### Porositas Beton Porous

Porositas merupakan perbandingan antara volume rongga udara terhadap volume total dari keseluruhan benda uji beton porous. Pada beton porous nilai porositas dipengaruhi oleh besar kecilnya rongga udara yang terbentuk. Semakin besar rongga udara, maka semakin tinggi nilai porositas pada beton porous karena dapat meloloskan air dengan cepat. Berdasarkan ketetapan ACI 522R-10 rentang nilai porositas yang diperbolehkan adalah 15 hingga 25 %. Rumus yang digunakan pada pengujian porositas beton porous adalah sebagai berikut :

$$P_t = \frac{(V_b - (V_{a'} - V_t))}{V_b} \times 100 \quad (2)$$

dengan  $P_t$  = nilai porositas (%),  $V_b$  = volume total benda uji ( $\text{cm}^3$ ),  $V_{a'}$  = volume air dalam wadah dan benda uji ( $\text{cm}^3$ ), dan  $V_t$  = volume air dalam wadah awal ( $\text{cm}^3$ ).

### Permeabilitas Beton Porous

Permeabilitas merupakan kemampuan pori-pori beton untuk meloloskan air. Pasta semen yang telah mengeras tersusun atas banyak partikel, dihubungkan antar permukaan yang jumlahnya relatif lebih kecil dari total permukaan partikel yang ada. Menurut ACI 522R-10 menyatakan bahwa nilai permeabilitas pada beton porous yang diperoleh berkisar antara 0,14 hingga 1,22 cm/detik. Nilai permeabilitas pada beton porous dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_r = \frac{h_a}{t'} \quad (3)$$

dengan  $P_r$  = nilai permeabilitas (cm/s),  $h_a$  = tinggi air yang mengalir beton (cm), dan  $t'$  = waktu air mengalir (s).

### Permeabilitas Beton Porous

Penilaian *GreenShip New Building* dilakukan oleh organisasi independen yang disusun oleh *Green Building Council Indonesia* melakukan sertifikasi bangunan yang ditujukan untuk bangunan baru yang berkaitan dengan desain dan konstruksi bangunan. *Green Building Council Indonesia (GBCI)* adalah organisasi independen (non-pemerintah dan tidak berorientasi pada keuntungan) yang berkomitmen penuh untuk pendidikan publik dalam menerapkan praktik terbaik lingkungan dan memfasilitasi transformasi industri bangunan yang berkelanjutan.

Penilaian yang dilakukan oleh GBCI untuk beton porous menggunakan kriteria Manajemen dan Konservasi Air (*Water Management and Conservation*). Kriteria ini dapat diberlakukan karena beton porous mempunyai sifat yang dapat meloloskan air dengan baik yang berguna untuk manajemen air yang baik. Kriteria berikutnya adalah Sumber dan Siklus Material (*Material Resources and Cycle*) karena pada pembuatan beton porous ini peneliti menggunakan limbah rumah tangga yang dimanfaatkan menjadi bahan tambahan pada beton porous, yang diharapkan hasil dari pada penambahan ini dapat meningkatkan kualitas yang ada pada beton porous.

Tabel 1. Tolak Ukur Kategori Konservasi Air (GBCI, 2013)

<b>Konservasi Air</b>	<b>21</b>
<b>WAC 1 Meteran Air</b>	
<b>Tujuan</b>	
	Meningkatkan penghematan penggunaan air bersih yang akan mengurangi beban konsumsi air bersih dan mengurangi keluaran air limbah

---

**Tolak Ukur**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | Konsumsi air bersih dengan jumlah tertinggi 80% dari sumber primer tanpa mengurangi jumlah kebutuhan per orang sesuai dengan SNI 03-7065-2005 seperti pada tabel terlampir. | 1 | 8 |
| 2 | Setiap penurunan konsumsi air bersih dari sumber primer sebesar 5% sesuai dengan acuan pada tolok ukur 1 akan mendapatkan 1 nilai dengan nilai maksimum sebesar 7 nilai.    | 7 |   |

---

**WAC 3 Daur Ulang Air**

**Tujuan**

Menyediakan air dari sumber daur ulang yang bersumber dari air limbah gedung untuk mengurangi kebutuhan air dari sumber utama.

**Tolak Ukur**

- |    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 1A | Penggunaan seluruh air bekas pakai ( <i>grey water</i> ) yang telah di daur ulang untuk kebutuhan sistem <i>flushing</i> atau <i>cooling tower</i> .        | 2 | 3 |
|    | Atau  |   |   |
| 1B | Penggunaan seluruh air bekas pakai ( <i>grey water</i> ) yang telah didaur ulang untuk kebutuhan sistem <i>flushing</i> dan <i>cooling tower</i> - 3 nilai. | 3 |   |

Apabila menggunakan sistem pendingin *non water cooled*, maka kriteria ini menjadi tidak berlaku sehingga total nilai menjadi 100.

---

**WAC 4 Sumber Air Alternatif**

**Tujuan**

Menggunakan sumber air alternatif yang diproses sehingga menghasilkan air bersih untuk mengurangi kebutuhan air dari sumber utama.

**Tolak Ukur**

- |    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 1A | Menggunakan salah satu dari tiga alternatif sebagai berikut: air kondensasi AC, air bekas wudhu, atau air hujan.  | 1 | 2 |
|    | Atau  |   |   |
| 1B | Menggunakan lebih dari satu sumber air dari ketiga alternatif di atas.  | 2 |   |
|    | Atau  |   |   |
| 1C | Menggunakan teknologi yang memanfaatkan air laut atau air danau atau air sungai untuk keperluan air bersih sebagai sanitasi, irigasi dan kebutuhan lainnya. | 2 |   |

Tabel 2. Tolak Ukur Kategori Sumber dan Siklus Material (GBCI, 2013)

**MRC 2 Material Ramah Lingkungan**

**Tujuan**

Mengurangi jejak ekologi dari proses ekstraksi bahan mentah dan proses produksi material.

**Tolak Ukur**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | Menggunakan material yang memiliki sertifikat sistem manajemen lingkungan pada proses produksinya minimal bernilai 30% dari total biaya material. Sertifikat dinilai sah bila masih berlaku dalam rentang waktu proses pembelian dalam konstruksi berjalan. | 1 | 3 |
| 2 | Menggunakan material yang merupakan hasil proses daur ulang minimal bernilai 5% dari total biaya material.  | 1 |   |
| 3 | Menggunakan material yang bahan baku utamanya berasal dari sumber daya (SD) terbarukan dengan masa panen jangka pendek (<10 tahun) minimal bernilai 2% dari total biaya material.   | 1 |   |

**METODOLOGI PENELITIAN**

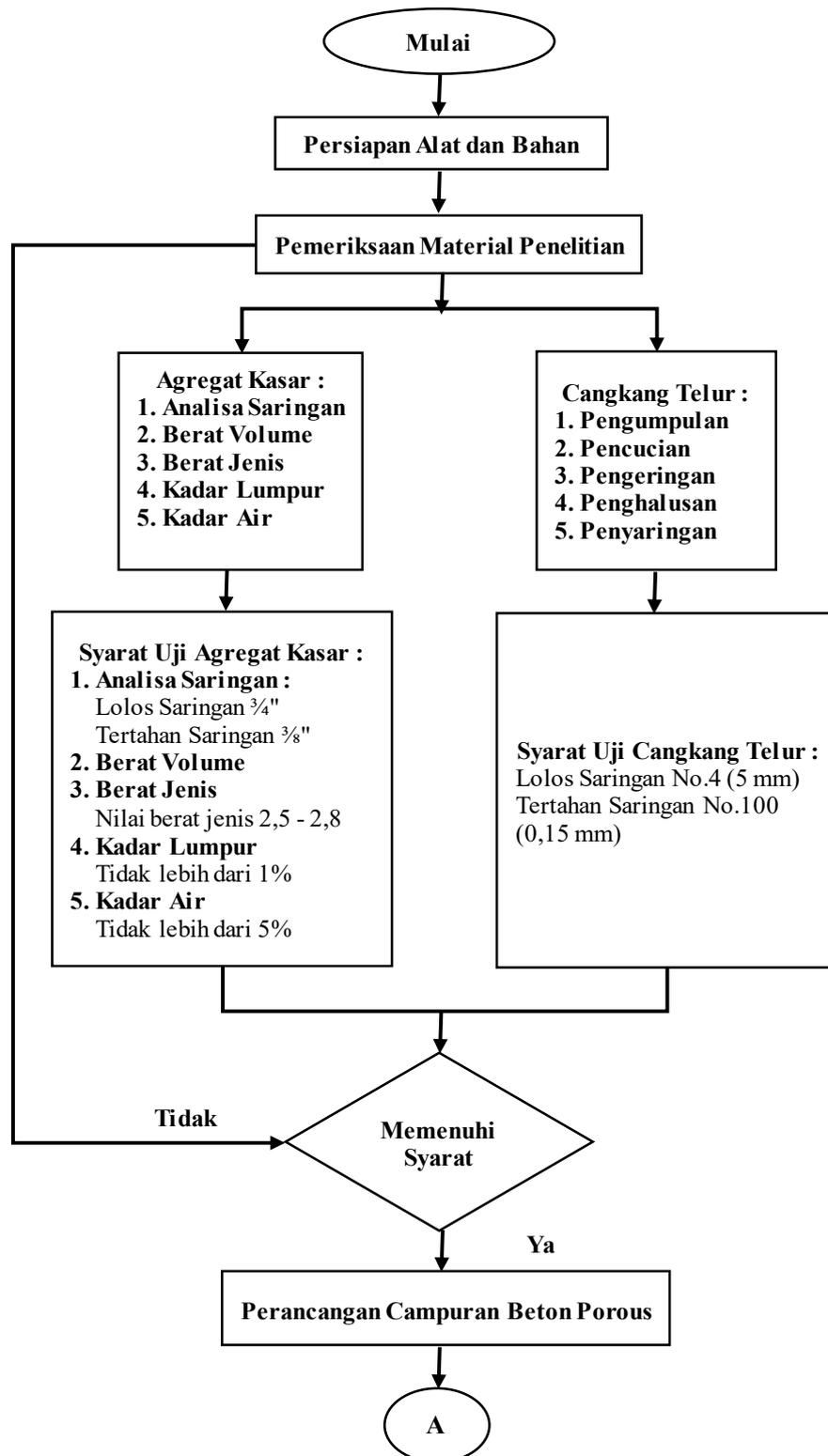
**Lokasi Penelitian**

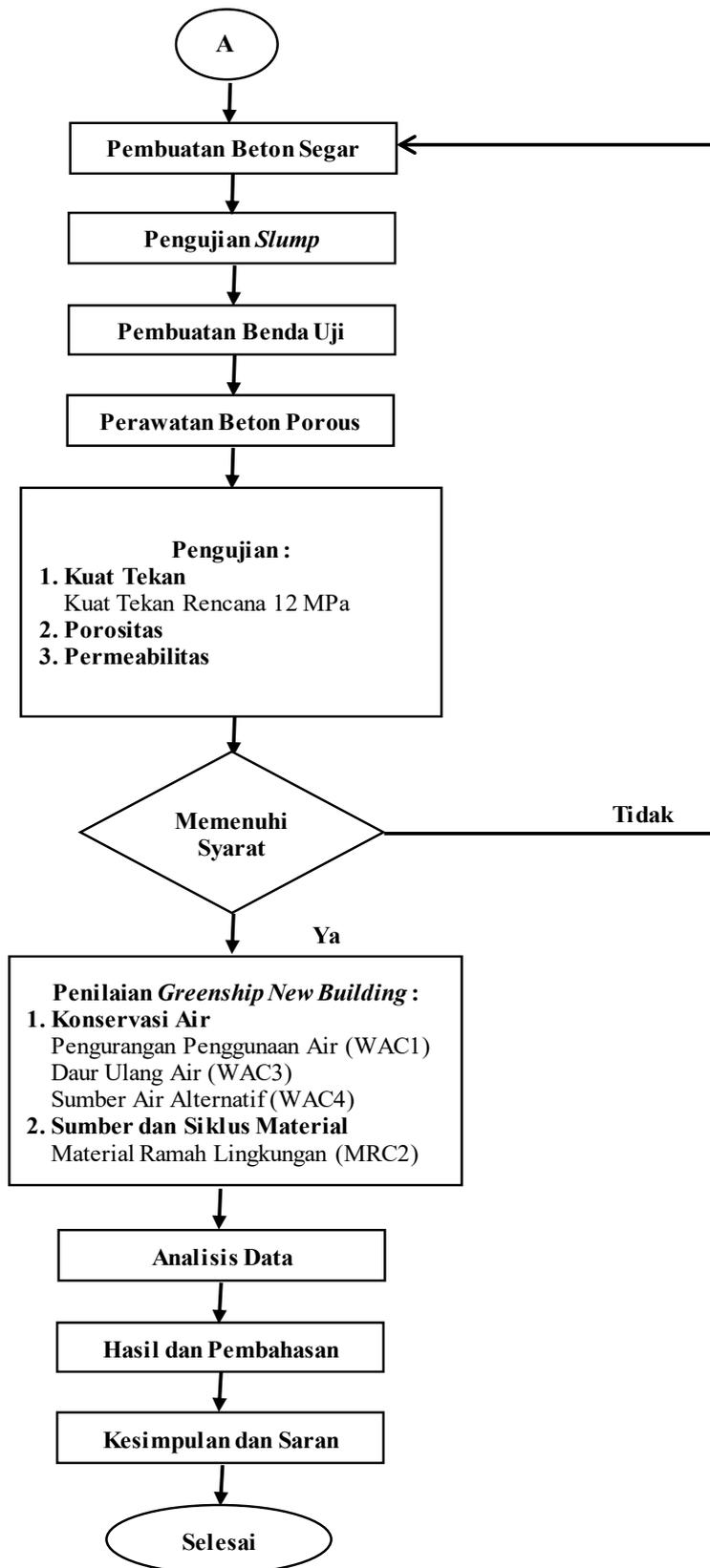
Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur, Material dan Komputer Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Dalam hal ini dilakukan adalah pemeriksaan material seperti pengujian analisis gradasi agregat, pengujian berat volume, pengujian berat jenis, pengujian kadar lumpur, pengecoran atau pembuatan benda uji, *mix design*, uji *slump*, perawatan beton, uji kuat tekan, uji porositas dan uji permeabilitas beton.

**Jenis Penelitian**

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan melakukan pengujian beton porous yang mengacu pada SNI 7656-2012 dan ACI 522R-10. Benda uji berupa silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan variasi penambahan cangkang telur sebesar 0%, 1,5%, 3%, dan 4,5% dari berat semen. Pengujian kuat tekan, porositas dan permeabilitas dilakukan pada umur perawatan beton porous 28 hari.

## Bagan Alir Penelitian





Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

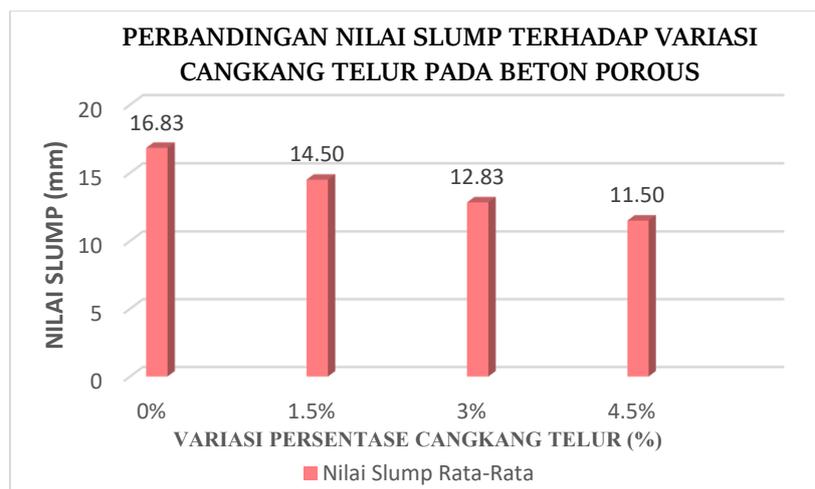
Perancangan campuran beton porous mempunyai tujuan untuk mengetahui proporsi campuran antara semen, agregat kasar, dan air. Pada perancangan campuran beton porous dibutuhkan proporsi campuran yang tepat agar menghasilkan beton yang sesuai dengan mutu yang telah direncanakan.

Tabel 3. Hasil Perancangan Campuran Beton Porous per m<sup>3</sup>

Rasio Semen/Agregat	Semen (kg)	Agregat kasar ( <i>Split</i> ) (kg)	FAS	Air (liter)	Persentase Cangkang Telur (%)	Cangkang Telur (kg)
1 : 4	370	1480	0,3	111	0	0
1 : 4	370	1480	0,3	111	1,5	5,55
1 : 4	370	1480	0,3	111	3	11,10
1 : 4	370	1480	0,3	111	4,5	16,65

### Hasil Pemeriksaan Nilai *Slump* Beton Porous

Pada pemeriksaan nilai *slump* bertujuan untuk mengukur kekentalan adukan beton yang dinyatakan dalam mm dan ditentukan dengan menggunakan kerucut Abram. Berdasarkan ACI 522R-10 menyatakan bahwa nilai *slump* pada beton porous mempunyai nilai *slump* mendekati nol. Berdasarkan SNI 7656-2012 nilai *slump* beton porous yang baik dapat diambil pada nilai yang terkecil yaitu 25 mm. Hasil pemeriksaan nilai *slump* beton porous pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

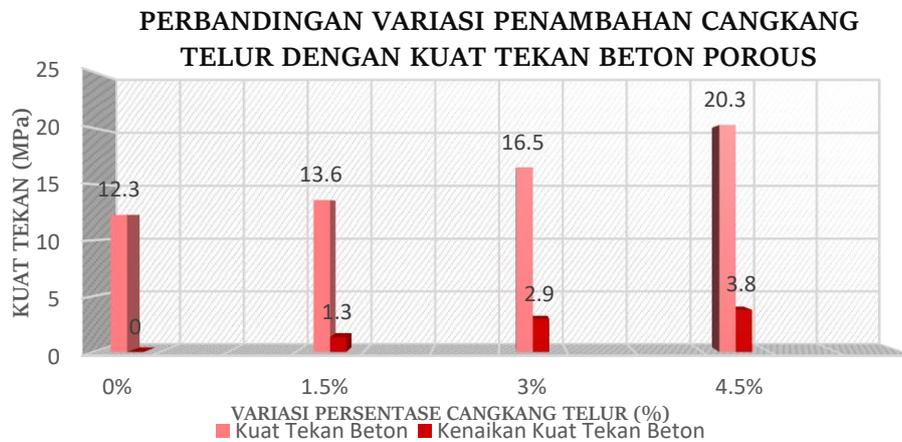


Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai *Slump* terhadap Variasi Cangkang Telur pada Beton Porous

### Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Beton Porous

Pemeriksaan kuat tekan beton porous dilakukan setelah melalui perawatan beton dengan cara perendaman selama 28 hari. Pemeriksaan ini dilakukan pada 3 sampel beton porous yang berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm. Nilai kuat tekan beton porous pada variasi penambahan 0% cangkang telur nilai kuat tekan

rata-rata sebesar 12,3 MPa, pada variasi penambahan 1,5% cangkang telur nilai kuat tekan rata-rata sebesar 13,6 MPa, pada variasi penambahan 3% cangkang telur nilai kuat tekan rata-rata sebesar 16,5 MPa, serta pada variasi penambahan 4,5% cangkang telur nilai kuat tekan rata-rata sebesar 20,3 MPa.

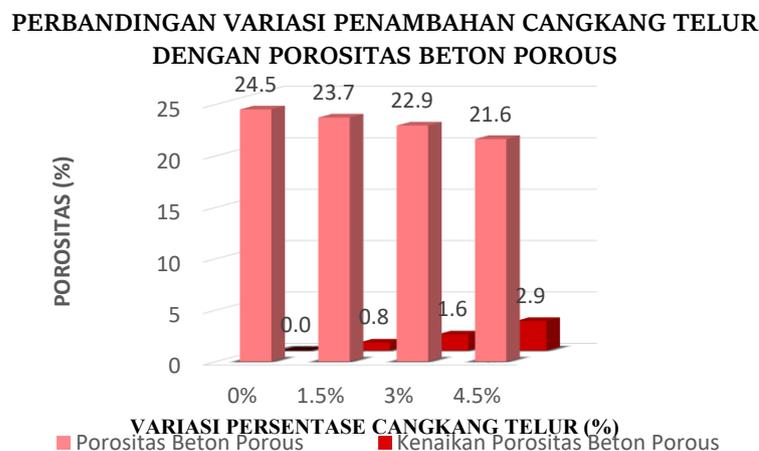


Gambar 3. Grafik Perbandingan Variasi Penambahan Cangkang Telur dengan Kuat Tekan

Dari gambar 3. dapat dilihat pengaruh persentase cangkang telur terhadap nilai kuat tekan beton porous yaitu semakin besar persentase cangkang telur pada beton porous maka nilai kuat tekan akan semakin besar begitu pula sebaliknya. Pada hasil pemeriksaan kuat tekan beton porous terjadi kenaikan yang signifikan di setiap variasi penambahan cangkang telur.

### Hasil Pemeriksaan Porositas Beton Porous

Pada pemeriksaan porositas bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara volume rongga udara terhadap volume total dari beton porous. Pada pemeriksaan ini dilakukan pada 3 sampel beton porous untuk variasi penambahan cangkang telur yaitu, 0%, 1,5%, 3% dan 4,5%. Pada pemeriksaan nilai porositas telah memenuhi standar nilai porositas berdasarkan ACI 522R-10 yaitu 15% - 25%. Hasil pemeriksaan porositas pada beton normal tanpa tambahan cangkang telur yaitu 24,5%, beton porous dengan variasi penambahan 1,5% cangkang telur nilai porositas rata-rata 23,7% mengalami penurunan sebesar 0,8% dibandingkan dengan beton porous normal. Pada beton porous dengan variasi penambahan 3% nilai porositas rata-rata 22,9% sedangkan pada beton porous dengan variasi penambahan 4,5% nilai rata-rata porositasnya sebesar 21,6%. Hasil perbandingan nilai porositas rata-rata dari beton porous normal dan beton porous dengan variasi penambahan 4,5% mengalami penurunan sebesar 2,9%.

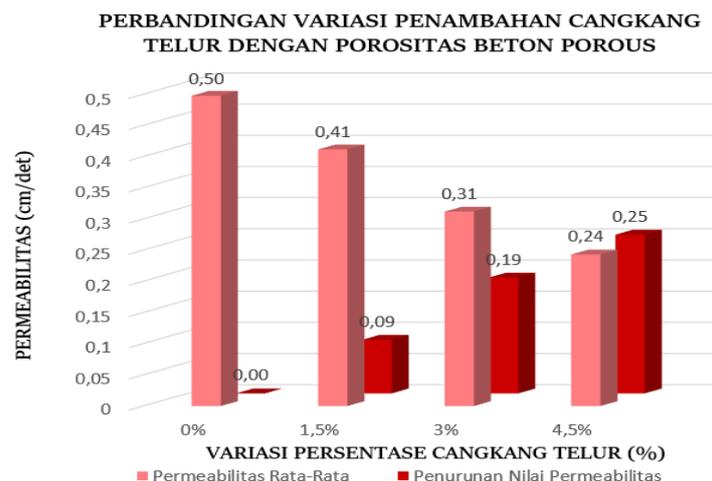


Gambar 4. Grafik Perbandingan Penambahan Cangkang Telur dengan Porositas

Dari gambar 4. dilihat bahwa nilai porositas dengan penambahan cangkang telur mengalami penurunan. Hasil pemeriksaan nilai porositas tersebut dapat dilihat pengaruh persentase cangkang telur terhadap nilai porositas berbanding terbalik, semakin besar persentase cangkang telur pada beton porous maka nilai porositas akan semakin kecil.

### Hasil Pemeriksaan Porositas Beton Porous

Pemeriksaan permeabilitas dilakukan untuk mengetahui persentase kemampuan beton porous untuk meloloskan air secara vertikal dalam satuan waktu tertentu. Pada pemeriksaan ini dilakukan pada 3 sampel beton porous untuk variasi penambahan cangkang telur yaitu, 0%, 1,5%, 3% dan 4,5% dari berat semen. Nilai permeabilitas rata-rata pada beton normal tanpa tambahan cangkang telur yaitu 0,50 cm/det, beton porous dengan variasi penambahan 1,5% cangkang telur nilai permeabilitas rata-rata 0,41 cm/det mengalami penurunan sebesar 0,09 cm/det dibandingkan dengan beton porous normal. Pada beton porous dengan variasi penambahan 3% nilai permeabilitas rata-rata 0,31 cm/det sedangkan pada beton porous dengan variasi penambahan 4,5% nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,24 cm/det. Hasil pemeriksaan permeabilitas beton porous normal dan variasi penambahan cangkang telur semua telah memenuhi nilai standar permeabilitas berdasarkan ACI 522R-10 yaitu 0,14 hingga 1,22 cm/det.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Penambahan Cangkang Telur dengan Permeabilitas

Dari gambar 5. dapat dilihat bahwa nilai permeabilitas rata-rata pada penambahan cangkang telur mengalami penurunan. Pengaruh penambahan cangkang telur berbanding terbalik pada nilai permeabilitas, semakin besar persentase cangkang telur pada beton porous maka nilai permeabilitas akan semakin kecil begitu pula sebaliknya.

### Penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI Kategori Konversi Air

Penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI dilakukan dengan mengamati kriteria yang tepat untuk menghasilkan poin maksimal yang sesuai dengan beton porous. Penilaian ini dilakukan agar menghasilkan beton porous yang dapat mengelola dan meminimalisir penggunaan air sesuai dengan prinsip *GreenShip New Building*. Pada kategori konservasi air, kriteria yang tepat menurut peneliti yaitu, pengurangan penggunaan air (WAC1) dengan poin maksimal 8 poin, daur ulang air (WAC3) dengan poin maksimal 3 poin, dan sumber air alternatif (WAC4) dengan poin maksimal 2 poin.



Tabel 4. Nilai Porositas dan Permeabilitas pada Beton Porous

Persentase Cangkang Telur	Porositas Rata-rata (%)	Permeabilitas Rata-rata (cm/det)
0%	24,5	0,50
1,5%	23,7	0,41
3%	22,9	0,31
4,5%	21,6	0,24

Pada pengujian permeabilitas beton porous dengan campuran cangkang telur didapatkan nilai permeabilitas tertinggi pada campuran 1,5% dengan nilai 0,41 cm/det 72,45 mL/det. Dari data permeabilitas, air yang lolos dari beton porous dapat digunakan kembali untuk menjadi sumber air alternatif. Bentuk dari beton porous yang berpori-pori dapat menjadikan beton porous sebagai media untuk filtrasi air pada suatu konstruksi bangunan seperti trotoar, kastin, serta beton pracetak sehingga air yang lolos dari pori-pori trotoar akan masuk melalui penyaringan filtrasi dari beton porous. Pengaplikasian beton porous pada trotoar jalan juga dapat mengurangi limpasan air akibat hujan. Limpasan air akan melewati pori-pori lalu menyalurkan air pada limpasan permukaan sehingga tidak genangan pada trotoar jalan. Penelitian penambahan cangkang telur pada beton porous ini dapat diaplikasikan sebagai material penunjang program *green building* pada kategori konservasi air dengan kriteria pengurangan penggunaan air, daur ulang air, dan sumber air alternatif memperoleh poin sebesar 13 poin pada penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI.

### Penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI Kategori Sumber dan Siklus Material

Pada kategori sumber dan siklus material dengan penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI berfokus kepada penggunaan material yang ramah lingkungan pada suatu konstruksi tanpa mengurangi nilai kuat tekannya. Pada penilaian ini spesifikasi material ramah lingkungan yaitu material yang digunakan tidak merusak alam, tidak berdampak bagi kesehatan, serta material yang diambil dari limbah untuk digunakan kembali. Pada kategori sumber dan siklus material peneliti berfokus pada kriteria material ramah lingkungan (MRC2) dengan poin maksimal 3 poin.

Tabel 6. Berat Penggunaan Cangkang Telur pada Beton Porous per m<sup>3</sup>

Persentase Cangkang Telur	Berat Cangkang Telur (kg)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
0%	0,0	12,3
1,5%	5,6	13,6

3%	11,1	16,5
4,5%	16,7	20,3

Dari data penelitian dapat dilihat bahwa dengan penambahan cangkang telur dengan persentase maksimal 4,5% dari berat semen setara dengan 16,7 kg tiap m<sup>3</sup> didapat nilai kuat tekan rata-rata 20,3 MPa melebihi batas perencanaan awal yaitu 12 MPa. Maka dapat disimpulkan penambahan cangkang telur pada beton porous dapat diaplikasikan pada konstruksi ringan. Pemilihan cangkang telur dilakukan karena sifatnya yang berupa limbah untuk dimanfaatkan kembali menjadi bahan tambah pada beton porous. Pada kriteria material ramah lingkungan (MRC2) sesuai dengan kategori sumber dan siklus material pada penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI memperoleh poin maksimal sebesar 3 poin.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan mengenai analisis pengaruh penambahan cangkang telur dengan variasi 0%, 1,5%, 3%, dan 4,5% dari berat semen pada kuat tekan, porositas, dan permeabilitas beton porous sebagai material penunjang program *green building* sesuai dengan SNI 7656-2012 dan ACI 522R-10 sebagai berikut :

Kuat tekan rata-rata yang diperoleh beton porous pada umur 28 hari sebanyak 3 sampel dengan variasi penambahan cangkang telur 0% sebesar 12,3 MPa, 1,5% sebesar 13,6 MPa, 3% sebesar 16,5 MPa, dan 4,5% sebesar 20,3 MPa. Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan cangkang telur dapat meningkatkan kuat tekan beton porous secara signifikan. Kuat tekan terbesar diperoleh pada variasi penambahan cangkang telur 4,5% dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 20,3 MPa yang memenuhi nilai kuat tekan rencana sebesar 12 MPa.

Porositas rata-rata pada beton porous dengan total benda uji sebanyak 3 sampel untuk variasi penambahan cangkang telur 0% sebesar 24,5%, 1,5% sebesar 23,7%, 3% sebesar 22,9%, dan 4,5% sebesar 21,6%. Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan cangkang telur dapat menyebabkan porositas pada beton porous mengalami penurunan tetapi masih masuk ke dalam standar perancangan beton porous yaitu 15 – 25%.

Permeabilitas rata-rata pada beton porous dengan total benda uji sebanyak 3 sampel untuk variasi penambahan cangkang telur 0% sebesar 0,50 cm/det, 1,5% sebesar 0,41 cm/det, 3% sebesar 0,31 cm/det, dan 4,5% sebesar 0,24 cm/det. Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan cangkang telur dapat menyebabkan permeabilitas pada beton porous mengalami penurunan tetapi masih masuk dalam standar perancangan beton porous yaitu 0,14 – 1,22 cm/det.

Penambahan cangkang telur pada beton porous dengan variasi penambahan 0%, 1,5%, 3%, dan 4,5% dapat memenuhi kategori konservasi air dan sumber siklus material pada penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI. Pada kategori konservasi air dengan nilai porositas 21,6% - 24,5%, dan nilai permeabilitas 0,24 – 0,50 cm/det dari kedua nilai ini pengaplikasian cangkang telur pada beton porous dapat menjadi sumber air alternatif sehingga dapat mengurangi penggunaan air serta daur ulang air. Pada kategori sumber dan siklus material, penggunaan limbah cangkang telur sebanyak 5,6 kg – 16,7 kg setiap m<sup>3</sup> beton porous dapat meningkatkan kuat tekan beton porous melebihi kuat tekan rencana 12 MPa dimana kuat tekan rata-rata yang didapat adalah 13,6 MPa – 20,3 MPa. Pada penilaian *GreenShip New Building* oleh GBCI beton porous dengan tambahan cangkang telur dapat menjadi material yang ramah lingkungan dengan perolehan nilai maksimal sebesar 16 poin.

## DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, R., Nanda, R. E., Warman, H., & Mulyani, R. (2022). "Penggunaan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous". *Jurnal Rekayasa*, 12(1), 11–25.



- Ashariyanto, Y., Diana, A. I. N., & Deshariyanto, D. (2022). "Pengaruh Penggunaan Serbuk Kulit Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton". *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 4(2), 114–119.
- Desmaliana, E., Herbudiman, B., & Lesmana, R. (2018). "Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous Dengan Variasi Faktor Air Semen". (Vol. 15, Issue 1).
- Dewi, Y. F. Z., Manalip, H., & Windah, R. S. (2020). "Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3).
- Fatmayati, D. M., Trisiana, A., & Wicaksono, L. A. (2021). "Analisis Tingkat Capaian Green Buil"ding Berdasarkan Greenship untuk Bangunan Baru Versi 1.2 (Studi Kasus: Hotel Kokoon Banyuwangi)". *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 2(1), 27–34.
- Green Building Council Indonesia. (2013). "Greenship untuk Bangunan Baru Versi 1.2". Jakarta : Departement of Rating Development GBCI.
- Hanta, L., & Makmur, A. (2015). "Studi Eksperimental Pengaruh Bentuk Agregat Terhadap Nilai Porositas Dalam Campuran Beton Berpori pada Aplikasi Jalur Pejalan Kaki". *The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung*, 1–10.
- Idrus, A. R. (2021). "Karakteristik Beton Berongga Dari Limbah Pecahan Beton". (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Khonado, M. F., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2019). "Kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan variasi ukuran agregat". *Jurnal Sipil Statik*, 7(3).
- Hariadi, K. (2019). "Studi Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas Beton Porous dengan Subtitusi Abu Arang Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen". (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Klau, A. S., Phengkarsa, F., & Sanggaria, O. J. (2021). "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton". *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(4), 479–488.
- Meilawaty, O., & HAB, F. A. (2018). "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Pereduksi Semen dalam Campuran Beton Berpori Ramah Lingkungan (Green Pervious Concrete)". *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 1(2), 129–135.
- Pandei, R. W., Supit, S. W. M., Rangan, J., & Karwur, A. (2019). "Studi Eksperimen Pengaruh Pemanfaatan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Berpori (Pervious Concrete)". *Jurnal Poli-Teknologi*, 18(1).
- Pohan, R. F., & R Rambe, dan M. (2022). "Beton Ramah Lingkungan Dengan Cangkang Telur Sebagai Pengganti Sebagian Semen". In *dkk/METIKS* (Vol. 2, Issue 1).
- Sahendra, R. (2021). "Pemanfaatan Penambahan Serbuk Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan Beton". (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Teknik Sipil, L. (2017). "Panduan Praktikum Struktur, Material dan Komputer". Universitas Islam Riau.
- Trisnoyuwono. (2014). "Beton Non-Pasir". In *Yogyakarta: Graha Ilmu*.
- Tumbel, G. W. Y., Dapas, S. O., & Mondoringin, M. R. (2020). "Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Lentur Beton". *Jurnal Sipil Statik*, 8(3).