

Pengaruh Pemanfaatan Limbah Las Karbit Sebagai Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Paving Block

Tio Yanuar Widodo^{1*}, Hendramawat Aski Safarizki

¹ Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjen Sudjono Humardhani, No.1, Jombor, Sukoharjo.

*tiioyanuarw@gmail.com

ABSTRAK

Limbah las karbit mengandung unsur kimia yang serupa dengan semen, seperti kalsium oksida (CaO) dan silika (SiO₂), sehingga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian semen dalam pembuatan *paving block*. Namun demikian, limbah ini sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal dan justru berakhir sebagai limbah yang mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah las karbit sebagai substitusi sebagian semen dalam pembuatan *paving block*. Penelitian ini menerapkan metode eksperimen yang mengacu pada SNI 03-0691-1996 dengan variasi campuran limbah las karbit sebesar 0%, 8%, 12%, dan 16% sebagai substitusi sebagian semen, menggunakan perbandingan komposisi 1 PC: 4 PS. Pengujian dilakukan pada usia 7 dan 14. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *paving block* dengan campuran limbah las karbit menunjukkan sifat tampak, daya serap air, dan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan *paving block* normal. Secara visual, tampilannya lebih padat dan halus. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 16%, yaitu 26,0 MPa (7 hari) dan 26,3 MPa (14 hari), jauh lebih tinggi dibandingkan *paving block* normal yang hanya mencapai sekitar 16,3 MPa. Daya serap air juga lebih rendah, terutama pada variasi 8% yaitu 0,030% (7 hari) dan 0,033% (14 hari). Secara keseluruhan, limbah las karbit mampu meningkatkan kekuatan, daya serap air, dan mutu visual *paving block*. Dari hasil penelitian tersebut, terbukti bahwa pemanfaatan limbah las karbit sebagai substitusi sebagian semen merupakan alternatif yang ramah lingkungan.

Kata kunci: *Paving block*, limbah las karbit, daya serap, kuat tekan.

ABSTRACT

Carbide welding waste contains chemical compounds similar to cement, such as calcium oxide (CaO) and silica (SiO₂), making it potentially useful as a partial substitute for cement in paving block production. However, this waste is often not utilized optimally and instead ends up as an environmental pollutant. This research aims to examine the effect of using carbide welding waste as a partial substitute for cement in paving block manufacturing by applying an experimental method referring to SNI 03-0691-1996 with variations of 0%, 8%, 12%, and 16% substitution, using a mix ratio of 1 PC: 4 PS and tested at 7 and 14 days of curing. The results showed that paving blocks with carbide welding waste exhibited better appearance, lower water absorption, and higher compressive strength compared to normal paving blocks. Visually, the blocks appeared denser and smoother, with the highest compressive strength achieved at the 16% variation, reaching 26.0 MPa (7 days) and 26.3 MPa (14 days), significantly higher than normal paving blocks at around 16.3 MPa. Water absorption was also lower, particularly at the 8% variation with values of 0.030% (7 days) and 0.033% (14 days), indicating a denser structure with minimal porosity. Overall, carbide welding waste was proven to enhance the strength, water absorption, and visual quality of paving blocks, confirming its potential as an environmentally friendly alternative to partially replace cement.

Keywords: *Paving block*, carbide welding waste, water absorption, compressive strength.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya perluasan infrastruktur di Indonesia menuntut ketersediaan material konstruksi yang efisien, tahan lama, dan ramah lingkungan. Salah satu jenis material yang sering dimanfaatkan dalam berbagai konstruksi yakni *paving block*. *Paving block* merupakan material beton berukuran kecil yang dibentuk dari kombinasi semen portland atau komponen pengikat hidrasi serupa, air, serta agregat, campuran tambahan opsional asalkan tanpa menurunkan kualitas beton (Badan Standarisasi Nasional, 1996).

Dalam proses produksinya, *paving block* umumnya memanfaatkan semen sebagai komponen pengikat utama. Semen merupakan perekat hidrolis anorganik berbentuk serbuk halus yang memiliki kemampuan melekat dan menyatu dengan material lain. Ketika bereaksi dengan air dalam jangka waktu tertentu, semen akan membentuk senyawa baru, dimulai dari fase pasta hingga mengeras menjadi padatan. Perekat yang menyatukan dua atau lebih material sehingga membentuk satu kesatuan yang solid. Secara lebih luas, semen adalah bahan plastis yang mampu memberikan daya ikat pada elemen-elemen konstruksi bangunan (Muhammad & Kusdian, 2021).

Namun, proses produksi semen berdampak signifikan terhadap masyarakat dan lingkungan, baik secara positif maupun negatif. Dengan demikian, dampak negatif lebih mendapat perhatian karena menimbulkan kerugian jangka pendek dan panjang. Setiap tahapan produksi berisiko merusak lingkungan, seperti penambangan batu kapur yang merusak ekosistem dan mengurangi sumber mata air. Selain itu, aktivitas produksi menimbulkan polusi berupa getaran, debu, kebisingan, dan asap yang mengganggu kenyamanan serta kesehatan masyarakat, termasuk gangguan pernapasan dan iritasi (Sulasmi et al., 2022).

Disisi lain, limbah atau sampah dapat digunakan sebagai pengganti bahan bangunan lama. Limbah las karbit adalah termasuk sampah yang dapat digunakan untuk menggantikan material tertentu. Limbah industri seperti limbah las karbit menjadi salah satu masalah lingkungan yang membutuhkan solusi inovatif. Limbah las karbit termasuk kategori limbah B3, yang merupakan zat kimia yang berbahaya dan beracun, yang dihasilkan dari pembuatan gas asetilen. Oleh karena itu, limbah ini berpotensi negatif terhadap lingkungan sekitar. Limbah ini, yang dihasilkan dari proses pengelasan, sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal dan hanya berakhir sebagai sampah. Padahal, limbah las karbit mengandung banyak kalsium oksida (CaO) serta silika (SiO₂) yang berpotensi menggantikan fungsi dari semen ketika membuat *paving block* (Dovita Jointina, 2024).

Pemanfaatan limbah las karbit sebagai substitusi sebagian semen menawarkan peluang untuk mengurangi ketergantungan pada semen, sekaligus memberikan solusi pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan. Dalam penelitian ini, peneliti memakai variasi campuran bata beton dengan komposisi limbah las karbit sebagai substitusi semen sebesar 0%, 8%, 12%, dan 16% dengan perbandingan komposisi 1 PC: 4 PS. Umur perawatan *paving block* yaitu 7 dan 14 hari. Dengan mempertimbangkan SNI 03-0691-1996, pemanfaatan limbah pada material paving blok ditinjau dari tiga aspek: sifat fisik, kekuatan tekan, dan daya serap air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji tingkat pengaruh limbah las karbit terhadap kekuatan tekan *paving block*, sekaligus menilai potensinya sebagai pengganti semen dalam campurannya. Disamping itu, inovasi ini diharapkan mampu berkontribusi secara positif terhadap pengembangan material konstruksi khususnya *paving block* yang

lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi kualitas, terutama pada aspek kekuatan tekan, yang menjadi parameter penting dalam menilai ketahanan produk dan sekaligus menjadi solusi dalam pengelolaan limbah industri.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen dengan membandingkan *paving block* standar kelas D sesuai SNI 03-0691-1996 yang umumnya dipakai pada area taman dan keperluan sejenisnya, dengan *paving block* yang mengandung limbah las karbit. Proses pembuatannya dilakukan secara mekanis atau lebih dikenal sebagai metode press, menggunakan mesin hidrolis *paving block*. Pengujian dilakukan pada *paving block* tipe *Holland* berukuran 21 × 10,5 × 6 cm dengan perbandingan campuran 1PC : 4PS. Variasi kadar limbah karbit yang digunakan adalah 0%, 8%, 12%, dan 16%, dengan masa perawatan selama 7 dan 14 hari. Seluruh sampel diuji untuk beberapa parameter, termasuk sifat tampak, daya serap air, dan kuat tekan.

Lokasi Penelitian

Pembuatan benda uji dilaksanakan di pabrik paving CV. Sumber Gemilang, yang beralamat di Dusun Gedawung, Rt 3 Rw 6, Desa Pondok, Kec. Ngadirojo, Kab. Wonogiri, Jawa Tengah, dan untuk pengujian terhadap material, sifat tampak, daya serap air, dan kuat tekan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo, yang berlokasi di Jalan Letjend Sujono Humardani No.1, Jombor, Kec. Bendosari, Kab. Sukoharjo.

Bahan Penyusun *Paving Block*

a. Semen *Portland*

Semen *portland* termasuk tipe semen hidrolis yang hasil dari tahap penggilingan terak semen *Portland*, dengan kandungan kalsium silikat yang bersifat hidrolis. Proses penggilingan ini dikerjakan bersama komponen tambahan, misalnya satu/beberapa jenis kristal senyawa kalsium sulfat, dan mungkin pula mencakup komponen opsional lainnya (Badan Standarisasi Nasional, 2004). Penelitian ini memakai semen tipe 1 PPC (*Portland Pozzoland Cement*).

b. Pasir (Agregat Halus)

Agregat halus yang merupakan hasil dari pemecahan bebatuan/pasir alami yang terbentuk dari batuan. Agregat halus memiliki ukuran partikel maksimum sebesar 5,0 mm sesuai (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Pasir yang berperan sebagai agregat halus dalam penelitian ini berasal dari pasir Merapi.

c. Air

Air berperan penting terhadap produksi *paving block*, karena berperan dalam memicu reaksi kimia pada semen, membasahi agregat, serta memperlancar proses pekerjaan. Pada

umumnya, air yang layak minum dapat dijadikan sebagai campuran dalam pembuatan *paving block* (Mulyadi et al., 2023).

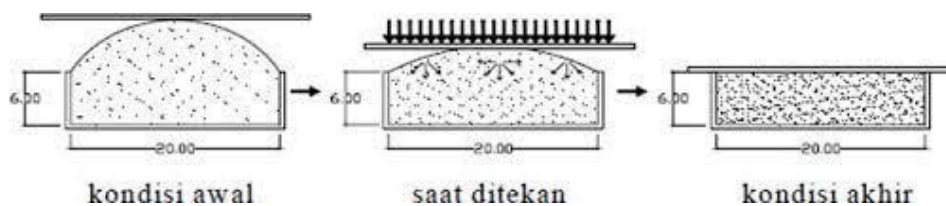
d. Limbah Las Karbit

Limbah *acetylene*, juga dikenal sebagai karbit merupakan limbah padat berupa bongkahan butiran yang dihasilkan pada tahapan produksi gas *acetylene* ataupun residu pengelasan dengan karbit. Karbit mengandung komposisi yang mirip dengan semen, antara lain kalsium oksida (CaO), aluminium oksida (Al₂O₃), dan silikon dioksida (SiO₂) (Mudjri, 2021). Limbah las karbit yang dimanfaatkan pada penelitian ini adalah limbah yang di dapat dari bengkel las yang berada didaerah Karanganyar.

Metode Pembuatan *Paving Block*

a. Metode Konvensional

Metode konvensional (**Gambar 1**) atau metode gabpensi adalah cara umum yang digunakan masyarakat untuk membuat *paving block*, terutama di industri rumah tangga. Proses ini menggunakan alat sederhana dan tidak memerlukan keahlian khusus, namun tingkat pemadatan sangat bergantung pada tenaga pekerja. Semakin besar tenaga yang digunakan, semakin padat dan kuat *paving block* yang dihasilkan. Namun, karena pemadatan dilakukan secara manual dengan memukul alat ke dalam cetakan, metode ini dapat menyebabkan kelelahan pada pekerja (Nofrianto & Hutrio, 2023).

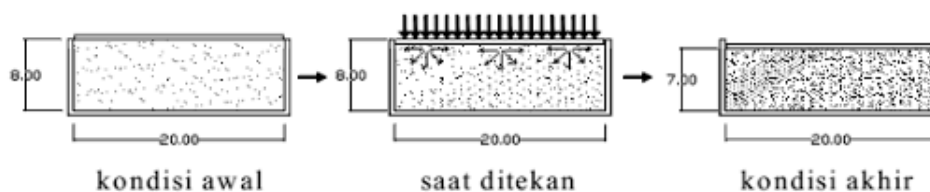


Gambar 1 Pembuatan *Paving Block* dengan Metode Konvensional

Sumber: (Nofrianto & Hutrio, 2023)

b. Metode Press/Mekanis

Metode mekanis (**Gambar 2**) atau metode press digunakan dalam industri menengah ke atas karena memerlukan mesin pemadat yang cukup mahal. Meskipun kurang umum, metode ini menghasilkan *paving block* dengan kualitas lebih stabil, kepadatan tinggi, dan daya tahan lebih baik dibandingkan metode konvensional. Selain itu, metode ini meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, sehingga cocok untuk produksi skala besar (Kurniati et al., 2021).



Gambar 2 Pembuatan *Paving Block* dengan Metode Mekanis

Sumber: (Kurniati et al., 2021)

Pengujian Paving Block

a. Sifat Tampak

Sesuai dengan SNI 03-0691 1996, pemeriksaan visual atau fisik pada (*paving block*) dilaksanakan dengan meletakkan bata di atas permukaan yang rata, menyerupai kondisi pemasangan sebenarnya, sesuai ketentuan pada butir 5.1. Dalam hal ini, kualitas bata beton harus memenuhi syarat, yaitu memiliki permukaan yang rata, tanpa retak maupun cacat, dan bagian rusuk serta sudutnya tidak gampang rusak ketika ditekan dengan jari tangan.

b. Daya Serap Air

Menurut SNI 03-0691-1996, pemeriksaan penyerapan air pada bata beton bertujuan untuk menentukan persentase absorpsi dengan membandingkan massa air yang terserap dalam *paving block* terhadap massa *paving block* dalam kondisi kering. Perhitungan daya serap air dapat dilakukan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Daya Serap Air} = \frac{A - B}{B} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

A = Massa bata beton basah

B = Massa bata beton kering

c. Kuat Tekan

Menurut (Panjaitan, 2022), pengujian *paving block* diperlukan untuk memastikan kelayakannya sebagai lapisan perkerasan. Kuat tekan menjadi indikator utama kualitas beton dalam menahan gaya tekan. Semakin besar kebutuhan akan kekuatan struktur, jadi semakin baik pula kualitas beton yang perlu dicapai. Pemeriksaan ini dilakukan dengan alat *compression test*. Pengujian kuat tekan dapat dihitung menggunakan rumus yang tercantum pada SNI 03-0691-1996:

$$\text{Kekuatan Tekan} = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Dimana:

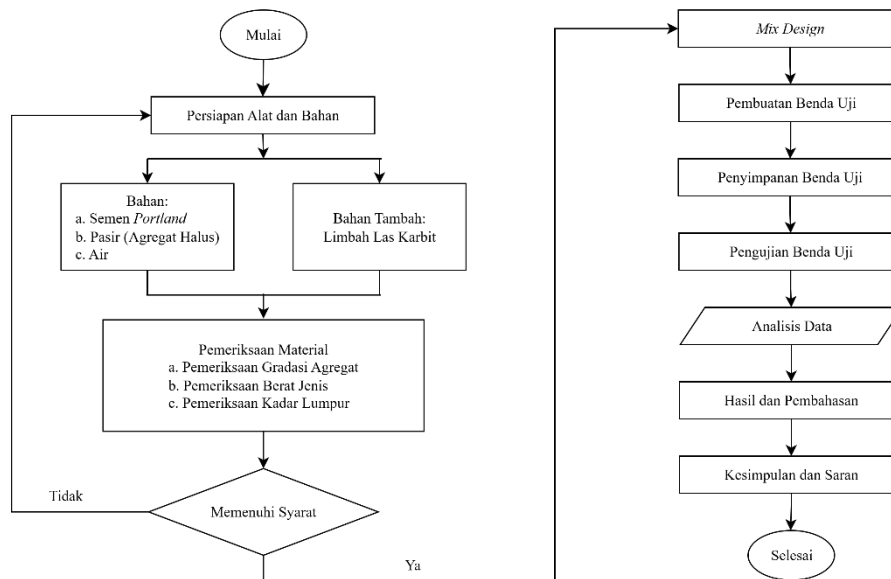
P = Beban tekan (N)

A = Luas bidang tekan (mm²)

Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini menggambarkan tahapan dalam mengkaji pengaruh limbah las karbit sebagai material alternatif pada campuran *paving block*. Penelitian ini diawali melalui tahapan menyiapkan alat dan bahan, termasuk material utama seperti semen portland, pasir, dan air, serta bahan tambahan berupa limbah las karbit. Lalu, lakukan pemeriksaan material untuk memastikan bahan yang digunakan memenuhi syarat standar.

Apabila material memenuhi syarat, penelitian dilanjutkan ke tahap perancangan rasio campuran (*mix design*), proses membuat benda uji, dan penyimpanan benda uji sebelum dilakukan pengujian. Hasil pengujian dianalisis untuk memperoleh data yang kemudian dibahas guna menarik kesimpulan dan memberikan saran berdasarkan temuan penelitian. Proses penelitian ini digambarkan pada Gambar 3 berikut:

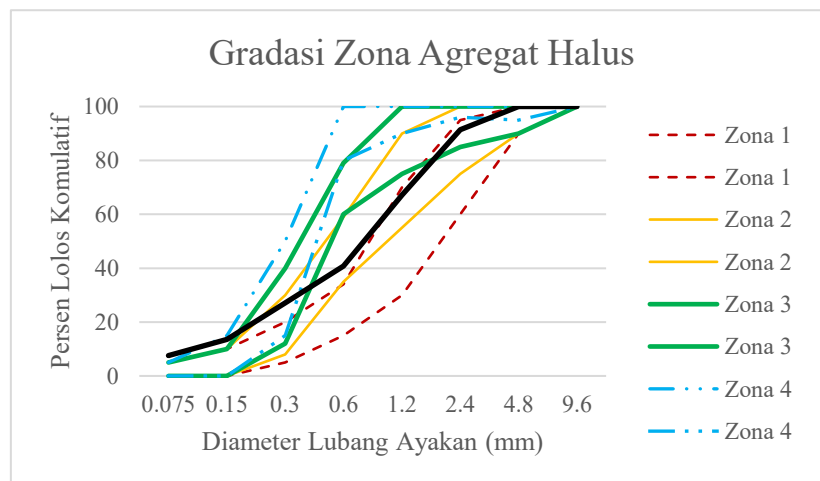


Gambar 3 Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Gradasi Zona Pasir

Agregat halus yang digunakan dalam pengujian gradasi zona diperoleh dari wilayah Gunung Merapi. Hasil pemeriksaan gradasi zona menunjukkan bahwa agregat halus tergolong dalam zona 2, hal ini disebabkan oleh mayoritas hasil gradasi yang diperoleh berada dalam kisaran karakteristik zona tersebut. Grafik hasil gradasi zona pasir dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



Gambar 4 Grafik Hasil Uji Gradasi Zona Pasir

Pemeriksaan Kandungan Lumpur

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 1996), kadar lumpur yang diizinkan didalam agregat halus maksimal 5% dari berat keseluruhan. Pasir yang digunakan memenuhi syarat SNI 03- 4142-1996 karena kandungan lumpurnya sebesar 4,27%, masih di bawah batas yang

diizinkan yaitu 5% dari berat total seperti hasil pengujian pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kandungan Lumpur

Pengujian	Notasi	Berat	Satuan
Berat pasir jenuh kering permukaan (SSD)	S	500	gram
Berat pasir curah kering	A	494,6	gram
Berat piknometer yang berisi air	B	1294,2	gram
Berat piknometer berisi air dan benda uji	C	1598,7	gram

Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Tujuan pemeriksaan berat jenis pasir adalah untuk mengukur massa jenis agregat halus yang diperlukan pada adonan beton. Pemeriksaan ini mangacu berdasarkan SNI 1970:2016 mengenai metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus (Tabel 2 dan Tabel 3).

Tabel 2. Data Hasil Pemeriksaan Benda Uji

Pengujian	Notasi	Berat	Satuan
Berat pasir jenuh kering permukaan (SSD)	S	500	gram
Berat pasir curah kering	A	494,6	gram
Berat piknometer yang berisi air	B	1294,2	gram
Berat piknometer berisi air dan benda uji	C	1598,7	gram

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Perhitungan	Notasi	Hasil
Berat jenis curah kering	$\frac{A}{B + S - C}$	2,53 gr
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (SSD)	$\frac{S}{B + S - C}$	2,56 gr
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{B + A - C}$	2,5 gr
Penyerapan Air	$\frac{S - A}{A} \times 100 \%$	1,09 %

Agregat memiliki berat jenis yang baik dan stabil, serta penyerapan air sebesar 1,09% menunjukkan porositas rendah. Dengan demikian, agregat ini layak digunakan dalam campuran beton atau *paving block*.

Hasil Pengujian Sifat Tampak *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* yang baik wajib berbentuk seragam, sudut-

sudut yang tidak cacat, dan permukaan yang rata tanpa retak. Cara pengujian dilakukan secara visual dengan mengamati langsung permukaan *paving block* tanpa alat bantu, kemudian dicatat apakah terdapat cacat seperti retak, pecah, atau ketidak teraturan bentuk. Hasil pengujian pada umur 7 hari tampak pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Tampak *Paving Block* Umur 7 Hari

Sifat Tampak	Kode Benda Uji	Variasi			
		Normal (0%)	Variasi 8%	Variasi 12%	Variasi 16%
Bentuk	B1	Balok	Balok	Balok	Balok
	B2	Balok	Balok	Balok	Balok
	B3	Balok	Balok	Balok	Balok
	B4	Balok	Balok	Balok	Balok
	B5	Balok	Balok	Balok	Balok
Permukaan	B1	Rata	Rata	Rata	Rata
	B2	Tidak Rata	Rata	Rata	Rata
	B3	Rata	Rata	Rata	Rata
	B4	Rata	Rata	Rata	Rata
	B5	Rata	Rata	Rata	Rata
Keretakan	B1	Tidak Retak	Tidak Retak	Retak	Retak
	B2	Retak	Retak	Tidak Retak	Tidak Retak
	B3	Retak	Tidak Retak	Retak	Retak
	B4	Tidak Retak	Retak	Tidak Retak	Tidak Retak
	B5	Tidak Retak	Tidak Retak	Retak	Tidak Retak
Cacat Bagian Sudut	B1	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B2	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B3	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B4	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B5	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat

Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian sifat tampak *paving block* umur 7 hari menunjukkan bahwa seluruh variasi memiliki bentuk balok yang seragam dengan sudut utuh, menandakan proses pencetakan yang baik. Permukaan *paving block* umumnya rata, meskipun terdapat ketidakteraturan pada sampel normal B2. Beberapa keretakan masih ditemukan pada sampel dari semua variasi, namun secara keseluruhan, penambahan limbah las karbit hingga 16% tidak berdampak negatif terhadap bentuk, permukaan, maupun keutuhan sudut *paving block*. Seluruh variasi memenuhi mutu visual kelas D sesuai SNI 03-0691-1996. Selanjutnya dilakukan pula uji pada umur 14 hari seperti tampak pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sifat Tampak *Paving Block* 14 Hari

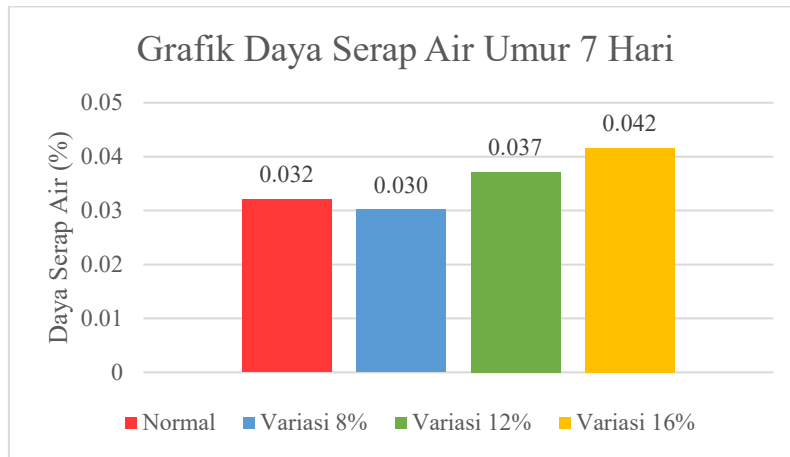
Sifat Tampak	Kode Benda Uji	Variasi			
		Normal (0%)	Variasi 8%	Variasi 12%	Variasi 16%
Bentuk	B1	Balok	Balok	Balok	Balok
	B2	Balok	Balok	Balok	Balok
	B3	Balok	Balok	Balok	Balok

	B4	Balok	Balok	Balok	Balok
	B5	Balok	Balok	Balok	Balok
Permukaan	B1	Rata	Rata	Rata	Rata
	B2	Rata	Rata	Rata	Rata
	B3	Rata	Rata	Rata	Rata
	B4	Rata	Rata	Rata	Rata
	B5	Rata	Rata	Rata	Rata
Keretakan	B1	Tidak Retak	Retak	Retak	Tidak Retak
	B2	Retak	Retak	Tidak Retak	Retak
	B3	Tidak Retak	Tidak Retak	Tidak Retak	Tidak Retak
	B4	Tidak Retak	Tidak Retak	Retak	Retak
	B5	Retak	Tidak Retak	Retak	Retak
Cacat Bagian Sudut	B1	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B2	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B3	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B4	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat
	B5	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat	Tidak Cacat

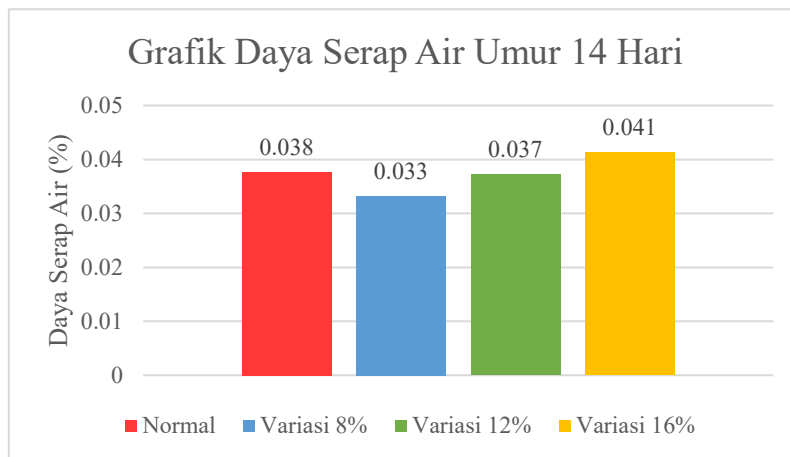
Berdasarkan Tabel 5, hasil pengujian sifat tampak *paving block* usia 14 hari menunjukkan bahwa semua sampel dari berbagai variasi memiliki bentuk balok yang seragam, sudut utuh, dan permukaan rata, mencerminkan proses pencetakan dan pemadatan yang baik. Meskipun masih ditemukan beberapa keretakan pada beberapa sampel di tiap variasi, penambahan limbah las karbit hingga 16% tidak memengaruhi bentuk, permukaan, maupun keutuhan sudut *paving block*. Dengan demikian, secara visual, *paving block* pada usia 14 hari tetap memenuhi mutu visual kelas D sesuai SNI 03-0691-1996.

Hasil Pengujian Daya Serap Air *Paving Block*

Uji penyerapan air bertujuan menilai ketahanan dan kualitas jangka panjang *paving block* berdasarkan batas maksimal daya serap sesuai SNI 03-0691-1996. Hasil pengujian pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa variasi 8% limbah las karbit menghasilkan daya serap air paling rendah sebesar 0,030%, sedangkan variasi 16% memiliki daya serap tertinggi sebesar 0,042%. Penurunan daya serap pada variasi 8% disebabkan oleh peran optimal limbah dalam mengisi pori-pori mikro melalui reaksi kalsium oksida (CaO) dan silika (SiO₂) dengan semen, membentuk struktur yang lebih padat. Sebaliknya, pada variasi 12% dan 16%, kelebihan limbah justru meningkatkan porositas akibat pencampuran yang tidak homogen atau reaksi yang tidak sempurna. Dengan demikian, variasi 8% merupakan komposisi yang paling efektif dalam menurunkan daya serap air *paving block*.

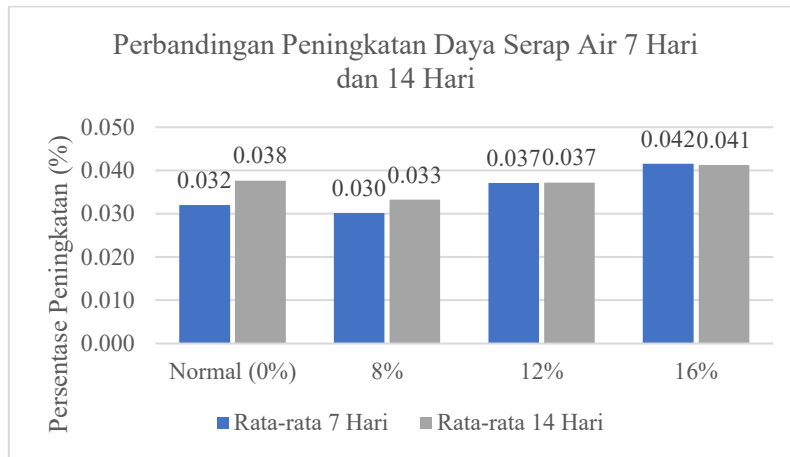


Gambar 5. Grafik Daya Serap Air Umur 7 Hari



Gambar 6. Grafik Daya Serap Air Umur 14 Hari

Pada umur 14 hari, hasil daya serap air terendah tercatat pada variasi 8% limbah las karbit sebesar 0,033%, sedangkan tertinggi pada variasi 16% sebesar 0,041%. Variasi 8% menunjukkan kinerja terbaik karena limbah las karbit secara optimal mengisi pori-pori mikro melalui reaksi antara kandungan CaO dan SiO_2 dengan senyawa semen, membentuk struktur padat yang mengurangi rongga penyerap air. Sebaliknya, variasi 0% belum memiliki bahan pengisi tambahan, dan variasi 12% serta 16% mengalami peningkatan porositas akibat kelebihan limbah yang menyebabkan pencampuran tidak homogen atau reaksi kimia yang kurang sempurna. Oleh karena itu, variasi 8% merupakan komposisi paling efektif dalam menurunkan daya serap air *paving block* pada umur 14 hari.

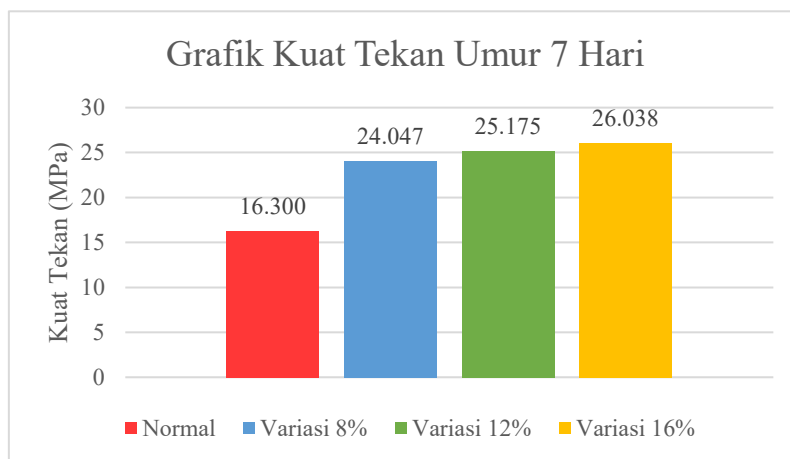


Gambar 7. Grafik Perbandingan Peningkatan Daya Serap Air 7 Hari dan 14 Hari

Variasi 8% limbah las karbit menunjukkan peningkatan daya serap air yang paling stabil dari umur 7 ke 14 hari, hanya sebesar 10,204% (**Gambar 7**). Sementara variasi normal mengalami peningkatan tertinggi (17,513%) dan variasi 16% justru mengalami penurunan. Hal ini menegaskan bahwa komposisi 8% merupakan variasi paling optimal dalam menjaga kestabilan daya serap air *paving block* seiring waktu.

Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

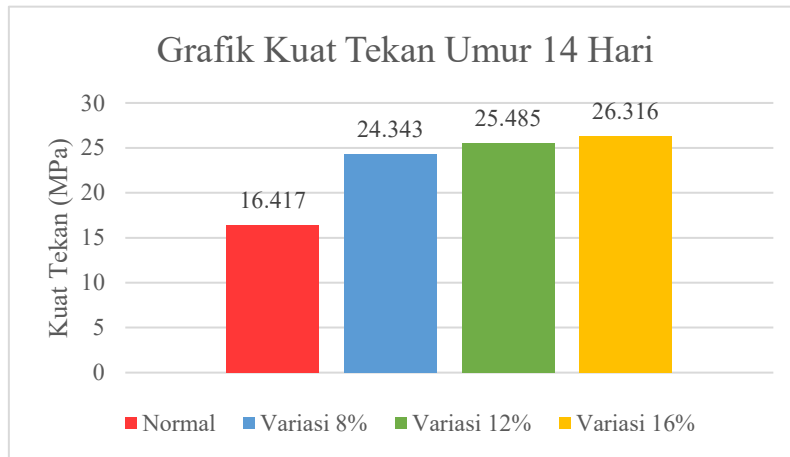
Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo dengan menggunakan alat *Digital Compression Machine*. Sampel uji yang digunakan berupa *paving block* tipe *Holland* berbentuk balok, dengan dimensi 21 × 10,5 × 6 cm.



Gambar 8. Grafik Kuat Tekan Umur 7 Hari

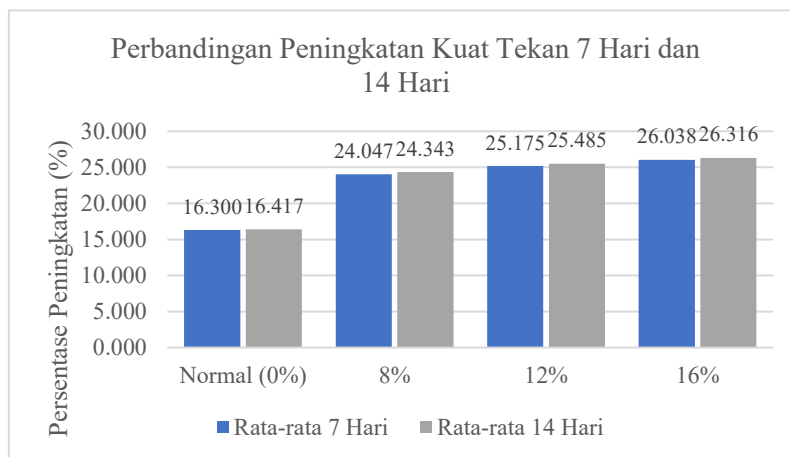
Hasil pengujian kuat tekan (**Gambar 8**) memperlihatkan bahwa penambahan limbah las karbit secara bertahap meningkatkan kuat tekan *paving block* pada umur 7 hari. Variasi normal (0%) menunjukkan kuat tekan terendah sebesar 16,300 MPa, sedangkan variasi 16% mencatatkan nilai tertinggi sebesar 26,038 MPa. Kuat tekan meningkat signifikan pada variasi 8% (24,047 MPa) dan 12% (25,175 MPa), menandakan bahwa limbah las karbit berkontribusi positif terhadap kekuatan material. Hal ini menunjukkan bahwa semakin

tinggi persentase limbah hingga 16%, semakin baik pula peningkatan kekuatan tekan paving block yang dihasilkan pada usia 7 hari.



Gambar 9. Grafik Kuat Tekan Umur 14 Hari

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 14 hari (**Gambar 9**) menunjukkan bahwa nilai kuat tekan *paving block* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase limbah las karbit yang digunakan. Variasi normal (0%) mencatatkan nilai kuat tekan terendah sebesar 16,417 MPa. Peningkatan yang signifikan terjadi pada variasi 8% sebesar 24,343 MPa, variasi 12% sebesar 25,485 MPa, dan mencapai nilai tertinggi pada variasi 16% sebesar 26,316 MPa. Dengan demikian, penambahan limbah las karbit hingga 16% terbukti paling optimal dalam meningkatkan kuat tekan *paving block* pada umur 14 hari, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi 16% merupakan komposisi dengan nilai kuat tekan maksimum (**Gambar 10**).



Gambar 10. Grafik Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan 7 Hari dan 14 Hari

Seluruh variasi mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 ke 14 hari, meskipun sangat kecil (0,007%–0,012%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar kekuatan *paving block* telah terbentuk pada umur 7 hari. Variasi dengan limbah las karbit (8%, 12%, dan 16%) memiliki kuat tekan jauh lebih tinggi dibandingkan variasi normal, baik pada umur 7 maupun 14 hari, menandakan bahwa limbah las karbit efektif dalam meningkatkan

kekuatan awal *paving block*.

4. KESIMPULAN

Merujuk pada hasil penelitian mengenai “Pengaruh Pemanfaatan Limbah Las Karbit Sebagai Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*” diperoleh kesimpulan, antara lain:

1. *Paving block* dengan campuran limbah las karbit menunjukkan karakteristik yang lebih baik dibandingkan *paving block* normal. Secara visual, tampilannya lebih padat dan halus. Kuat tekan tertinggi dicapai pada variasi 16%, yaitu 26,0 MPa (7 hari) dan 26,3 MPa (14 hari), jauh lebih tinggi dibanding *paving block* normal yang hanya mencapai sekitar 16,3 MPa. Daya serap air juga lebih rendah, terutama pada variasi 8%, yang menunjukkan struktur lebih rapat dan sedikit pori. Secara keseluruhan, limbah las karbit mampu meningkatkan kekuatan, ketahanan, serta kualitas visual *paving block*.
2. Penambahan limbah las karbit pada *paving block* (0%–16%) menunjukkan pengaruh positif terhadap kualitas produk dari beberapa segi mutu, antara lain:
 - a. Sifat fisik: Penambahan limbah las karbit hingga 16% tidak memengaruhi tampilan *paving block* secara negatif. Semua variasi tetap menunjukkan bentuk seragam, permukaan rata, dan bebas cacat sudut, dengan retak yang tidak konsisten dan masih memenuhi standar visual.
 - b. Daya serap air: Penambahan limbah las karbit hingga 16% tetap menghasilkan daya serap air di bawah batas SNI, dengan variasi 8% menunjukkan hasil terbaik karena struktur paling rapat, sedangkan variasi 16% memiliki daya serap tertinggi akibat porositas yang meningkat.
 - c. Kuat tekan: Penggunaan limbah las karbit hingga 16% secara signifikan meningkatkan kuat tekan *paving block* pada usia 7 dan 14 hari. Kuat tekan terendah berada pada variasi 0%, sementara tertinggi pada variasi 16%. Semua variasi memenuhi standar mutu SNI 03-0691-1996 untuk kelas D.
3. Berdasarkan hasil pengujian, terbukti bahwa pemanfaatan limbah las karbit sebagai substitusi sebagian semen merupakan alternatif yang ramah lingkungan. Penambahan limbah hingga 16% tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga tidak mengurangi kualitas *paving block*, bahkan justru meningkatkan kinerja mekanisnya seperti kuat tekan dan menurunkan daya serap air.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 Mm). *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 200(200), 1–6.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). Sni 03-0691-1996: Bata Beton (*Paving Block*). *Badan Standardisasi Nasional*, 1–5.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-2847-2002: Perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). Standar Nasional Indonesia SNI 15-2049-2004 Semen

- portland. *Journal of Nursing Measurement*, 10(1), 5–14.
- Dovita Jointina, J. (2024). Pengaruh Limbah Las Karbit dan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Bahan Penyusun Paving Block Terhadap Sifat Mekanik. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 133–145.
- Kurniati, D., Saputro, I. T., Nurhidayatullah, E. F., Saputro, C. D., & Asyifa, A. (2021). Kekuatan Tekan Paving Block Dengan Memanfaatkan Limbah Asetelin. *Jurnal Karkasa*, 7(2), 49–53.
- Mudjri, A. (2021). Pemanfaatan Limbah Ggbfs Dan Acetylene Sebagai Substitusi Semen Untuk Mortar. *Industry and Higher Education*, 3(1), 1–30. <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>
- Muhammad, F. I., & Kusdian, R. D. (2021). Pengaruh Penggunaan Produk Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 1(1), 42. <https://doi.org/10.32897/simteks.v1i1.803>
- Mulyadi, A., Diawarman, D., Suanto, P., Febriani, L., & Khoirunnisa, A. (2023). Analisis Kuat Tekan Paving Block Komposit Sebagai Lapis Perkerasan Bebas Genangan Air Yang Mengakibatkan Banjir Di Kota Palembang. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, 13(1), 11–17. <https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v13i1.959>
- Nofrianto, H., & Hutrio, H. (2023). Analisis Mutu Paving Block Dengan Variasi Agregat Halus. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 1(1), 54–62. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.1.8>
- Panjaitan, F. (2022). Analisis Kuat Tekan Dan Serapan Air Material Paving Block Akibat Variasi Komposisi Fly Ash. 24–25.
- Sulasmi, S., Hasanbasri, M., & Rustamaji. (2022). Identifikasi Dampak Industri Semen yang Merugikan Masyarakat. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek (SNPBS) Ke-VII 2022*, 280–289.