

## **Karakteristik Mekanik dan Estetika Beton dengan Material Limbah Batu *Onyx* sebagai Alternatif Agregat Kasar**

**Danang Hadi Nugroho\*, Aditya Purnama, Danang Wijanarko**  
Universitas Tulungagung, Kabupaten Tulungagung-66233, Indonesia

---

### **ARTICLE INFO**

#### **Kata Kunci:**

agregat kasar alternatif; beton *Onyx*; estetika beton; kuat tekan silinder; limbah batu alam.

#### **\*Correspondence email:**

[danangmarkko@gmail.com](mailto:danangmarkko@gmail.com)

**Submitted:** 30 Januari 2026

**Revised:** 02 Februari 2026

**Accepted:** 03 Februari 2026

**Published:** 06 Februari 2026

### **ABSTRAK**

Tingginya konsumsi agregat alam dalam produksi beton telah mendorong peningkatan eksploitasi sumber daya alam yang berdampak pada degradasi lingkungan. Di sisi lain, industri pengolahan batu alam seperti batu *Onyx* menghasilkan limbah padat dalam jumlah besar yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah batu *Onyx* sebagai substitusi parsial agregat kasar terhadap kuat tekan silinder dan estetika permukaan beton. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen murni. Benda uji berupa silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan variasi substitusi limbah *Onyx* sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%, masing-masing sebanyak lima sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari, sedangkan aspek estetika diamati melalui evaluasi visual permukaan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi limbah *Onyx* hingga 10% tidak menyebabkan penurunan kuat tekan silinder secara signifikan dibandingkan beton kontrol, dengan nilai rata-rata sebesar 28,16 MPa. Namun, pada substitusi 20% dan 30% terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan secara statistik. Dari sisi estetika, peningkatan persentase *Onyx* memberikan variasi warna dan tekstur permukaan beton yang lebih menarik secara visual. Berdasarkan hasil tersebut, limbah batu *Onyx* direkomendasikan untuk digunakan sebagai agregat kasar alternatif hingga batas maksimal 10% guna menghasilkan beton yang tetap memenuhi kinerja mekanik sekaligus memiliki nilai estetika yang lebih baik.

---

### **ABSTRACT**

#### **Keywords:**

alternative coarse aggregates; *Onyx* concrete; concrete aesthetics; compressive strength of the cylinder; natural stone waste.

*The high consumption of natural aggregates in concrete production has led to increased exploitation of natural resources, causing environmental degradation. At the same time, the natural stone industry, particularly Onyx stone processing, generates a significant amount of solid waste that has not been optimally utilized. This study aims to evaluate the effect of using Onyx stone waste as a partial substitution for coarse aggregate on the compressive strength of concrete cylinders and the aesthetic quality of concrete surfaces. A quantitative approach with a pure experimental method was employed. Concrete cylinder specimens with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm were prepared with Onyx waste substitution levels of 0%, 10%, 20%, and 30%, with five specimens for each variation. Compressive strength testing was conducted at 28 days in accordance with SNI 1974:2011, while aesthetic aspects were evaluated through visual observation of the concrete surface. The results indicate that Onyx waste substitution of up to 10% does not cause a significant reduction in compressive strength compared to control concrete, with an average value of 28.16 MPa. However, substitutions of 20% and 30% result in statistically significant strength reductions. In terms of aesthetics, higher Onyx content enhances surface color variation and texture. Therefore, the use of Onyx stone waste is recommended as an alternative coarse aggregate up to a maximum level of 10% to achieve environmentally friendly concrete with adequate mechanical performance and improved aesthetic value.*

---

## **PENDAHULUAN**

Pertumbuhan infrastruktur yang pesat di tingkat global dan nasional menyebabkan lonjakan kebutuhan material konstruksi, khususnya beton. Beton merupakan material yang paling banyak digunakan di dunia karena keunggulannya dalam kekuatan tekan, daya tahan, serta fleksibilitas dalam pembentukan. Namun, tingginya konsumsi beton juga berdampak pada meningkatnya eksploitasi agregat kasar alami seperti batu pecah dan kerikil, yang menyebabkan degradasi lingkungan. Peningkatan pesat pembangunan infrastruktur secara global telah mendorong eksploitasi agregat alam dalam skala masif, yang dalam jangka panjang berpotensi menimbulkan krisis sumber daya dan degradasi lingkungan (Torres *et al.*, 2017).

Secara bersamaan, industri pengolahan batu alam seperti *Onyx* menghasilkan limbah padat yang signifikan, yang sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah batu *Onyx* ini berasal dari proses pemotongan dan

pemolesan yang tidak hanya menghasilkan sisa potongan, tetapi juga pecahan berukuran besar yang berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai material konstruksi. Di Indonesia, wilayah seperti Tulungagung dan Pacitan dikenal sebagai sentra industri *Onyx*, yang menghasilkan limbah yang terus bertambah per tahun (Khosemde *et al.*, 2016). Akumulasi limbah ini menimbulkan persoalan lingkungan dan belum tersentuh secara serius dalam skema pengelolaan limbah industri.

Salah satu solusi inovatif untuk mengurangi dampak lingkungan tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah batu *Onyx* sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton. Karakteristik fisik batu *Onyx* yang keras, memiliki struktur kristalin unik, serta warna yang menarik memberikan potensi ganda: memperkuat sifat mekanik dan menambah nilai estetika beton. Dalam penelitian oleh Ghunu *et al.* (2024), penggunaan limbah *Onyx* sebagai agregat kasar menunjukkan pengaruh positif terhadap sifat reologi dan tampilan beton segar, tanpa mengganggu proses pengerasan.

Berbagai studi terdahulu telah mengkaji penggunaan limbah batu alam seperti marmer dan granit sebagai bahan substitusi dalam beton. Alyamaç dan Aydin (2015) meneliti pengaruh serbuk marmer terhadap sifat mekanik beton, sedangkan Zamir Hashmi *et al.* (2022) mengevaluasi limbah granit sebagai agregat kasar alternatif. Namun, kajian mengenai limbah batu *Onyx*, khususnya yang menitikberatkan pada pengaruhnya terhadap kuat tekan silinder, masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian mengenai karakteristik agregat lokal dan pengaruhnya terhadap kuat tekan beton juga telah dilaporkan oleh Suhendra *et al.* (2023), dimana kualitas agregat kasar khususnya yang berkaitan dengan kandungan material pengotor, memiliki pengaruh signifikan terhadap perkembangan kuat tekan beton. Temuan ini menegaskan bahwa perubahan komposisi dan karakteristik agregat dapat berdampak langsung pada kinerja mekanik beton, sehingga pemanfaatan agregat alternatif, termasuk limbah batu alam seperti *Onyx*, perlu dikaji secara lebih spesifik dan terkontrol. Padahal, parameter kuat tekan silinder merupakan salah satu indikator utama yang digunakan dalam perencanaan struktur beton menurut standar internasional seperti ASTM C39 dan SNI 1974 (ASTM International, 2020; Badan Standarisasi Nasional, 2011).

Penelitian awal oleh Nugroho (2022) menunjukkan bahwa limbah batu *Onyx* memiliki potensi digunakan dalam beton struktural, namun penelitian tersebut belum menyertakan evaluasi mendalam terhadap perubahan sifat mekanik dan visual beton secara kuantitatif. Selain itu, aspek estetika beton yang dihasilkan belum banyak dikaji secara sistematis, meskipun dari sisi arsitektural permintaan terhadap material beton dengan nilai estetika tinggi semakin meningkat, terutama pada bangunan bernilai artistik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah batu *Onyx* sebagai pengganti sebagian agregat kasar terhadap karakteristik kuat tekan silinder dan estetika permukaan beton. Kuat tekan silinder dipilih karena merupakan ukuran standar yang digunakan dalam evaluasi kekuatan struktural beton. Selain itu, aspek estetika beton diamati melalui karakter warna, homogenitas permukaan, dan efek visual yang ditimbulkan oleh distribusi *Onyx* dalam campuran beton.

Berdasarkan uraian di atas, rumusan pertanyaan penelitian ini adalah: (1) Bagaimana pengaruh persentase substitusi limbah batu *Onyx* terhadap kuat tekan silinder beton? dan (2) Sejauh mana perubahan komposisi agregat kasar memengaruhi estetika visual beton yang dihasilkan? Hipotesis yang diajukan adalah bahwa substitusi limbah batu *Onyx* hingga kadar tertentu dapat mempertahankan atau meningkatkan kuat tekan silinder beton tanpa mengorbankan kualitas estetika. Hasil dari studi ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan beton berkelanjutan yang tidak hanya kuat secara struktural, tetapi juga unggul dari sisi estetika.

## **METODE**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen murni (*true experimental research*) yang bertujuan untuk menguji pengaruh penggunaan limbah batu *Onyx* terhadap karakteristik kuat tekan silinder dan kualitas estetika beton. Desain penelitian yang digunakan adalah *pretest-posttest control group design*, di mana beton normal digunakan sebagai kelompok kontrol, sedangkan kelompok eksperimen menggunakan limbah batu *Onyx* sebagai substitusi parsial agregat kasar. Desain ini dipilih karena memungkinkan untuk membandingkan performa beton hasil modifikasi secara objektif dan kuantitatif (Ghani *et al.*, 2024).

Jenis data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data primer, yang diperoleh secara langsung melalui proses eksperimen di laboratorium. Data utama meliputi nilai kuat tekan silinder (MPa) pada umur beton 28 hari dan evaluasi visual terhadap estetika beton yang diamati melalui uji pengamatan langsung serta dokumentasi permukaan beton. Pengambilan data dilakukan berdasarkan prosedur pengujian yang merujuk pada standar nasional dan internasional seperti SNI 1974:2011 dan ASTM C39/C39M-20. (ASTM International, 2020; Badan Standarisasi Nasional, 2011)

Metode pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen laboratorium, di mana beton dibuat dalam beberapa variasi persentase penggantian agregat kasar dengan limbah batu *Onyx*, yaitu 0% (kontrol), 10%, 20%, dan 30%. Setiap variasi diuji menggunakan silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Setelah perawatan selama 28 hari, sampel diuji kuat tekannya menggunakan alat uji tekan beton (*compression testing machine*) berkapasitas 2000

kN. Untuk uji estetika, dilakukan observasi visual terhadap warna, tekstur, dan distribusi agregat *Onyx* pada permukaan beton (ACI Committee 214, 2011).

Berikut adalah **tabel desain eksperimen** yang menggambarkan susunan variasi substitusi limbah batu *Onyx* dalam campuran beton serta jumlah sampel untuk setiap variasi:

**Tabel 1. Desain Eksperimen Substitusi Agregat Kasar dengan Limbah Batu *Onyx***

No	Persentase Substitusi Limbah Batu <i>Onyx</i>	Jumlah Sampel	Kode Sampel	Ukuran Silinder Beton (mm)	Umur Uji (hari)	Kapasitas Mesin Uji Tekan
1	0% (kontrol)	5	S1.1 – S1.5	150 × 300	28	2000 kN
2	10%	5	S2.1 – S2.5	150 × 300	28	2000 kN
3	20%	5	S3.1 – S3.5	150 × 300	28	2000 kN
4	30%	5	S4.1 – S4.5	150 × 300	28	2000 kN

Sumber: Data Primer (2025)

**Keterangan:**

- S1, S2, S3, dan S4 menunjukkan variasi persentase substitusi limbah batu *Onyx* terhadap agregat kasar.
- Masing-masing variasi diuji dengan 5 silinder beton sebagai replikasi untuk meningkatkan validitas data.
- Pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton berumur 28 hari sesuai standar pengujian beton keras (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

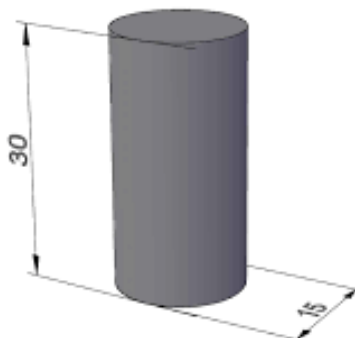


**Gambar 1. Compression Testing Machine**

Sumber: Data Primer (2025)

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kemungkinan komposisi campuran beton yang menggunakan limbah batu *Onyx* sebagai agregat kasar. Teknik *purposive sampling* digunakan untuk memilih variasi komposisi yang dianggap paling representatif terhadap kondisi aktual penggunaan di lapangan. Sampel uji terdiri dari 5 silinder beton untuk setiap variasi campuran, sehingga total sampel yang digunakan adalah 20 silinder. Jumlah ini sesuai dengan rekomendasi minimum dalam penelitian eksperimental beton menurut ACI 214 (ACI Committee 214, 2011).

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat uji tekan silinder beton, timbangan digital, mixer beton mini, serta kamera resolusi tinggi untuk dokumentasi estetika visual. Validasi data dilakukan dengan cara triangulasi pengamat untuk uji estetika, sedangkan reliabilitas alat uji tekan dijamin melalui proses kalibrasi berkala. Selain itu, data kuantitatif diuji konsistensinya dengan melihat standar deviasi dan nilai koefisien variasi hasil uji (Kainz & Braml, 2025).



**Gambar 2. Model Benda Uji**

Sumber: Data Primer (2025)

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan teknik statistik deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif meliputi nilai rata-rata, simpangan baku, dan persentase perubahan. Sedangkan uji statistik inferensial dilakukan dengan uji t dua sampel independen (*independent samples t-test*) untuk membandingkan nilai kuat tekan antara kelompok kontrol dan perlakuan. Untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi terhadap hasil, digunakan pula uji ANOVA satu arah (*One-Way ANOVA*). Seluruh analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics 22 dan tingkat signifikansi ditetapkan pada  $\alpha = 0,05$  (Altman, 1990).

Dalam pengujian hipotesis, nilai signifikansi (*p-value*) akan dibandingkan dengan tingkat signifikansi 5%. Jika *p-value* < 0,05, maka  $H_0$  ditolak, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara beton normal dan beton dengan agregat *Onyx* terhadap kuat tekan silinder atau nilai estetika. Prosedur ini mengikuti kaidah statistik inferensial dalam penelitian eksperimental beton seperti yang dilakukan dalam studi oleh Safiuddin *et al.* (2013) dan Dash *et al.* (2016), yang juga menganalisis limbah batuan sebagai alternatif agregat dalam beton (Dash *et al.*, 2016; Safiuddin *et al.*, 2013).

## HASIL

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi agregat kasar dengan limbah batu *Onyx* terhadap kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari. Empat variasi campuran diuji, yaitu 0% (kontrol), 10%, 20%, dan 30% substitusi *Onyx*. Masing-masing variasi terdiri dari lima sampel beton silinder berukuran 150 mm × 300 mm.

### Data Kuat Tekan Beton

Tabel 2. menyajikan data mentah kuat tekan silinder beton berdasarkan masing-masing variasi substitusi *Onyx*.

**Tabel 2. Kuat Tekan Silinder Beton (MPa) per Sampel**

Substitusi <i>Onyx</i> (%)	S1	S2	S3	S4	S5
<b>0% (Kontrol)</b>	28,85	28,40	28,95	29,57	28,34
<b>10%</b>	27,76	28,85	28,36	27,62	28,23
<b>20%</b>	26,87	26,87	27,22	26,14	26,24
<b>30%</b>	25,46	25,19	25,99	25,26	24,95

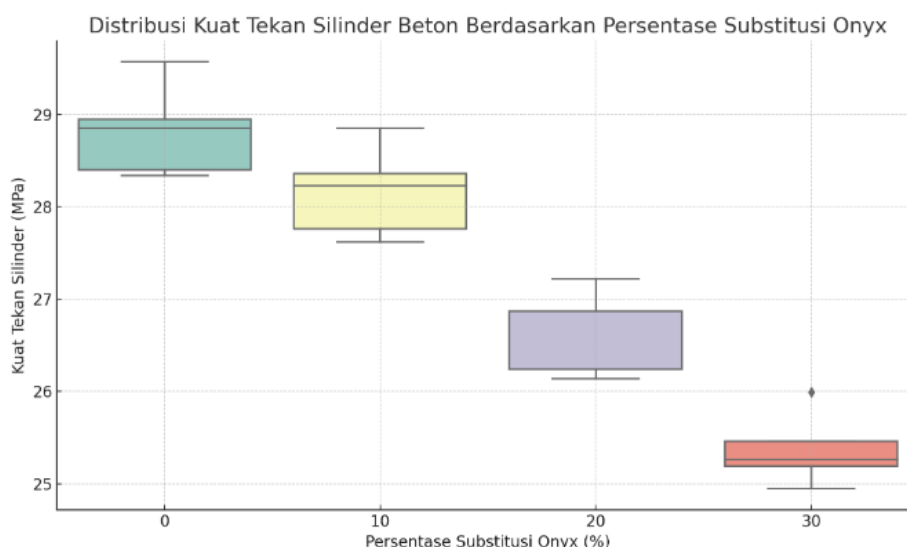
Sumber: Data Primer (2025)

Rata-rata dan standar deviasi dari hasil uji tekan beton disajikan dalam Tabel 3.

**Tabel 3. Statistik Deskriptif Kuat Tekan Silinder Beton**

Substitusi <i>Onyx</i> (%)	Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)
<b>0% (Kontrol)</b>	28,82	0,50	28,34	29,57
<b>10%</b>	28,16	0,49	27,62	28,85
<b>20%</b>	26,67	0,46	26,14	27,22
<b>30%</b>	25,37	0,39	24,95	25,99

Sumber: Data Primer (2025)



**Gambar 3.** Boxplot Kuat Tekan Beton per Persentase Substitusi

Sumber: Data Primer (2025)

Hasil menunjukkan adanya tren penurunan kekuatan tekan seiring peningkatan kadar substitusi limbah *Onyx*. Namun, seluruh nilai rata-rata masih memenuhi standar minimum kuat tekan beton struktural menurut SNI 2847:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019), yaitu  $\geq 25$  MPa.

### Uji Statistik Inferensial

#### 1. Uji ANOVA Satu Arah (*One-Way ANOVA*)

Untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok, dilakukan uji ANOVA satu arah. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara kelompok substitusi *Onyx* terhadap kuat tekan silinder beton ( $F = 55,96$ ;  $p = 1,05 \times 10^{-8}$ ).

Uji t dua sampel independen selanjutnya menunjukkan bahwa:

- Perbandingan 0% vs 10% → tidak signifikan ( $t = 2,10$ ;  $p = 0,0687$ )
- Perbandingan 0% vs 20% → signifikan ( $t = 7,11$ ;  $p = 0,0001$ )
- Perbandingan 0% vs 30% → sangat signifikan ( $t = 12,20$ ;  $p = 0,000003$ )

Hasil ini menunjukkan bahwa hipotesis nol ditolak untuk substitusi 20% dan 30%, artinya terdapat perbedaan signifikan terhadap beton kontrol. Karena  $p\text{-value} < 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak. Artinya, terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara setidaknya dua kelompok perlakuan. Namun, hipotesis diterima untuk substitusi 10%, yang berarti substitusi *Onyx* hingga 10% tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton.

#### 2. Uji t Dua Sampel Independen (*Independent Samples t-test*)

Dibandingkan masing-masing kelompok substitusi dengan kelompok kontrol (0%). Tujuan: Menguji apakah masing-masing kelompok perlakuan berbeda secara signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol (0%).

**Tabel 4. Uji t Dua Sampel Independen**

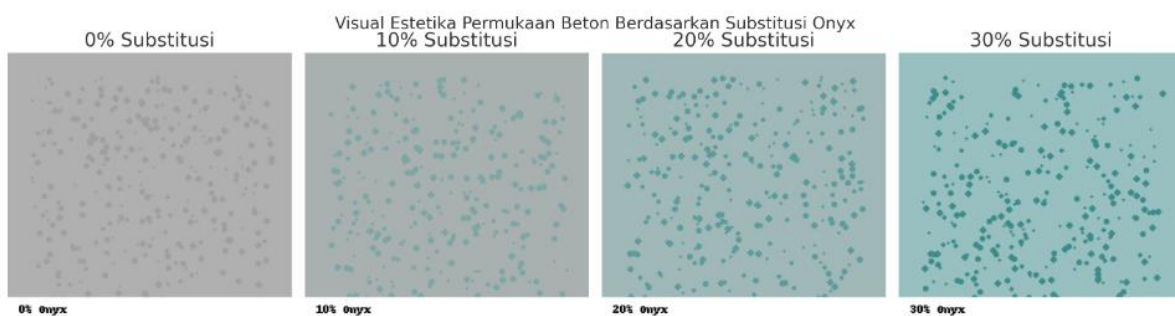
Perbandingan	t-statistik	p-value	Interpretasi
0% vs 10%	2,10	0,0687	Tidak signifikan ( $p > 0,05$ )
0% vs 20%	7,11	0,0001	Signifikan ( $p < 0,05$ )
0% vs 30%	12,20	0,00000295	Sangat signifikan – penurunan kekuatan nyata

Sumber: Data Primer (2025)

#### Kesimpulan Inferensial:

- Substitusi *Onyx* hingga 10% tidak menyebabkan penurunan signifikan terhadap kuat tekan silinder beton.
- Mulai dari 20% ke atas, penurunan kuat tekan menjadi signifikan secara statistik.
- Ini mendukung kesimpulan bahwa batas optimal substitusi limbah *Onyx* adalah maksimal 10% jika mempertahankan kekuatan tekan struktural merupakan prioritas.

Dengan demikian, hipotesis bahwa substitusi *Onyx* hingga 10% tidak menyebabkan penurunan signifikan diterima. Namun, substitusi 20% ke atas menunjukkan penurunan yang signifikan secara statistik.



**Gambar 4.** Visualisasi Estetika Permukaan Beton dengan Substitusi *Onyx*

Sumber: Data Primer (2025)

Berikut adalah ilustrasi visual estetika permukaan beton berdasarkan variasi persentase substitusi limbah batu *Onyx* (0%–30%). Warna permukaan direpresentasikan secara kualitatif:

- 0% *Onyx* : Warna beton normal – abu-abu homogen.
- 10% *Onyx* : Muncul semburat warna mineral dari batu *Onyx*, estetika mulai meningkat.
- 20% *Onyx* : Warna permukaan lebih dinamis, terdapat tekstur alami khas *Onyx* yang terlihat jelas.
- 30% *Onyx* : Visual permukaan sangat bervariasi, kontras warna dan kilap batu *Onyx* menonjol namun dengan potensi segregasi.

## Pembahasan Diskusi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah batu *Onyx* dapat digunakan sebagai agregat kasar alternatif dalam beton hingga batas maksimal 10% tanpa menurunkan kuat tekan silinder secara signifikan. Penurunan kekuatan mulai signifikan secara statistik pada substitusi 20%, yang mengindikasikan bahwa proporsi *Onyx* yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi integritas struktural beton.

Temuan ini konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Akhil *et al.*, (2024) yang menunjukkan bahwa penggunaan serbuk batu alam seperti marmer sebagai pengganti sebagian semen dalam beton masih dapat diterima dalam batas tertentu tanpa menyebabkan kerusakan signifikan pada sifat mekanik beton. Selain itu, Nuaklong *et al.* (2025) juga melaporkan bahwa penggunaan limbah granit sebagai pengganti agregat kasar hingga 15% masih memungkinkan, tetapi melebihi batas tersebut menyebabkan penurunan kekuatan tekan yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik mineral dan morfologi permukaan dari limbah batu alam memainkan peran penting dalam pembentukan ikatan antara pasta semen dan agregat.

Penurunan kekuatan tekan pada kadar substitusi tinggi dapat dikaitkan dengan beberapa faktor, seperti porositas *Onyx* yang lebih tinggi dibanding agregat alami, keterikatan yang lebih lemah antara pasta semen dan permukaan limbah *Onyx*, serta potensi segregasi pada campuran beton yang mengandung fragmen *Onyx* lebih besar.

Faktor lain yang mempengaruhi penurunan kekuatan pada proporsi tinggi adalah rendahnya sifat adhesi permukaan *Onyx* yang relatif halus dan kurang berpori dibandingkan agregat alam, sehingga melemahkan ikatan mekanis dengan pasta semen.

Dari sisi estetika, penelitian ini juga menemukan bahwa peningkatan kandungan *Onyx* memberikan dampak visual positif berupa peningkatan variasi warna dan tekstur permukaan beton, yang dapat menjadi nilai tambah dalam aplikasi arsitektural non-struktural. Keunggulan visual dari batu *Onyx* terbukti meningkatkan nilai estetika beton, terutama pada permukaan ekspos, yang berpotensi digunakan dalam aplikasi arsitektural dan lanskap.

Secara praktis, penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi pemanfaatan limbah batu *Onyx* yang selama ini belum terkelola, menjadi solusi alternatif untuk produksi beton dekoratif yang berkelanjutan. Hasil ini berkontribusi pada pengembangan material hijau dan mendukung prinsip ekonomi sirkular dalam industri konstruksi.

Keterbatasan dalam penelitian ini mencakup tidak dilakukannya pengujian karakteristik durabilitas (tahan sulfat, karbonasi, atau serapan air), serta tidak melibatkan uji mikrostruktur (SEM atau EDX) untuk melihat interaksi material pada tingkat mikroskopis. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji pengaruh penggunaan limbah batu *Onyx* terhadap parameter ketahanan jangka panjang serta perilaku termal dan kimia beton yang dihasilkan.

## Implikasi dan Kontribusi

Implikasi praktis dari penelitian ini adalah bahwa limbah batu *Onyx* dapat digunakan sebagai alternatif agregat kasar dalam campuran beton dengan substitusi hingga 10%, tanpa mengorbankan kekuatan tekan beton struktural secara signifikan. Temuan ini dapat mendukung upaya daur ulang limbah industri batuan alam dan menekan ketergantungan terhadap material alam yang tidak terbarukan. Secara teoritis, penelitian ini memperkuat konsep *green concrete* dan penggunaan material lokal dalam pendekatan berkelanjutan di sektor konstruksi.

## Keterbatasan dan Saran Penelitian Lanjutan

Keterbatasan dari penelitian ini terletak pada pendekatan satu umur pengujian (28 hari) dan satu jenis bentuk benda uji (silinder). Selain itu, karakteristik mineralogi dari batu *Onyx* tidak dianalisis secara rinci, yang mungkin mempengaruhi performa beton. Penelitian lanjutan disarankan untuk:

- Menguji kuat tekan pada umur 7, 28, dan 56 hari untuk melihat pengaruh jangka panjang.
- Menganalisis ikatan antar material menggunakan uji SEM atau mikroskopis lainnya.
- Mengkaji aspek durabilitas, seperti tahan asam, serapan air, atau keawetan terhadap perubahan suhu dan kelembaban.

## SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh substitusi limbah batu *Onyx* sebagai agregat kasar terhadap kuat tekan silinder dan kualitas estetika beton. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental terhadap empat variasi substitusi (0%, 10%, 20%, dan 30%), diperoleh bahwa substitusi hingga 10% tidak menurunkan kuat tekan silinder beton secara signifikan dibandingkan beton normal. Rata-rata kuat tekan pada substitusi 10% sebesar 28,16 MPa, hanya mengalami penurunan sekitar 2,3% dari beton kontrol (28,82 MPa), dengan hasil uji t menunjukkan p-value > 0,05. Sementara itu, pada substitusi 20% dan 30%, terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan secara statistik, dengan p-value < 0,05.

Hasil penelitian ini mendukung hipotesis awal bahwa penggunaan limbah batu *Onyx* sebagai agregat kasar dalam jumlah terbatas (maksimal 10%) tidak secara signifikan menurunkan kuat tekan silinder beton dan dapat

meningkatkan nilai estetika visual permukaan beton. Estetika permukaan meningkat seiring bertambahnya persentase *Onyx*, ditandai dengan munculnya warna dan tekstur visual khas batu *Onyx*, yang dinilai menarik secara arsitektural.

Temuan ini memiliki implikasi praktis dalam pengembangan beton ramah lingkungan dan bernilai tambah estetika, khususnya pada proyek bangunan dengan pendekatan arsitektur ekspos atau dekoratif. Limbah batu *Onyx* yang selama ini tidak termanfaatkan dapat diintegrasikan sebagai material konstruksi alternatif, sehingga mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pengurangan limbah industri.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal skala pengujian dan parameter yang dikaji. Evaluasi hanya difokuskan pada kuat tekan silinder dan aspek estetika visual secara deskriptif. Variabel lain seperti daya serap air, keawetan (durabilitas), ikatan antar material, dan perilaku beton terhadap lingkungan agresif belum diteliti.

Oleh karena itu, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan dengan memperluas cakupan parameter teknis dan lingkungan, serta melakukan uji jangka panjang untuk mengevaluasi performa beton *Onyx* pada kondisi lapangan yang sebenarnya. Kajian mikrostruktur melalui analisis SEM/EDX juga direkomendasikan untuk memahami interaksi antar fase agregat *Onyx* dan pasta semen secara lebih mendalam.

Dengan penelitian lanjutan tersebut, pemahaman terhadap potensi dan batasan penggunaan limbah batu *Onyx* dalam beton dapat diperluas, sehingga mendukung aplikasinya dalam praktik konstruksi yang lebih luas dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 214. (2011). *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-11)*. American Concrete Institute.
- Akhil, N., Kumar, B., Sai, M., Bhargav, E., & Pavan, T. (2024). *Development of sustainable standard grade concrete with inclusion of dolomite material as a high-performance mineral admixture*. *Discover Civil Engineering*, 1. <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00136-1>
- Altman, D. G. (1990). *Practical Statistics for Medical Research*. In *Practical Statistics for Medical Research* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429258589>
- Alyamaç, K. E., & Aydin, A. B. (2015). *Concrete properties containing fine aggregate marble powder*. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(7), 2208–2216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12205-015-0327-y>
- ASTM International. (2020). *ASTM C39/C39M-20, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 1974:2011 tentang Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- Dash, M. K., Patro, S. K., & Rath, A. K. (2016). *Sustainable use of industrial-waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete – A review*. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 484–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbe.2016.04.006>
- Suhendra, S., Dony, W., & Azanna, D. O. (2023). *Analisa Pengaruh Kotoran Organik pada Pasir Kasar Sungai Batanghari terhadap Kuat Tekan Beton*. *Jurnal Talenta Sipil*, 6(2), 426. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v6i2.265>
- Ghani, A., Khan, F. A., & Khan, S. W. (2024). *Experimental study on the mechanical behavior of concrete incorporating fly ash and marble powder waste*. *Sci Rep*, 14, 19147. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70303-y>
- Ghunu, R. B. P., Setyowati, E. W., & Wijaya, M. N. (2024). *Effect of Onyx waste as coarse aggregate on rheological property of fresh concrete*. *AIP Conference Proceedings*, 2927(1), 20001. <https://doi.org/10.1063/5.0193379>
- Kainz, C., & Braml, T. (2025). *Influence of the sample size and evaluation method on the component-specific coefficient of variation of concrete compression strength*. *Structural Concrete*, 26(5), 5469–5481. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/suco.70054>
- Khosemde, A. N., Setyowati, E. W., & Wisnumurti, W. (2016). *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Porositas Beton*. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(1).
- Nuaklong, P., Thongpasuk, P., Hamcumpai, K., Jongvivatsakul, P., Tangaramvong, S., Pothisiri, T., & Likitlersuang, S. (2025). *Effect of granite waste and steel fibers on the mechanical properties of geopolymer concrete before and after fire exposure*. *Journal of Materials Research and Technology*, 37, 1106–1118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.06.083>
- Nugroho, D. H. (2022). *Onyx Stone Waste As a Replacement of Coarse Aggregate In Concrete Mixture*. *Proceedings of the International Seminar on Business, Education and Science*, 1, 199–207.

- Safiuddin, M., Alengaram, U. J., Rahman, M., Salam, M., & Jumaat, Z. (2013). Use of recycled concrete aggregate in concrete: a Review. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19, 796–810. <https://doi.org/https://doi.org/10.3846/13923730.2013.799093>
- Torres, A., Brandt, J., Lear, K., & Liu, J. (2017). *A looming tragedy of the sand commons*. *Science*, 357(6355), 970–971. <https://doi.org/10.1126/science.aao0503>
- Zamir Hashmi, S. R., Khan, M. I., Khahro, S. H., Zaid, O., Shahid Siddique, M., & Md Yusoff, N. I. (2022). *Prediction of Strength Properties of Concrete Containing Waste Marble Aggregate and Stone Dust—Modeling and Optimization Using RSM*. *Materials*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/ma15228024>