

PEMANFAATAN SLAG BAJA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR BETON BERBASIS *ECO-LIVING*

Andry Wisnu Prabowo¹, Demmy Adhi Mulya Darma²

Politeknik Astra, Bekasi, Jawa Barat, Indonesia
Universitas Selamat Sri, Kendal, Jawa Tengah, Indonesia

*andry.wisnu@polytechnic.astra.ac.id*¹, *utunsolution@gmail.com*²

Abstrak

Pemanfaatan slag baja sebagai pengganti agregat kasar pada beton merupakan salah satu pendekatan konstruksi berkelanjutan yang sejalan dengan konsep *eco-living* dan ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan slag baja lokal sebagai pengganti 100% agregat kasar alami pada beton mutu rencana 25 MPa (K-300) melalui pengujian sifat fisik agregat dan kinerja mekanik beton. Parameter yang diuji meliputi gradasi, berat jenis, penyerapan air, keausan Los Angeles, bentuk agregat, nilai *slump* beton segar, serta kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian laboratorium sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan agregat slag baja memiliki *workability* yang baik dengan nilai *slump* 8–10 cm, namun kuat tekan maksimum pada umur 28 hari hanya mencapai 5,2 MPa atau belum memenuhi 85% mutu rencana. Meskipun demikian, pemanfaatan slag baja berpotensi menurunkan emisi karbon hingga 40–60% melalui pengurangan penggunaan agregat alami dan pemanfaatan limbah industri. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada evaluasi komprehensif slag baja lokal Indonesia sebagai agregat kasar beton berbasis *eco-living*, dengan integrasi pengujian sifat fisik agregat, kinerja beton, dan aspek keberlanjutan lingkungan.

Kata Kunci: Slag baja, beton, agregat kasar, *eco-living*, SDG.

Abstract

The utilization of steel slag as a substitute for coarse aggregate represents a sustainable construction approach aligned with the concepts of eco-living and the circular economy. This study evaluates the feasibility of locally sourced steel slag as a 100% replacement for natural coarse aggregate in concrete with a target compressive strength of 25 MPa (K-300). Laboratory tests were conducted in accordance with SNI and ASTM standards to assess aggregate physical properties and concrete performance, including gradation, specific gravity, water absorption, Los Angeles abrasion, aggregate shape, slump, and compressive strength at 7 and 28 days. The results show that concrete incorporating steel slag exhibits good workability, with slump values of 8–10 cm; however, the maximum compressive strength at 28 days reached only 5.2 MPa, which does not meet 85% of the designed strength. Despite this limitation, the use of steel slag has the potential to reduce carbon emissions by approximately 40–60% by minimizing natural aggregate extraction and utilizing industrial waste. This study contributes a comprehensive evaluation of Indonesian local steel slag as a coarse aggregate for eco-living-based concrete, integrating technical performance and environmental sustainability aspects.

Keywords: Steel slag, concrete, coarse aggregate, *eco-living*, SDGs.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan baja nasional Indonesia yang terus meningkat hingga mencapai sekitar 14 juta ton per tahun berdampak langsung pada bertambahnya jumlah limbah industri berupa terak baja (*steel slag*). Selama ini, slag baja umumnya hanya dimanfaatkan sebagai material urugan dengan nilai tambah yang rendah, tanpa pengolahan lebih lanjut. Padahal, secara fisik slag baja memiliki karakteristik yang mendekati agregat kasar alami, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan alternatif dalam pembuatan beton. Di sisi lain, eksploitasi agregat alam untuk kebutuhan konstruksi beton secara masif berpotensi

menimbulkan kerusakan lingkungan, degradasi lahan, serta peningkatan emisi karbon. Menurut data Pusat Penelitian dan Pengembangan Konstruksi Nasional (2021), pemanfaatan limbah slag baja dapat menekan biaya produksi hingga 15% serta mengurangi emisi karbon karena tidak memerlukan proses penambangan baru.

Pemanfaatan slag baja sebagai agregat kasar beton merupakan salah satu strategi penerapan konsep *eco-living*, yaitu pendekatan pembangunan yang menekankan efisiensi sumber daya, pemanfaatan limbah, dan pengurangan dampak lingkungan. Dalam konteks konstruksi berkelanjutan, konsep *eco-living* diwujudkan melalui penggunaan material

alternatif rendah emisi yang mendukung ekonomi sirkular. Dengan memanfaatkan *slag* baja, kebutuhan terhadap agregat alam dapat dikurangi sekaligus menekan timbunan limbah industri, sehingga berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan dan pengendalian pencemaran lingkungan.

Secara material, *slag* baja merupakan hasil samping proses pembuatan baja yang terbentuk ketika unsur pengotor seperti oksida logam dan senyawa lain dipisahkan dari baja cair. Material ini umumnya mengandung silika, alumina, kalsium oksida, dan magnesium oksida, serta memiliki bentuk kasar tidak beraturan menyerupai batu pecah. Proses pendinginan cepat menggunakan air menyebabkan *slag* baja pecah menjadi fragmen yang kemudian diolah menjadi butiran menyerupai agregat. Sementara itu, beton sebagai material konstruksi utama tersusun atas campuran semen, air, serta agregat halus dan kasar yang diolah menjadi satu kesatuan homogen. Oleh karena itu, pemanfaatan *slag* baja sebagai bahan alternatif agregat kasar berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mendukung keberlanjutan konstruksi.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *slag* baja sebagai pengganti agregat kasar dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik beton. [1] Menyatakan bahwa *slag* baja memiliki stabilitas volume dan sifat mekanik yang baik sehingga layak digunakan sebagai agregat alternatif. [2] menemukan adanya hubungan antara variasi persentase *slag* baja dan umur beton terhadap perubahan kuat tekan. Temuan tersebut diperkuat oleh [3] yang melaporkan bahwa *slag* baja memiliki berat jenis lebih tinggi dibandingkan agregat konvensional, sehingga memengaruhi densitas beton. Selain itu, [4] menunjukkan bahwa penggunaan *slag* baja dapat meningkatkan kepadatan campuran beton yang pada kondisi tertentu berkontribusi terhadap performa mekanis beton. Dari sisi keberlanjutan, [5] menegaskan bahwa komposisi material beton berpengaruh

langsung terhadap nilai *embodied carbon* yang dihasilkan.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan *slag* baja sebagai pengganti parsial agregat kasar atau belum mengkaji secara terintegrasi hubungan antara sifat fisik agregat, kinerja beton, dan kontribusinya terhadap pengurangan emisi karbon dalam kerangka konsep *eco-living*. Oleh karena itu, terdapat *research gap* berupa keterbatasan kajian mengenai pemanfaatan *slag* baja lokal Indonesia sebagai pengganti penuh (100%) agregat kasar pada beton.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi dan kinerja *slag* baja sebagai pengganti 100% agregat kasar dalam beton melalui pengujian sifat fisik agregat dan kuat tekan beton, serta mengkaji implikasinya terhadap keberlanjutan lingkungan. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada: (1) penggunaan *slag* baja sebagai pengganti penuh agregat kasar; (2) parameter uji meliputi sifat fisik agregat dan kuat tekan beton; dan (3) umur beton yang dianalisis adalah 7 dan 28 hari. Data primer diperoleh melalui pengujian laboratorium di Politeknik Astra, Cikarang Selatan, sedangkan data sekunder dikumpulkan dari studi literatur, penelitian terdahulu, serta dokumentasi survei lapangan di industri baja PT BPS [6].

[7] Menyajikan *review* komprehensif tentang pemanfaatan steel slag sebagai agregat dalam beton, mencakup aspek mekanik, durabilitas, dan tantangan praktis substitusi agregat alam. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *slag* dapat digunakan dengan baik pada rentang substitusi tertentu, namun pengaruhnya pada workability dan stabilitas volume perlu dikontrol melalui desain campuran yang tepat.

Studi terbaru menunjukkan bahwa substitusi parsial agregat dengan steel slag dapat memperbaiki kekuatan tekan dan lentur beton. Pada beton bertulang, substitusi sekitar 30–45% meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur dibanding kontrol, meskipun workability menurun. Hal ini sejalan dengan karakteristik

agregat slag yang lebih berat dan lebih kasar dibanding agregat alami [8].

Penelitian [9] menunjukkan bahwa penggunaan slag sebagai *fine aggregate* tidak hanya memengaruhi kuat tekan tetapi juga memengaruhi kekuatan lentur dan shear serta durabilitas beton, terutama di lingkungan agresif seperti paparan asam. Komposisi kimia slag, termasuk kontribusi silika dan besi oksida, berperan dalam meningkatkan zona transisi antar fase (ITZ), yang berdampak positif pada sifat mekanik makro beton.

Artikel eksploratif pada tahun 2025 menunjukkan bahwa beton dengan penggantian slag sebagai agregat kasar penuh dapat menghasilkan bentuk pori yang berbeda dan meningkatkan *interlock* antara matriks semen dan agregat, yang berpotensi memperbaiki keterikatan matriks-agregat serta kinerja mekanik keseluruhan [10].

Penelitian numerik dan eksperimental terbaru [11] melaporkan bahwa beton dengan agregat slag dapat menunjukkan karakteristik perilaku seismik yang lebih baik pada kolom beton bertulang pada kadar substitusi optimal (20–40%), termasuk peningkatan kapasitas disipasi energi dan deformasi lentur. Hal ini menguatkan relevansi slag dalam aplikasi struktural yang memerlukan performa dinamis.

Selain beton struktural, studi review lain pada [12] mencakup aplikasi slag dalam campuran aspal dan campuran beton berpori dengan pertimbangan kinerja fungsional dan dampak ekologis. Meskipun fokusnya bukan pada beton struktural, literatur semacam ini penting untuk menggambarkan tren pemanfaatan slag dalam infrastruktur secara luas.

2. METODE

A. Lokasi dan Material Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Astra, Cikarang Selatan, Jawa Barat. Material slag baja diperoleh dari industri baja PT BPS, Kabupaten Serang, Banten. Material lain yang digunakan meliputi semen Portland tipe I, pasir alam sebagai agregat halus, dan air bersih sesuai persyaratan SNI.

B. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini dikelompokkan sebagai berikut: - Variabel bebas: Penggantian agregat kasar alami dengan *slag* baja sebesar 100%. - Variabel terikat: Sifat fisik agregat (berat jenis, penyerapan, abrasi, bentuk agregat) dan kuat tekan beton. - Variabel tetap: Faktor air semen (FAS) 0,575, jenis semen, metode pencampuran, dan metode perawatan (*curing*).

C. Spesifikasi Benda Uji

Benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah benda uji sebanyak tiga sampel untuk pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari.

D. Prosedur Penelitian

Pengujian sifat fisik agregat kasar *slag* baja meliputi analisis saringan (ASTM C136), berat jenis dan penyerapan (SNI 1970), keausan Los Angeles (SNI 2417), kadar air (SNI 1971), dan analisis bentuk agregat. Perancangan campuran beton dilakukan berdasarkan SNI 7656 dengan mutu rencana 25 MPa. Selanjutnya dilakukan pengujian *slump* beton segar dan pengujian kuat tekan beton menggunakan *Universal Testing Machine* sesuai ASTM C39.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. SDG's dan Emisi Karbon

Pemanfaatan limbah industri slag baja sebagai pengganti agregat kasar dalam beton secara langsung mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur) dan SDG 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab). Pada SDG 9, penggunaan *slag* baja mendorong inovasi material konstruksi berbasis limbah industri yang berpotensi meningkatkan efisiensi sumber daya dan mendukung pembangunan infrastruktur berkelanjutan. Sementara itu, pada SDG 12, pemanfaatan *slag* baja berkontribusi terhadap pengurangan timbunan limbah industri serta menekan eksploitasi sumber daya alam berupa agregat kasar.

Dari sisi emisi karbon, produksi beton konvensional di Indonesia menggunakan

agregat kasar alami sekitar 40–50% dari total berat beton per meter kubik. Menurut Slamet Widodo [4], proses ekstraksi, pengolahan, dan transportasi agregat alam menghasilkan emisi karbon sekitar 0.005–0.02 ton CO₂ per ton agregat. Sebaliknya, *slag* baja sebagai limbah industri memiliki jejak karbon yang lebih rendah, yaitu sekitar 0.003–0.008 ton CO₂ per ton, karena tidak memerlukan proses penambangan bahan baru.

Berdasarkan perhitungan kuantitatif, penggantian agregat kasar alami dengan *slag* baja berpotensi menurunkan emisi karbon sebesar:

Minimum:

$$\frac{0.005 - 0.003}{0.005} \times 100\% = 40\%$$

Maksimum:

$$\frac{0.02 - 0.008}{0.02} \times 100\% = 60\%$$

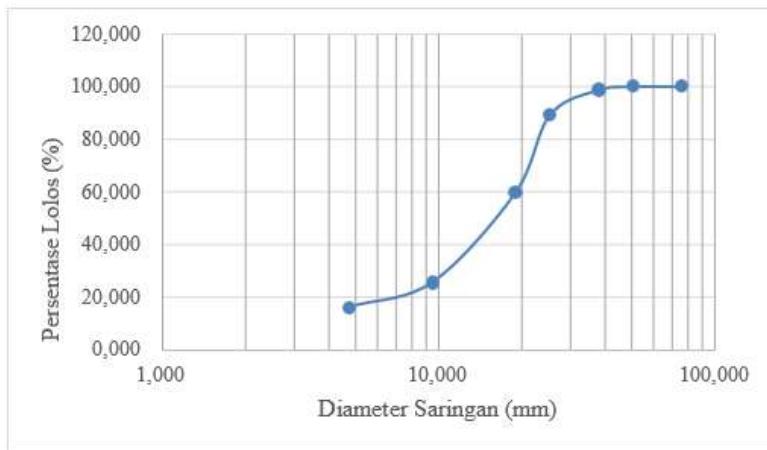
Dengan demikian, penggunaan *slag* baja sebagai pengganti agregat kasar dapat menurunkan emisi karbon sekitar 40–60%, tergantung pada skenario produksi dan sumber agregat. Jika diterapkan secara luas dalam proyek konstruksi, potensi penurunan emisi ini menjadi signifikan dalam mendukung pembangunan rendah karbon di sektor konstruksi.

B. Hasil Pengujian Agregat Kasar

1) Pengujian Saringan Agregat Kasar : Pengujian saringan agregat kasar diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Berat Saringan (g)	Berat Saringan + Tertahan (g)	Berat Tertahan (g)	\sum Berat Tertahan	Percentase Tertahan (%)	Percentase Lelos (%)
76,200	410,000	410,000	0,000	0,000	0,000	
50,800	440,000	440,000	0,000	0,000	0,000	100,000
38,100	510,000	822,400	312,400	312,400	1,253	98,747
25,400	490,000	2,829,800	2,339,800	2,652,200	10,635	89,365
19,05	600,000	8,013,600	7,413,600	10,065,800	40,361	59,639
9,530	560,000	9,115,300	8,555,300	18,621,100	74,666	25,334
4,75	400,000	2,757,500	2,357,500	20,978,600	84,119	15,881
PAN	300,000	4,260,600	3,960,600	24,939,200	100,000	0,000
		Total \sum =		24,939,200		



Gambar 1 Grafik Saringan Agregat Kasar

Gambar 1 merupakan data perolehan presentase lolos yang ditransmisikan melalui grafik hasil analisis saringan.

2) *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Berat Jenis Agregat Kasar* : Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang telah dilakukan menggunakan 1,000 g material slag maka diperoleh data hasil pengujian seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil
Berat Agregat Jenuh Kering Permukaan (A)	1,079 g
Berat Agregat dalam Air (B)	724 g
Berat Agregat Kering Oven (C)	1,077.4 g
Berat Jenis Bulk (OV)	3.03 g
Berat Jenis JPK/SSD	3.03 g
Berat Jenis APP	3.05 g
<i>Absorption/Penyerapan</i>	0.15%

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar diperoleh dari perhitungan berikut.

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{C}{A-B} = \frac{1077.4}{1079-724} = \frac{1077.4}{355} = 3.03$$

$$\text{Bulk Specific Gravity (SSD)} = \frac{A}{A-B} = \frac{1079}{1079-724} = 3.03$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{C}{C-B} = \frac{1077.4}{1077.4-724} = 3.05$$

$$\text{Absorption} = \frac{A-C}{C} \times 100\% = \frac{1079-1077.4}{1077.4} = \frac{1077.4}{355} \times 100\% = 0.15\%$$

3) *Bobot Isi Agregat Padat dan Lepas* : pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang telah dilakukan menggunakan material slag sebanyak kapasitas wadah yang digunakan maka diperoleh data seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Pengujian Bobot Isi Agregat

Pemeriksaan	Agregat Kasar		
	Lepas	Tusuk	Ketuk
Berat wadah (g)	2,596.5	2,596.5	2,596.5
Berat wadah + Benda uji (g)	5,341.3	5,736.4	5,609.9
Berat benda uji (g)	2,744.8	3,139.9	3,013.4
Berat isi agregat (g)	1.30	1.42	1.43
Berat isi jenuh (g)	1.17	1.19	1.21
Kadar rongga udara (%)	0.01	0.01	0.01

Perhitungan bobot isi agregat padat dan lepas mencakup penentuan berat benda uji, berat isi kering, berat isi jenuh (SSD), dan kadar rongga udara didapatkan hasil dari perhitungan berikut.

a. Berat Benda Uji

$$\text{Lepas / Tusuk / Ketuk} \rightarrow \\ W3 = W2 - W1$$

b. Berat Isi Kering Agregat

$$X = \frac{W3}{V}$$

c. Berat Isi Jenuh (SSD)

$$X = \frac{W3}{V} + \left(1 + \frac{\text{Penyerapan}}{100\%}\right)$$

d. Kadar Rongga Udara

$$X = \left(1 - \frac{\text{Berat isi kering}}{\text{Berat jenis}}\right) \times 100\%$$

Di mana

W3 = Berat benda uji

W2 = Berat wadah + benda uji

W1 = Berat wadah

V = 2034,72

X = Lepas/tusuk/ketuk

4) *Pengujian Kadar Air Agregat Kasar* : dari pengujian kadar air agregat kasar yang telah dilakukan menggunakan 500 g persampel material slag maka diperoleh data hasil pemeriksaan kadar air sebesar 0.002%.

Tabel 4 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan	Steel-slag			
	I	II	III	
Berat cawan (g)	W1	328.3	357	355.8
Berat+cawan+benda uji (g)	W2	828.3	857	855.8
Berat benda uji (g)	W3=W2-W1	500	500	500
Berat cawan+benda uji kering oven (g)	W4	826.6	856.4	854.7
Berat benda uji kering oven (g)	W5	498.3	499.4	498.9
Kadar air (%)	((W3-W5)/W5) x 100 %	0.003 %	0.001 %	0.002 %
Kadar air rata-rata (%)			0.002 %	

Berikut merupakan hasil pengujian yang dilakukan menggunakan 3 sampel slag dengan perbedaan kadar air seperti yang terlihat pada Tabel 4.

5) Pengujian Keausan Isi Agregat dengan Mesin Los Angeles : pengujian keausan agregat menggunakan 5,000 gram slag dan 12 bola baja

Tabel 5 Hasil Pengujian Keausan Isi Agregat dengan Mesin Los Angeles

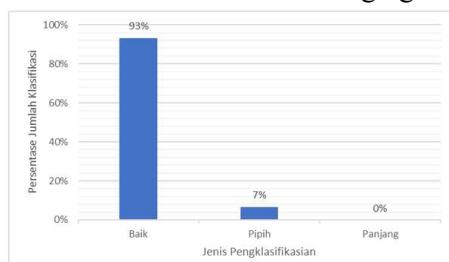
Ukuran Saringan		Berat Agregat			
Lolos	Tertahan	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1,250 ±25			
1"	3/4"	1,250 ±25			
3/4"	1/2"	1,250±10	2,500±10		
1/2"	3/8"	1,250±10	2,500±10		
3/8"	1/4"			2,500±10	
1/4"	No. 4			2,500±10	2,500±10
No. 4	No. 8				2,500±10
Total		5,000±10	5,000±10	5,000±10	5,000±10
Jumlah Bola Baja		12	11	8	6
Berat Bola (gram)		5,000±25	4,584±25	3,330±20	2,500±15

Berdasarkan tabel 5, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

$$= \frac{5,000 - 3,190}{5,000} \times 100\% \\ = 36,2\%$$

6. Pengujian Analisis Bentuk Agregat Kasar : berdasarkan hasil pengujian analisis bentuk agregat kasar menggunakan 60 sampel material slag, diperoleh klasifikasi agregat dengan 93% berbentuk baik, 7% pipih, dan 0% panjang. Data rinci setiap sampel dapat dilihat pada gambar 2 hasil analisis bentuk agregat kasar.



Gambar 2 Diagram batang analisis bentuk agregat kasar

(zona A) menghasilkan berat akhir 3,190 gram setelah proses abrasi, pencucian, dan pengeringan, dengan tingkat keausan sebesar 36.2%. Berikut merupakan tabel hasil pengujian keausan isi agregat kasar menggunakan 12 bola baja.

C. Hasil Pengujian Beton

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap tiga sampel beton dengan *slag* baja sebagai pengganti penuh agregat kasar untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton. Seluruh pengujian dilakukan sesuai standar SNI dengan mutu beton rencana 25 MPa (K-300) dan slump yang ditargetkan sebesar 120 mm.

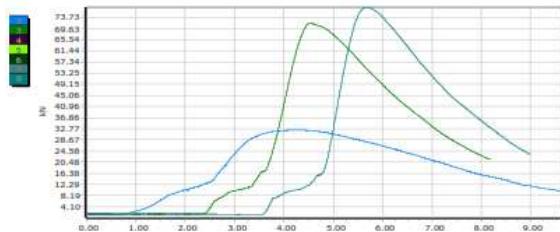
1) Hasil Mix Design dan Workability : perhitungan mix design dilakukan berdasarkan nilai Faktor Air Semen (FAS) 0.575, menggunakan semen tipe I, pasir alam sebagai agregat halus, dan slag baja sebagai agregat kasar. Komposisi perl 1 m^3 beton terdiri dari 356.52 kg semen, 205 liter air, 1,317.35 kg agregat kasar (slag baja), dan 619.93 kg agregat halus (pasir alam).

Nilai *slump* dari ketiga sampel berkisar antara 8 - 10 cm, menunjukkan tingkat kelecahan (workability) yang baik dan sesuai dengan rancangan campuran beton segar. Hal ini membuktikan bahwa *slag* baja dapat

berfungsi baik dari sisi kelecanan meskipun memiliki berat jenis tinggi dan tekstur permukaan kasar.

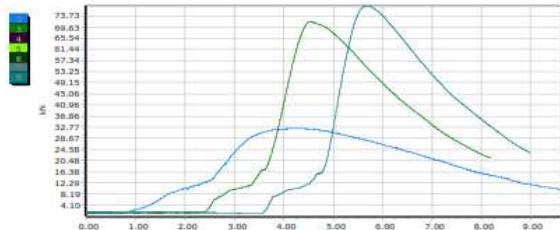
2) Hasil Uji Kuat Tekan

Sampel 1 (umur 7 hari) pada gambar 3 menunjukkan kuat tekan maksimum sebesar 4,3 MPa.



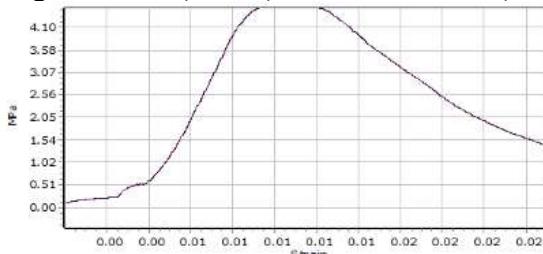
Gambar 3 Grafik Hasil Pengujian Sampel 1

Sampel 2 (umur 7 hari) pada gambar 4 menghasilkan kuat tekan yang sama, yaitu 4,3 MPa, dengan karakteristik workability serupa.



Gambar 4 Grafik Hasil Pengujian Sampel 2

Sampel 3 pada gambar 5 dan gambar 6 (umur 28 hari) menunjukkan peningkatan kuat tekan hingga 5,2 MPa, namun masih jauh dari target 25 MPa (100 %) mutu beton K-300.

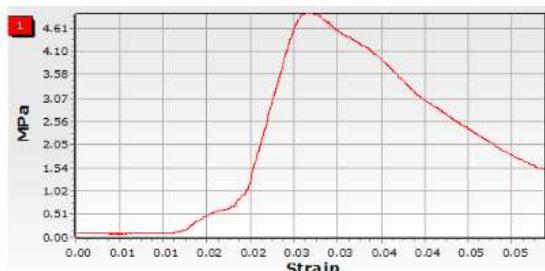


Gambar 5 Grafik Sampel 3 Hari ke-7

D. Karakteristik Fisik Agregat Slag Baja

Hasil pengujian saringan menunjukkan bahwa *slag* baja memiliki distribusi gradasi yang masih berada dalam rentang agregat kasar, meskipun didominasi oleh fraksi berukuran menengah hingga besar. Nilai berat jenis *slag* baja yang diperoleh sebesar 3,03–3,05, lebih tinggi dibandingkan agregat kasar alami pada umumnya. Hal ini sejalan dengan penelitian [3]

yang melaporkan bahwa *slag* baja memiliki densitas lebih tinggi akibat kandungan oksida logam.



Gambar 6 Grafik Sampel 3 Hari Ke-28

Pengujian keausan Los Angeles menghasilkan nilai keausan sebesar 36,2%, yang menunjukkan bahwa *slag* baja memiliki ketahanan aus yang cukup baik untuk aplikasi konstruksi. Selain itu, hasil analisis bentuk agregat menunjukkan bahwa 93% butiran slag berbentuk baik, sehingga secara geometris mendukung pembentukan rangka agregat beton yang stabil. Kadar air agregat yang sangat rendah (0,002%) juga menunjukkan bahwa *slag* baja memiliki daya serap air yang kecil.

E. Hubungan Sifat Agregat dan Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian beton menunjukkan bahwa penggunaan *slag* baja sebagai pengganti penuh agregat kasar menghasilkan beton dengan workability yang baik, ditunjukkan oleh nilai *slump* sebesar 8–10 cm, sesuai dengan target rancangan. Hal ini mengindikasikan bahwa tekstur permukaan *slag* baja masih memungkinkan beton segar memiliki kelecanan yang memadai, meskipun berat jenis agregat relatif tinggi.

Namun, hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa beton dengan agregat *slag* baja menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 5,2 MPa pada umur 28 hari, yang masih jauh di bawah mutu rencana 25 MPa. Meskipun terjadi peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton, nilai yang dihasilkan belum memenuhi kriteria beton struktural.

Rendahnya kuat tekan ini dapat dikaitkan dengan sifat fisik *slag* baja yang memiliki permukaan relatif padat dan daya serap air rendah, sehingga ikatan mekanis antara pasta

semen dan agregat kurang optimal. Kondisi ini berdampak pada terbatasnya zona transisi antar muka (interfacial transition zone/ITZ) yang kuat. Temuan ini sejalan dengan [2] dan [1] yang menyatakan bahwa slag baja memerlukan perlakuan awal atau modifikasi desain campuran untuk meningkatkan daya lekat dengan pasta semen.

Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa peningkatan kuat tekan beton berbasis slag baja dapat dicapai melalui penggantian parsial agregat, penggunaan bahan tambah (*admixture*), atau perlakuan permukaan slag seperti pencucian dan pelapukan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menguatkan temuan sebelumnya bahwa penggunaan slag baja sebagai pengganti penuh agregat kasar tanpa optimasi lanjutan cenderung menghasilkan kuat tekan yang rendah.

F. Implikasi Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan, slag baja memiliki karakteristik fisik yang baik dan unggul dari sisi keberlanjutan lingkungan, namun kinerjanya sebagai pengganti penuh agregat kasar pada beton struktural masih terbatas. Dengan demikian, penggunaan slag baja lebih direkomendasikan untuk beton non-struktural, perkerasan jalan, atau aplikasi lain yang tidak mensyaratkan kuat tekan tinggi, kecuali dilakukan optimasi lanjutan pada desain campuran dan perlakuan material.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini meneliti penggunaan terak baja (*steel slag*) sebagai pengganti agregat kasar dalam beton dengan fokus pada keberlanjutan lingkungan dan efisiensi ekonomi. Hasil menunjukkan bahwa meskipun kuat tekan beton belum mencapai target, pemanfaatan terak baja memberikan manfaat penting berupa pengurangan emisi karbon hingga 50 – 60%, penurunan kebutuhan penambangan agregat alam, serta optimalisasi limbah industri.

Temuan ini sejalan dengan SDG 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur) dan SDG 12 (Konsumsi dan Produksi Berkelanjutan). Namun, untuk mencapai kinerja beton yang

optimal, diperlukan penelitian lanjutan dalam penyempurnaan proses pengolahan terak baja dan optimasi desain campuran beton. Secara keseluruhan, terak baja memiliki potensi besar sebagai material alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi berkelanjutan, meskipun masih membutuhkan pengembangan agar dapat diterapkan secara luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih disampaikan kepada Tim Jurnal Teknik Sipil dan Aplikasi (TekLA) yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini, sehingga proses penyusunan artikel dapat berjalan dengan baik dan sistematis. Penulis juga berterima kasih kepada laboratorium teknik sipil yang telah menyediakan fasilitas pengujian, serta semua rekan yang turut membantu dalam pengumpulan data dan analisis. Dukungan dan kontribusi berbagai pihak sangat berarti dalam penyelesaian penelitian serta penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rashad AM. *Behavior of steel slag aggregate in mortar and concrete – a comprehensive overview*. *Journal of Building Engineering*. 2022;53:104536.
- [2] Ardana YP. Pengaruh terak baja sebagai pengganti agregat kasar terhadap kualitas beton. *Jurnal Teknik Sipil*. 2017;8(2):45–9.
- [3] Taufan A. Studi komparatif beton normal dan beton dengan agregat *steel slag*. *Journal of Civil Engineering Research*. 2003;10(1):50–4.
- [4] Afif G. Pengaruh penambahan *steel slag* terhadap kepadatan dan kekuatan beton. *Jurnal Konstruksi Indonesia*. 2017;3(1):65–8.
- [5] Keintjem M, Suwondo R, Cunningham L, Razak H. Embodied carbon in concrete: insights from Indonesia and comparative analysis with UK and USA. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2024;14(2):8781.

- [6] Sugiyono. Pengertian data primer dan data sekunder dalam penelitian [Internet]. 2018. Available from: <http://www.tekniksipil.com/data-penelitian>
- [7] Ren, J., & Li, Z. (2023). Utilization of steel slag as aggregate in concrete: Mechanical properties, durability, and sustainability assessment. *Materials*, 16(17), 5841. <https://doi.org/10.3390/ma16175841>
- [8] Zhang, Y., Wang, J., Liu, H., & Chen, X. (2024). Mechanical performance of concrete incorporating steel slag as partial replacement of coarse aggregate. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 18, 698. <https://doi.org/10.1186/s40069-024-00698-5>
- [9] Ahmed, M., Farooq, F., Khan, M. I., & Alabduljabbar, H. (2025). Mechanical and durability performance of concrete incorporating steel slag under aggressive environments. *Scientific Reports*, 15, 24715. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24715-z>
- [10] Liu, Q., Zhou, Y., Wang, S., & Zhang, P. (2025). Microstructural characteristics and mechanical behavior of concrete with full replacement of coarse aggregate by steel slag. *Discover Civil Engineering*, 3, 243. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00243-7>
- [11] Kim, J., Park, S., & Lee, H. (2024). Seismic performance of reinforced concrete columns incorporating steel slag aggregate. *Buildings*, 15(11), 1769. <https://doi.org/10.3390/buildings1511176>
- [12] Wang, T., Li, M., Chen, J., & Zhao, Y. (2025). Sustainable applications of steel slag in concrete and pavement engineering: A comprehensive review. *Materials and Structures*, 58, 2241. <https://doi.org/10.1617/s10163-025-02241-4>
- [13] Supriadi. Dasar-dasar pembuatan beton. Surabaya: Penerbit Teknik Sipil dan Bangunan; 2016.
- [14] Sutikno. Beton dan aplikasinya. Yogyakarta: Penerbit Ilmu Konstruksi; 2003.