

# PEMANFAATAN LIMBAH GRANIT, KACA, KERAMIK, DAN STEEL SLAG DALAM HIGH DENSITY CONCRETE

Hafid Musthafa Adhiatma<sup>1\*</sup>, Vincentius Axel Herwasto Adi Supomo<sup>1</sup>, Anak Anung Anurwikan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Jawa Tengah, Indonesia

\*Corresponding author, email: hfdmadhiatma@student.uns.ac.id

doi: 10.17977/um068.v3.i12.2023.2

## Kata kunci

steel slag  
limbah keramik  
limbah kaca  
granit

## Abstrak

Beton berat (high density concrete) merupakan salah satu material hasil pekerjaan beton yang diaplikasikan pada konstruksi khusus misalnya dinding nuklir, tanur, silo, fasilitas pengujian, penelitian atom dan fasilitas kesehatan dll yang membutuhkan struktur dengan tingkat kerapatan dan massa yang cukup kompak sehingga sulit untuk ditembus oleh paparan gas atau radiasi. High density concrete memerlukan beton dengan berat yang lebih dibandingkan dengan beton normal, yaitu sebesar lebih dari 2800 kg/m<sup>3</sup>. Dalam pembuatan high density concrete ini, diperlukan semen yang lebih banyak dari beton normal, sedangkan menurut lembaga penelitian Chatham House, industri semen juga memberikan dampak negatif bagi lingkungan dikarenakan proses kalsinasi dan pembakaran batubara pada pembuatan semen menyumbang jumlah emisi karbon dioksida sebesar 8% pada tahun 2018. Permasalahan inilah yang mendasari perlunya untuk melakukan inovasi high density concrete yang menggunakan konsep sustainable dan ramah lingkungan. Solusi terkait permasalahan tersebut adalah pemanfaatan bahan-bahan limbah yang dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton yang dapat meningkatkan atau mempertahankan mutu beton dan ramah lingkungan. Perencanaan mix design high density concrete berdasarkan SNI 03-7656-2012 yang mengacu pada ACI 211.1-91 kuat tekan rencana sebesar 41,4 MPa pada 28 hari dengan penggunaan serbuk limbah keramik sebagai substitusi parsial binder sebanyak 12,5% dari total binder, serbuk limbah kaca sebagai substitusi parsial binder sebanyak 7,5% dari total binder, steel slag sebagai substitusi agregat halus sebanyak 30% dari total agregat, serta limbah granit sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 10% dari total agregat.

## 1. Pendahuluan

Beton adalah salah satu teknologi konstruksi dalam disiplin ilmu bahan yang selalu berkembang hingga saat ini. Sering kali bahan-bahan yang diperlukan untuk pembuatan beton secara masif di berbagai daerah menimbulkan kerusakan alam. Dalam pelaksanaan konstruksi, banyak pula limbah-limbah hasil dari pengujian dan pembongkaran bangunan seperti kaca, keramik, dan granit serta industri yang meliputinya seperti industri pengecoran baja yang menghasilkan limbah berupa steel slag. Kontribusi limbah keramik, granit, kaca, dan steel slag terhadap timbunan sampah konstruksi cukup besar. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya aktifitas industri dan konstruksi bangunan. Di Indonesia, limbah konstruksi dan industri biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik. Sebagian besar dibuang begitu saja di lahan terbuka dan beberapa digunakan sebagai bahan urugan. Ketersediaan material tersebut sangat melimpah, sehingga potensi untuk mendaur ulang sangat mungkin untuk dilakukan.

Keramik terbuat dari kaolin yang ditanur dengan suhu antara 1200°C dan 1400°C hingga menjadi metakaolin. Metakaolin merupakan pozzolan yang berasal dari bahan kaolin yang telah melalui proses pemanasan pada suhu 500°C – 900°C dan berbentuk serbuk halus dengan ukuran 0,5 sampai 5 mikron. Limbah keramik digunakan sebagai pengganti semen dimana senyawa silika yang terkandung didalamnya akan bereaksi dengan CH hasil reaksi hidrasi semen dan membentuk senyawa CSH. Penggunaan limbah keramik ini diharapkan bisa menjadi bahan tambah yang bisa berfungsi untuk menghasilkan beton yang memiliki mutu tinggi serta bisa diaplikasikan langsung pada campuran beton sebagai binder guna memperoleh beton yang berkualitas baik tanpa

mengabaikan segi kekuatan dari beton itu sendiri. Ketersediaan limbah keramik di Indonesia sangat melimpah yang berasal dari proses pembongkaran bangunan ataupun sisa-sisa material berbahan dasar keramik.

Granit merupakan jenis batuan beku yang berasal dari dalam perut bumi (muntahan magma). Dalam bidang industri, pemanfaatan batuan Granit banyak dipakai dalam pembuatan keramik (Bayrak dan Yilmaz, 2014) dan bahan beku pembuatan batu hias, lantai ataupun ornamen dinding. Granit dengan karakteristik memiliki butiran yang kasar dan mempunyai kepadatan yang lebih keras dari marmer. Kepadatan tersebut memungkinkan granit untuk tahan terhadap erosi dan abrasi, mampu menahan beban yang berat, menjadikan beton lebih kedap dan awet, serta tahan terhadap pelapukan batuan. Inovasi dari limbah pecahan granit ini adalah untuk memanfaatkan limbah pecahan granit sebagai substituen parsial agregat kasar sehingga memberi nilai tambah terhadap limbah pecahan granit tersebut, kelebihan penggunaannya adalah selain

mendapat kuat tekan yang besar juga dapat memanfaatkan limbah untuk mengurangi penggunaan bahan segar serta lebih ekonomis. Limbah granit memiliki tingkat abrasi yang rendah sehingga limbah granit dapat digunakan sebagai substituen parsial agregat kasar pada beton. Limbah granit memiliki daya dukung untuk kuat tekan beton.

Kaca merupakan hasil penguraian senyawa-senyawa anorganik yang telah mengalami pendinginan tanpa kristalisasi. Serbuk kaca adalah butiran yang diperoleh dari penghancuran kaca bekas daur ulang menjadi halus partikel. Limbah serbuk kaca didapatkan dari proses penggilingan kaca bekas yang dihancurkan dengan mesin penghancur (Ball Miller Machine). Limbah serbuk kaca biasanya dibuang langsung ke tanah maupun sungai dalam jumlah yang cukup banyak. Jumlah limbah kaca di Indonesia berdasarkan data statistik Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia (KNLH) di tahun 2008 menyebutkan limbah kaca yang dihasilkan oleh 26 kota besar di Indonesia mencapai 0,7 Ton per tahunnya. Salah satu upaya dalam mengurangi volume limbah serbuk kaca yaitu dengan memanfaatkannya sebagai substitusi binder dalam campuran beton.

Steel slag adalah produk non-metal yang merupakan hasil sampingan (by-product) industri produksi baja. Menurut Lewis (1982), keuntungan penggunaan limbah slag baja dalam campuran beton dapat meningkatkan kekuatan tekan beton, meningkatkan berat total beton untuk memenuhi syarat high density concrete, menaikkan rasio antara kelenturan dan kuat tekan beton, mengurangi variasi kekuatan tekan beton, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dalam air laut, mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu, meningkatkan keawetan karena pengaruh perubahan volume, dan mengurangi porositas dan serangan klorida. Steel slag dapat dimanfaatkan sebagai substitusi agregat halus karena memiliki ukuran partikel yang halus sehingga dapat mengisi rongga kosong pada beton dan membuat beton menjadi lebih padat.

## **2. Metode**

Penelitian dimulai dari persiapan material, pemeriksaan bahan, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji, pengujian slump, memasukkan beton segar ke dalam mould, perawatan beton dengan metode water curing serta pengujian benda uji. Kemudian dari hasil yang diperoleh dilakukan analisis dan pembahasan sehingga dapat ditarik kesimpulan. Pemeriksaan pada material dilakukan untuk menguji kualitas dari material sehingga campuran beton yang dibuat dapat mencapai standar dan mutu yang telah ditetapkan.

## **3. Hasil dan Pembahasan**

### **3.1. Hasil**

#### **3.1.1. Proporsi Campuran High Density Concrete**

Proses perancangan campuran beton dilakukan dengan mengkaji standar yang telah ditetapkan, yaitu standar SNI 03-7656-2012 dengan mengacu pada ACI 211.1-91 untuk perencanaan beton mutu tinggi dengan rencana kuat tekan 41,4 MPa pada umur 28 hari. Berikut ini merupakan perhitungan campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Jumlah air yang digunakan untuk mendapatkan slump 76 - 127 mm dengan diameter agregat maksimal 9,25 mm, yaitu 201 kg/m<sup>3</sup>
2. Penentuan rasio water/semen untuk membuat kekuatan tekan 28 hari sebesar 41,4 MPa, yaitu 0,3.
3. Penentuan massa jenis beton (Um) ditentukan dengan perhitungan persamaan Um. Dengan perhitungan yang ditampilkan sebagai berikut,

$$Ga = 25\% \times 2,60 + 30\% \times 3,13 + 35\% \times 2,65 + 10\% \times 2,7$$

$$= 2,7865$$

$$Gc = 80\% \times 3,15 + 12,5\% \times 2,65 + 7,5\% \times 2,6$$

$$= 3,04$$

$$Um = 10 \times Ga \times (100-A) + Cm \times (1-Gc/Ga) - Wm \times (Ga-1)$$

$$= 10 \times 2,7865 \times (100-1) + 670 \times (1-2,7865/3,04) - 201 \times (2,7865-1)$$

$$= 2483,284 \text{ kg/m}^3$$

4. Penentuan komposisi agregat dilakukan perhitungan sebagai berikut,

$$\text{Agregat kasar} + \text{Agregat halus} = Um - Cm - \text{Air}$$

$$\text{Agregat kasar} + \text{Agregat halus} = 2483,284 - 670 - 201$$

$$\text{Agregat kasar} + \text{Agregat halus} = 1612,284 \text{ kg/m}^3$$

Perbandingan agregat kasar dan agregat halus, yaitu 45 : 55. Sehingga didapatkan agregat kasar dan agregat halus masing-masing 725,4 kg/m<sup>3</sup> dan 886,6 kg/m<sup>3</sup>

**Tabel 3.1 Mix Design Beton High Density Concrete Inovasi**

Perhitungan Mix Design setiap 1 m <sup>3</sup> High Density Concrete		
W/C	0,3	
S/A	0,55	
Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Density(kg/m <sup>3</sup> )
Semen PCC	= 536	3150
Limbah Keramik	= 83,75	2600
Pecahan Kaca	= 50,25	2600
Air	= 201	1000
Limbah Granit	= 161,23	2700
Slag Baja	= 484	3130
Kerikil	= 564,3	2650
Pasir	= 403,07	2600
Berat Total	= 2483,28	

### 3.1.2. Komparasi Biaya Produksi Inovasi High Density Concrete terhadap Beton Konvensional

Berikut ini adalah perbandingan harga inovasi beton high density concrete dan beton konvensional dengan harga bahan bangunan menggunakan harga di daerah setempat.

**Tabel 3.2 Rekapitulasi Harga Material Beton Inovasi High Density Concrete**

	Kg/m <sup>3</sup>	Harga/kg	
	Harga/m <sup>3</sup>		
Semen PCC	536	Rp1.500	Rp804.000
Limbah Keramik	83,75	Rp67	Rp5.611,25
Pecahan Kaca	50,25	Rp67	Rp3.366,75

	Kg/m3	Harga/kg	
	Harga/m3		
Air	201	Rp19	Rp3.819
Limbah Granit	161,23	Rp67	Rp10.802,41
Slag Baja	484	Rp67	Rp32.428
Kerikil	564,3	Rp180	Rp101.574
Pasir	403,07	Rp216	Rp87.063,12

**Tabel 3.3 Rekapitulasi Harga Material Beton Konvensional**

	kg/m3	Harga/kg	Harga/m3
Semen	670	Rp1.500	Rp1.005.000
Air	201	Rp19	Rp3.819
Agregat Halus	807	Rp216	Rp191.505
Agregat Kasar	660	Rp180	Rp130.572
	Total		Rp1.330.896

Harga bahan inovasi diasumsikan dengan biaya transportasi dengan 9m3 seharga Rp300.000/hari atau senilai Rp17/kg dan biaya penggilingan seharga Rp50/kg, sehingga didapatkan harga bahan inovasi adalah Rp. 67/kg.

**Tabel 3.4 Perbandingan Harga Beton Inovasi High Density Concrete dengan Beton Konvensional**

Harga Beton Inovasi High Density Concrete	Harga Beton Konvensional
Rp1.048.664,53	Rp1.330.896

Berdasarkan komparasi harga yang dijelaskan pada tabel 3.4, beton inovasi high density concrete dapat mengurangi biaya hingga 26,91% sebesar Rp282.231,47 dibandingkan dengan beton konvensional.

## 3.2. Pembahasan

### 3.2.1. Pengujian Nilai Slump

Pengujian nilai slump merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat workabilitas campuran beton. Nilai slump diukur dengan menggunakan kerucut Abram. Pada pengujian slump ini digunakan metode pengujian slump runtuh. Hasil pengujian slump dengan campuran beton berupa limbah kaca, keramik, granit, serta steel slag menghasilkan nilai slump sebesar 100 mm. Hasil tersebut telah memenuhi standar PBI 1971 NI 2 sebesar 5-12,5 cm.

**Tabel 4.1 Nilai Slump**

Material Inovasi	Jumlah (%)	Nilai Slump (mm)
Limbah kaca	7,5% Total binder	100 mm
Limbah keramik	12,5% Total binder	
Limbah granit	10% Total agregat	
Steel slag	30% Total agregat	

### 3.2.2. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan adalah suatu tujuan memperoleh nilai kuat tekan dengan prosedur yang benar dengan pengertian kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Beton inovasi high density concrete berupa limbah kaca, keramik, granit, serta steel slag menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 63,21 MPa yang telah melampaui kuat tekan rencana sebesar 41,4 MPa.

**Tabel 4.2 Nilai Kuat tekan**

Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)
Beton 1	73,6
Beton 2	62,84
Beton 3	53,2
Rata-rata	63,21

### 3.2.3. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis beton dilakukan dengan cara menimbang beton sampel berbentuk kubus berukuran 15x15x15 cm saat tergantung di udara dan terendam di dalam air. Diperoleh berat beton di udara adalah 8,5 kg, dan berat beton di dalam air adalah 5,1 kg. Kemudian data tersebut di substitusikan ke dalam rumus :

$$\text{Berat jenis} = \frac{\text{Berat spesimen di udara}}{(\text{Berat spesimen di udara} - \text{Berat spesimen dalam air})}$$

$$\text{Berat jenis} = \frac{8,5}{(8,5 - 5,1)}$$

$$\text{Berat jenis} = \frac{8,5}{3,4}$$

$$\text{Berat jenis} = 2,5$$

sehingga diperoleh berat jenis beton sebesar 2,5

### 3.2.4. Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi pada beton dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh data berat beton per-satuan isi. Berat isi beton diuji dengan menggunakan cetakan yang telah ditentukan mengacu pada standar yang dibuat oleh Negara Amerika yaitu ASTM (American Society for Testing and Material), maka bentuk cetakan yang digunakan adalah silinder. Pengujian berat isi beton dilakukan pada saat kondisi beton masih segar (fresh concrete) dan dalam keadaan beton kering (dry concrete). Berikut ini adalah hasil pengujian berat isi beton yang telah dilakukan.

**Tabel 4.3 Berat Isi Beton**

Berat Basah (Fresh Concrete)	
(Kg)	Berat Kering (Dry Concrete)

## 4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan berbagai variasi yang telah diteliti, untuk memperoleh hasil yang optimal, beton high density concrete inovasi menggunakan variasi serbuk pecahan kaca sebanyak 7,5%, serbuk pecahan limbah keramik sebanyak 12,5% dari binder, limbah granit sebanyak 10%, serta steel slag sebanyak 30% dari total agregat, dan
2. Beton high density concrete inovasi lebih ramah lingkungan dari beton konvensional karena mengurangi emisi karbon yang disebabkan oleh konsumsi semen dan sampah yang tinggi dengan memanfaatkan limbah pecahan keramik, limbah pecahan kaca, limbah granit, dan steel slag sehingga lebih ramah lingkungan.

## Daftar Rujukan

- Wibowo, W., Safitri, E., & Fatoni, L. F. (2018). Kajian pengaruh variasi metakaolin terhadap parameter beton memadat mandiri mutu tinggi. *Matriks teknik sipil*, 6(3).
- Aulia, M. R. Karakteristik beton normal menggunakan limbah kaca sebagai substitusi parsial semen dengan na2sio3 dan naoh (doctoral dissertation, Fakultas Teknik Universitas Jember).
- Liu, J., & Guo, R. (2018). Applications of steel slag powder and steel slag aggregate in ultra-high performance concrete. *Advances in civil engineering*, 2018(1), doi: 10.1155/2018/1426037.
- Revisdah, R., & Utari, R. (2018). Pemanfaatn limbah keramik terhadap kuat tekan beton. *Prosiding semnastek*.

Gonçalves, J. P., Tavares, L. M., Toledo Filho, R. D., & Fairbairn, E. M. R. (2007). Performance evaluation of cement mortars modified with metakaolin or ground brick. *Construction and building materials*, 21(9), 1925-1930. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.027>