



## Inovasi Beton Ramah Lingkungan dengan Pemanfaatan Limbah Grabeka sebagai Agregat Substitusi

Rahma Nindya Ayu Hapsari<sup>1\*</sup>, Indra Agung Hermawan<sup>1</sup>, Faudi Rahmat Riadi<sup>1</sup>, Neriska Aurenia<sup>1</sup>

Prodi Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Email\*: [rahmanindyayuhapsari@gmail.com](mailto:rahmanindyayuhapsari@gmail.com)

Diterima: 2 Oktober 2024; Disetujui: 12 November 2024; Dipublikasi: 29 Desember 2024

**Abstract.** *The increase in infrastructure development has led to a surge in the use of natural materials, particularly aggregates, which can cause environmental degradation. One solution to address this issue is utilizing construction waste as a substitute aggregate in environmentally friendly concrete production. This study focuses on the use of granite ceramic waste, concrete waste, and seashells (called Grabeka) as aggregate substitutes in green concrete. The concrete was tested to assess its compressive strength at 28 days and cost efficiency compared to conventional concrete. The results showed that concrete with Grabeka waste achieved an optimal compressive strength of 35.09 MPa at 28 days. The addition of the Sikament NN additive also accelerated the curing process, enabling recycled aggregate concrete to have better quality and shorter curing times.*

**Keywords:** *Green Concrete, Grabeka, Recycled Concrete, Compressive Strength, Sikament NN*

**Abstrak.** Penggunaan limbah sebagai bahan substitusi dalam pembuatan beton ramah lingkungan menjadi alternatif yang relevan untuk mengatasi masalah lingkungan dan sumber daya yang semakin menipis. Penelitian ini berfokus pada penggunaan limbah keramik granit, limbah beton, dan cangkang kerang (Grabeka) sebagai pengganti agregat kasar dan halus dalam campuran beton. Pengujian dilakukan untuk menilai kekuatan tekan beton pada umur 28 hari serta analisis biaya dibandingkan dengan beton konvensional. Hasilnya menunjukkan bahwa beton dengan campuran limbah Grabeka mampu mencapai kekuatan tekan optimal sebesar 35,09 Mpa. Selain itu, penggunaan zat aditif Sikament NN mempercepat proses pengerasan, sehingga beton dengan agregat daur ulang menjadi lebih efisien.

**Kata Kunci:** Beton Ramah Lingkungan, Limbah Grabeka, Kekuatan Tekan, Sikament NN

### 1. Pendahuluan

Industri konstruksi merupakan sektor yang memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan, baik dari segi penggunaan sumber daya alam maupun penciptaan limbah konstruksi. Beton, sebagai salah satu bahan konstruksi utama, terdiri dari agregat alami, semen, dan air. Agregat alami seperti pasir dan kerikil diproduksi melalui proses penambangan yang merusak ekosistem alami, menyebabkan erosi, degradasi tanah, dan penurunan kualitas air. Di sisi lain, limbah konstruksi, termasuk limbah beton dan keramik,

sering kali tidak dikelola dengan baik, sehingga menambah polusi lingkungan. Dalam konteks inilah muncul kebutuhan mendesak untuk menemukan alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam produksi beton.

Pemanfaatan limbah sebagai pengganti agregat dalam beton ramah lingkungan atau green concrete telah menjadi salah satu solusi yang diusulkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi. Beton ramah lingkungan memanfaatkan limbah konstruksi sebagai bahan baku utama, seperti limbah beton, keramik, dan cangkang kerang, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan. Di Indonesia, khususnya di wilayah pesisir seperti Semarang, cangkang kerang merupakan limbah yang melimpah, sedangkan limbah keramik granit dan beton berasal dari sisa konstruksi dan renovasi bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah Grabeka (keramik granit, beton, dan cangkang kerang) sebagai agregat substitusi dalam pembuatan beton ramah lingkungan, serta untuk mengevaluasi dampaknya terhadap kekuatan tekan beton dan efisiensi biaya. Dengan penambahan zat aditif Sikament NN, penelitian ini juga berusaha mempercepat waktu pengerasan beton tanpa mengurangi kekuatan tekan yang diharapkan.

## **2. Tinjauan Pustaka**

### **2.1. Limbah Beton**

Limbah beton dari pembongkaran bangunan merupakan material yang keras dan memiliki sifat fisik yang mirip dengan agregat alami, menjadikannya cocok sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dapat meningkatkan kekuatan tekan beton, terutama ketika digunakan dalam proporsi yang tidak terlalu tinggi. Dalam sebuah studi, penggantian 25% agregat kasar alami dengan limbah beton menghasilkan kekuatan tekan sebesar 31,29 MPa pada umur 28 hari [1-2].

### **2.2. Limbah Keramik Granit**

Keramik granit yang dihasilkan sebagai limbah dari industri konstruksi dapat diolah dan digunakan sebagai agregat pengganti. Penggunaan keramik granit tidak hanya mengurangi limbah konstruksi, tetapi juga memberikan sifat mekanis yang baik pada beton. Keramik granit yang banyak digunakan sebagai material bangunan, terutama sebagai bahan finishing, menghasilkan limbah dalam jumlah besar. Limbah ini memiliki sifat mekanis



yang baik, seperti kekuatan dan ketahanan terhadap abrasi, sehingga potensial untuk digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam beton. Selain itu, limbah keramik granit memiliki stabilitas dimensi dan ketahanan yang baik terhadap tekanan, yang membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam campuran beton ramah lingkungan [3].

### **2.3. Limbah Cangkang Kerang**

Cangkang kerang merupakan limbah organik yang mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), bahan yang umum digunakan dalam industri konstruksi sebagai penguat beton. Cangkang kerang memiliki potensi untuk menggantikan agregat halus dalam beton, sekaligus meningkatkan ketahanan beton terhadap korosi dan keausan. Penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan cangkang kerang sebagai agregat halus mampu meningkatkan durabilitas beton, terutama dalam kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti di daerah pesisir [2].

### **2.4. Zat Aditif Sikament NN**

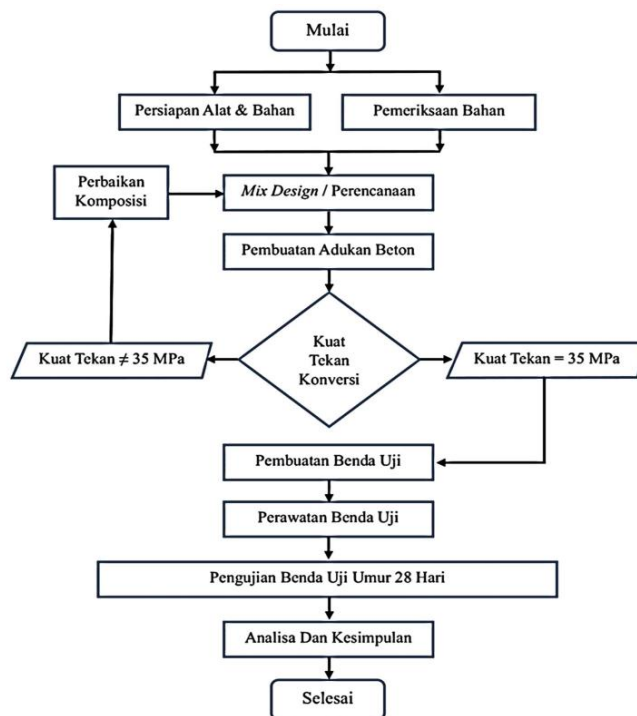
Zat aditif seperti Sikament NN telah terbukti meningkatkan kualitas beton, terutama dalam hal mempercepat proses pengerasan dan meningkatkan kekuatan tekan beton. Sikament NN bekerja dengan cara mengurangi jumlah air yang dibutuhkan dalam campuran beton, sehingga menghasilkan beton yang lebih padat dan kuat. Dalam penelitian ini, zat aditif ini digunakan untuk mempercepat pengerasan beton dengan campuran limbah Grabeka, sehingga memungkinkan beton mencapai kekuatan optimal dalam waktu yang lebih singkat [3].

## **3. Metodologi Penelitian**

Penelitian ini bermetode eksperimental, yang dilaksanakan pada Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Objek penelitian ini adalah penggantian sebagian agregat kasar alami dengan Limbah Granit, Limbah Beton, dan Limbah Cangkang Kerang. Untuk meningkatkan nilai kuat tekan beton, digunakan zat aditif Sikament NN. Perbandingan material yang digunakan yaitu dengan menggunakan limbah granit sebesar 65% dan limbah beton sebesar 35%. Selain dengan menggunakan limbah keramik granit dan limbah beton, untuk penggunaan agregat halus juga masih menggunakan inovasi lain yaitu limbah kerang dara. Limbah kerang dara tersebut tidak dapat langsung digunakan begitu saja, untuk mencapai butiran modulus yang diinginkan, limbah kerang dara harus melalui proses penghancuran (abrasi) dengan menggunakan alat

*los angeles* untuk mendapatkan butiran butiran yang sesuai dengan ketentuan sebagai agregat halus.

Dalam pembuatan beton inovasi, menggunakan perbandingan limbah kerang dara yang telah halus sebesar 50%, dan 50% sisanya menggunakan pasir muntilan yang didapatkan dari Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Beton akan diuji kuat tekannya pada umur 28 hari setelah pembuatan campuran beton. Urutan dan tahapan yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Alur Penelitian

### 3.1. Teknik Pengumpulan Data

Berikut adalah langkah-langkah pelaksanaan penelitian:

a. Tahap Pertama: Persiapan

Pada tahap awal, persiapkan semua peralatan dan material dasar yang diperlukan untuk, termasuk persiapan limbah keramik granit, beton, dan cangkang kerang, sikament-NN, dan bekisting. (6)

b. Tahap Kedua: Uji Material



Limbah keramik granit, beton, dan cangkang kerang diolah menjadi agregat kasar dan halus. Pengujian sifat material dilakukan untuk memastikan kualitas agregat daur ulang sesuai dengan standar yang berlaku. (7-13)

c. Tahap Ketiga: Pembuatan *Mix Design*

Mix design beton dirancang dengan target kuat tekan 35 MPa. Zat aditif Sikament NN digunakan untuk meningkatkan kekuatan tekan dan mempercepat pengerasan beton. (14)

d. Tahap Keempat: Pembuatan Benda Uji

Sampel beton dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sampel diuji setelah mencapai umur 28 hari untuk mengevaluasi kekuatan tekan.

e. Tahap Kelima: Pengujian Sampel Beton

Pengujian sampel beton yang dilakukan adalah berupa pengambilan data kuat tekan yang dilakukan pada saat umur beton 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Universitas Negeri Semarang menggunakan mesin uji tekan. Data yang diperoleh dianalisis untuk menilai apakah campuran beton dengan limbah *Grabeka* dapat mencapai target kekuatan tekan (19-22)

f. Tahap Keenam: Analisis Data

Proses analisis data kemudian dilaksanakan dengan tujuan yang lebih luas, yaitu untuk memahami secara mendalam, menafsirkan dengan tepat, dan mengevaluasi secara kritis data yang diperoleh selama penelitian ini, sehingga dapat mengungkapkan berbagai pola, tren, hubungan, serta informasi penting lainnya yang tersembunyi di dalam data, yang pada akhirnya akan memberikan wawasan komprehensif terkait dengan hasil penelitian dan kontribusinya terhadap pemahaman yang lebih mendalam mengenai topik yang sedang dikaji.

g. Tahap Ketujuh: Pengambilan Kesimpulan

Data yang telah dianalisis secara mendalam kemudian dimanfaatkan sebagai dasar untuk menyusun kesimpulan yang relevan dan sesuai dengan tujuan penelitian, di mana kesimpulan ini diharapkan dapat memberikan jawaban atas pertanyaan penelitian serta memberikan wawasan yang lebih luas terkait topik yang sedang dikaji.

### **3.2. Teknik Analisis Data**

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji Universal Testing Machine (UTM) pada sampel beton yang telah mencapai umur 28 hari, di mana proses pengujian ini

melibatkan pemberian tekanan secara vertikal yang terus meningkat hingga benda uji mencapai titik kegagalan atau runtuh. Setelah benda uji mengalami keruntuhan, kuat tekan beton dihitung dengan metode perhitungan yang membagi beban maksimum yang diterapkan selama pengujian, yang dinyatakan sebagai nilai **P**, dengan luas permukaan silinder beton yang menerima tekanan, yang dinyatakan sebagai nilai **A**, sehingga hasil perhitungan ini memberikan nilai kuat tekan beton yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja mekanis beton dalam konteks struktur dan aplikasi yang diujikan. Kuat tekan dihitung dengan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

$f'c$  = kuat tekan beton benda uji silinder (N/mm<sup>2</sup>)

**P** = beban tekan max (N)

**A** = luas permukaan benda uji silinder (mm) (18)

#### **4. Hasil dan Pembahasan**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengukur nilai kuat tekan beton yang memanfaatkan agregat kasar yang berasal dari limbah batu bata. Melalui pendekatan eksperimental ini, setiap tahapan penelitian dirancang secara sistematis untuk menguji performa beton yang menggunakan material daur ulang tersebut. Dalam setiap tahapan, data yang dikumpulkan bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana limbah batu bata dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton, serta bagaimana beton tersebut berperilaku di bawah tekanan. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh dari setiap tahapan penelitian, mulai dari persiapan material, pembuatan sampel, hingga pengujian dan analisis data untuk mengevaluasi kinerja beton yang dihasilkan.

##### **4.1. Pengujian material**

Pada tahap ini, dilakukan pengujian material yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah material tersebut masuk ke dalam aturan standar material penyusun beton.

a. Agregat Halus (Pasir)



Uji material agregat halus meliputi uji kadar lumpur, kandungan zat organik, *specific gravity*, gradasi agregat, dan berat jenis. Data pengujian ini disajikan dalam tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 1. Hasil pengujian pasir

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Berat jenis	2,65 gr/cm <sup>3</sup>	2,4-2,7	Memenuhi
Kadar lumpur	4,84 %	Maks 5 %	Memenuhi
Berat volume	1,53 gr/cm <sup>3</sup>	1,3-1,76	Memenuhi
Penyerapan	1,19 %	Maks 5 %	Memenuhi
Modulus kehalusan	3,3	1,5-3,8	Memenuhi
Gradasi	Lolos 4 – tertahan 200	Lolos 4 – tertahan 200	Memenuhi

b. Limbah Keramik Granit

Pengujian limbah keramik granit sebagai bahan yang disubstitusikan ke agregat kasar mengacu pada standar. SNI 1970-2008, SNI 1969-2008, SNI S-04-1989-F, ACI E1-99, SNI 03-1750-1990, SK SNI S-04-1989-F, SNI 03-2461-1991. Didapatkan hasil pengujian laboratorium sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Limbah Pecahan Keramik Granit

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Berat jenis	2,63 gr/cm <sup>3</sup>	2,4-2,7	Memenuhi
Kadar lumpur	4,92 %	Maks 5 %	Memenuhi
Berat volume	1,52 gr/cm <sup>3</sup>	1,3-1,76	Memenuhi
Modulus Kehalusan	6,5	6-7,1	Memenuhi
Penyerapan	2,6 %	Maks 5 %	Memenuhi
Abrasi	29,6	Maks 40 %	Memenuhi

c. Limbah Beton

Pengujian limbah beton sebagai bahan yang disubstitusikan ke agregat kasar mengacu pada standar. SNI 1970-2008, SNI 1969-2008, SNI S-04-1989-F, ACI E1-99, SNI 03-1750-1990, SK SNI S-04-1989-F, SNI 03-2461-1991. Didapatkan hasil pengujian laboratorium sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Material Limbah Beton

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Berat jenis	2,43 gr/cm <sup>3</sup>	2,4-2,7	Memenuhi
Kadar lumpur	4,84 %	Maks 5 %	Memenuhi
Berat volume	1,52 gr/cm <sup>3</sup>	1,3-1,76	Memenuhi
Modulus Kehalusan	6,8	6-7,1	Memenuhi



Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Penyerapan	2,6 %	Maks 5 %	Memenuhi
Abrasi	29,6	Maks 40 %	Memenuhi

b. Limbah Cangkang Kerang Dara

Pengujian limbah Cangkang Kerang Dara sebagai bahan yang disubstitusikan ke agregat halus mengacu pada standar SNI 03-2874-2002, SNI 03 – 1737 – 1989, ASTM C-33. Didapatkan data hasil pengujian laboratorium sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Limbah Cangkang Kerang Dara

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Berat jenis	2,65 gr/cm <sup>3</sup>	2,4-2,7	Memenuhi
Kadar lumpur	4,86 %	Maks 5 %	Memenuhi
Berat volume	1,56 gr/cm <sup>3</sup>	1,3-1,76	Memenuhi
Modulus Kehalusan	3,3	1,5-3,8	Memenuhi
Penyerapan	0,92 %	Maks 5 %	Memenuhi
Gradasi	Lolos 4 – Tertahan 200	Lolos 4 – Tertahan 200	Memenuhi

**4.2. Perencanaan mix design**

*Job mix design* beton adalah proses merancang campuran material beton dengan tujuan untuk menetapkan proporsi yang tepat dari setiap bahan pembentuknya, seperti semen, air, agregat kasar, agregat halus, serta bahan tambahan lainnya. Proses ini bertujuan untuk menciptakan beton yang memiliki karakteristik fisik dan mekanis yang diinginkan, seperti kuat tekan, durabilitas, dan workability. Dalam tahap *mix design* ini, dilakukan penentuan proporsi ideal dari bahan-bahan seperti pasir, kerikil, semen, air, serta material tambahan seperti limbah batu bata, yang akan digunakan sebagai bagian dari campuran beton. Penentuan proporsi ini sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kinerja dan kualitas akhir beton, baik dalam hal kekuatan, daya tahan, maupun sifat pengerjaannya selama proses konstruksi.

1. Rencana *Mix Design* beton normal

Tabel 5. Perencanaan mix design beton normal

No	Uraian	Mutu
		fc 35 MPa
	Kekuatan tekan yang diharapkan pada usia	
1	28 hari	fc = 35 MPa





No	Uraian	Mutu
2	Standar deviasi (s)	4,2 MPa
3	Nilai tambah / margin (m) = 1.64 x (2)	6,89 MPa
4	Kekuatan tekan yang diinginkan (1) + (3)	48,388 MPa
5	Jenis Semen	Semen Tiga Roda (40 kg)
		Limbah Beton
6	Jenis Agregat kasar	Limbah Granit
		Pasir (ex. Muntilan)
		Limbah Cangkang Kerang
	Jenis agregat halus	Dara
7	fas	0,46
8	fas maks	0,55
9	Dipakai fas	0,50
10	Nilai slump (Tabel . 1.5)	80mm - 120 mm
11	Ukuran maksimum butiran kerikil	40 mm
12	Air	175 liter
13	Semen (12) : (9)	350 kg
14	Kebutuhan Semen minimum	325
15	Dipakai semen	350 kg
16	Penyesuaian fas	Tetap 175 liter dan 0.5
17	Pasir	Gol II (kasar)
18	Persentase pasir (*)	40 %
19	Berat jenis campuran ( ** )	2,65
20	Berat beton	2400 kg/m <sup>3</sup>
21	Kebutuhan agregat gabungan (20 - 12 - 13)	1875 kg
22	Kebutuhan pasir (18) x (21)	750 kg
23	Kebutuhan kerikil (21) - (22)	1125 kg

## 2. Kebutuhan Material Beton Normal dan Inovasi

### A. Kebutuhan Material Beton Normal Untuk Kebutuhan Per m<sup>3</sup>

Tabel 6. Volume Kebutuhan Material Beton Normal Per m<sup>3</sup>

No	Uraian Material	Volume	Satuan
1	Berat total	2400	kg/m <sup>3</sup>
2	Air	175	liter
3	Semen	350	kg
4	Pasir	750	kg



5	Kerikil	1125	kg
6	Admixture Sikanment NN (0,75% dari penggunaan semen)	2,63	kg

#### B. Kebutuhan Material Beton Inovasi Untuk Kebutuhan Per m<sup>3</sup>

Tabel 7. Volume Kebutuhan Material Beton Inovasi Per m<sup>3</sup>

No	Uraian Material	Volume	Satuan
1	Berat total	2341,66	kg/m <sup>3</sup>
2	Air	175	liter
3	Semen	350	kg
4	Pasir (50%)	375	kg
5	Limbah Cangkang Kerang Dara (50%)	375	kg
6	Limbah Beton (35%)	354,37	kg
7	Limbah Pecahan Keramik Granit (65%)	712,29	kg
8	Admixture Sikanment NN (0,75% dari penggunaan semen)	2,63	kg

#### 4.3. Pengujian Kuat Tekan Beton

Setelah tahapan mix desain, langkah selanjutnya adalah proses pengecoran beton. Untuk setiap 1 kali pengecoran maksimal bisa menghasilkan 6 benda uji 28 hari. Selesai pengecoran, beton akan dimasukkan dalam kolam untuk curing hingga mencapai umur 27 hari. Beton kemudian diangin-anginkan selama 1 hari agar kering untuk kemudian diumur beton 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan beton.

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton

Kode Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)			Kuat Tekan rata-rata (MPa)	Jumlah Benda uji
	1	2	3		
KT60	35.1	35	35.17	35.09	3 buah
<b>Total</b>					<b>3 buah</b>

Pengujian yang dilakukan pada berbagai variasi campuran beton menunjukkan bahwa penggantian agregat kasar alami dengan limbah *Grabeka* memiliki dampak yang signifikan terhadap kekuatan tekan beton. Beton dengan penggantian 25% hingga 35% agregat kasar menghasilkan kekuatan tekan yang optimal sebesar 35,09 MPa setelah 28 hari. Hasil ini

sebanding, bahkan sedikit lebih baik, dibandingkan dengan beton konvensional yang mencapai kekuatan tekan 35 MPa pada umur yang sama.

Penggunaan zat aditif *Sikament NN* terbukti efektif dalam mempercepat pengerasan beton. Beton dengan campuran limbah *Grabeka* dan *Sikament NN* mencapai kekuatan tekan yang diharapkan dalam waktu yang lebih singkat, sehingga memungkinkan proses konstruksi berjalan lebih cepat tanpa mengorbankan kualitas struktur beton.

## **5. Kesimpulan dan Saran**

### **5.1 Kesimpulan**

- 1) Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah *Grabeka* sebagai pengganti agregat dalam beton ramah lingkungan merupakan solusi yang efektif dalam mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi biaya. Beton dengan campuran limbah *Grabeka* terbukti mampu mencapai kekuatan tekan yang setara dengan beton konvensional, bahkan dengan penambahan zat aditif *Sikament NN*, beton ini memiliki proses pengerasan yang lebih cepat.
- 2) Penggunaan limbah keramik granit, limbah beton, dan cangkang kerang tidak hanya mengurangi kebutuhan akan bahan alam, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan limbah konstruksi yang lebih baik. Beton ini cocok untuk diaplikasikan pada berbagai proyek konstruksi struktural, seperti jembatan, tiang pancang, dan landasan pesawat, yang membutuhkan beton dengan kekuatan tinggi.

### **5.2 Saran**

Inovasi dalam memanfaatkan limbah konstruksi sebagai bahan agregat alternatif dalam pembuatan beton ramah lingkungan memberikan kontribusi penting terhadap pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk penerapan limbah *Grabeka* dalam skala industri, sekaligus menunjukkan potensi besar dari penggunaan zat aditif seperti *Sikament NN* dalam meningkatkan kualitas beton daur ulang. Diharapkan penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi lebih jauh sifat mekanis lainnya dari beton berbasis limbah ini, seperti ketahanan terhadap keausan dan daya serap air, untuk mendukung penerapan beton ramah lingkungan secara luas.



## Daftar Pustaka

- (1) Direktorat Jendral Pekerjaan Umum, Penelitian Daur Ulang Agregat Campuran Beton. Kementerian Pekerjaan Umum. Juni 2022
- (2) Evrianti Syntia Dewi, "Pemanfaatan Limbah Hasil Pengujian Beton pada Proyek Bypass Mandalika," *Jurnal Handasah*, Universitas Islam Al Azhar Mataram, 2023
- (3) Rahma Nindya Ayu Hapsari et al., "High Quality Economical Concrete with Varying Compositions of Recycled Aggregate as a Substitution of Coarse Aggregate," *Journal Innovation of Civil Engineering*, Universitas Abulyatama, 2023.
- (4) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (5) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-2816-2014 Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (6) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (7) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-1970-2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (8) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-6827-2002 Metode Pengujian Waktu Ikut Awal Semen. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (9) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-2417-2008 Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (10) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Agregat. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (11) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-1971-1990 Metode Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (12) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-2834-2000 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design). Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (13) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-1972-1990 Metode Pengujian Slump Beton Segar. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (14) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-2458-2008 Metode Pengambilan Contoh Untuk Campuran Beton Segar. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (15) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Berat Massa. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (16) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-4810-2013 Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (17) Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder yang Dicitak. Badan Standardisasi Nasional. Indonesia
- (18) Standar Nasional Indonesia, SNI 03-1974-2011, Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, 2011.