

Pengaruh Penambahan Karbon Hasil Proses Pirolisis Terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air pada Paving Block

Achmad Malachim*, Slamet Widodo, Pramudiyanto, dan Maris Setyo Nugroho

Departemen Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

Kata Kunci:

Karbon
Kuat Tekan
Paving block
Penyerapan Air

Keywords:

Carbon
Compressive Strength
Paving block
Water Absorption

ABSTRAK

Pirolisis merupakan salah satu metode pengelolaan sampah yang dapat dilakukan untuk membantu mengatasi permasalahan sampah. Hasil dari pirolisis antara lain karbon, asap cair, dan gas. Pada penelitian ini, karbon hasil pirolisis digunakan sebagai bahan tambah pada pembuatan *paving block*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek penambahan karbon hasil pirolisis terhadap kuat tekan dan penyerapan air *paving block*. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan metode eksperimental. Penambahan karbon berdasarkan berat semen yang digunakan dengan variasi karbon lolos ayakan no 50, no 200, serta campuran no 50 dan no 200 masing-masing sebanyak 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10%. Total sampel sebanyak 130 benda uji dengan ukuran 20 x 10 x 8 cm. Pengujian dilakukan setelah masa curing 28 hari. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis data kuantitatif deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kuat tekan pada semua variasi penambahan karbon lolos ayakan no 50, sedangkan penyerapan air mengalami penurunan pada variasi 5%. Varian penambahan karbon lolos ayakan no 200 terjadi peningkatan kuat tekan pada variasi 5%, sedangkan penyerapan air mengalami penurunan pada variasi 5%; 7,5%; dan 10%. Varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 terjadi peningkatan kuat tekan pada variasi 2,5%; 5%; dan 7,5%, sedangkan penyerapan air mengalami penurunan pada variasi 5%; 7,5%; dan 10%. Varian karbon lolos ayakan no 200 sebanyak 5%, varian campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 sebanyak 2,5%; 5%; dan 7,5% telah memenuhi persyaratan mutu B SNI 03-0691-1996 yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan lahan parkir.

ABSTRACT

Pyrolysis is one of the waste management methods that can be used to help solve waste problems. The results of pyrolysis include carbon, liquid smoke, and gas. In this study, pyrolyzed carbon was used as an added ingredient in the manufacture of paving blocks. This study was conducted to determine the effect of adding pyrolyzed carbon on the compressive strength and water absorption of paving blocks. The type of research used is quantitative research with experimental methods. The addition of carbon is based on the weight of cement used with variations of carbon passing sieve no 50, no 200, and a mixture of no 50 and no 200 as much as 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; and 10%, respectively. The total sample size was 130 specimens with a size of 20 x 10 x 8 cm. Testing was carried out after a 28-day curing period. The results showed that there was a decrease in compressive strength in all variations of carbon addition through sieve no 50, while water absorption decreased in the 5% variation. The variant of adding carbon passed through sieve no 200 increased compressive strength at 5% variation, while water absorption decreased at 5%; 7,5%; and 10% variations. The variant of adding a mixture of carbon passed through sieve no 50 and no 200 increased compressive strength at variations of 2,5%; 5%; and 7,5%, while water absorption decreased at variations of 5%; 7,5%; and 10%. The variant of carbon passing sieve no 200 as much as 5%, the variant of carbon mixture passing sieve no 50 and no 200 as much as 2,5%; 5%; and 7,5% has met the quality requirements of SNI 03-0691-1996 which is applied as a parking lot surface cover



This is an open access article under the [CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

*Corresponding author.

E-mail: achmad0042ft.2020@student.uny.ac.id

Available online 31 September 2024

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang pesat setiap tahun mengakibatkan berubahnya kebiasaan konsumsi masyarakat, yang ujungnya meningkatkan volume, jenis, dan karakteristik sampah menjadi lebih beragam. Khususnya di kota-kota besar, sampah masih menjadi masalah serius yang harus segera diselesaikan dengan penanganan yang tepat. Sampah yang dihasilkan di Provinsi Yogyakarta pada tahun 2023 mencapai 1.231,55 ton/hari dan baru mampu ditangani sebanyak 756 ton/hari [1]. Dampak dari tidak terkelolanya sampah menyebabkan TPA regional di Yogyakarta ditutup karena daya tampung sampah sudah melebihi kapasitas. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih diperlukan upaya-upaya untuk mengoptimalkan penanganan sampah. Di sisi lain, penanganan sampah harus mempertimbangkan kesehatan masyarakat dan keamanan lingkungan.

Sekarang ini, pengelolaan sampah di Provinsi Yogyakarta dilakukan secara mandiri oleh masing-masing pemerintah kabupaten/kota. Salah satunya adalah Kabupaten Sleman, yang baru-baru ini membangun TPST di Desa Tamanmartani, Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman. Pengelolaan sampah TPST tersebut dilaksanakan melalui cara memilah antara sampah organik dan non- organik. Selanjutnya, sampah tersebut diolah menggunakan mesin menjadi RDF (Refuse Derived Fuel) atau keripik yang bisa digunakan sebagai energi alternatif. Akan tetapi, sampah yang mampu diolah menggunakan mesin tersebut belum sebanding dengan jumlah sampah yang masuk setiap harinya. Khususnya sampah organik yang dihasilkan rumah tangga, sampah yang belum terolah harus ditimbun terlebih dahulu. Oleh karena itu, masih diperlukan metode pengelolaan sampah lain guna membantu mengatasi masalah sampah.

Pirolisis merupakan salah satu metode pengelolaan sampah yang dapat dilakukan untuk membantu mengatasi masalah sampah. Pembakaran pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia yang terjadi melewati pemanasan rendah maupun tanpa adanya oksigen, yang mengakibatkan struktur kimiawi bahan mentah mampu terurai menjadi sebuah gas [2]. Hasil dari pirolisis antara lain arang, asap cair (bio-oil), serta sebuah gas yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Arang dapat digunakan sebagai karbon aktif maupun digunakan sebagai bahan pembuatan briket, asap cair dapat berfungsi sebagai bahan tambahan maupun pengawet, sedangkan gas dapat dibakar secara langsung. Akan tetapi, tidak semua arang hasil proses pirolisis dapat digunakan sebagai karbon aktif maupun bahan pembuatan briket, tergantung pada metode pirolisis yang digunakan.

Pembakaran pirolisis sering disebut juga pembakaran tertutup, berbeda dengan proses pembakaran konvensional yang dilakukan secara terbuka dan dapat menyebabkan pemanasan global. Disebut pembakaran tertutup karena proses pembakaran pirolisis dilakukan menggunakan tabung reaktor yang ditutup rapat. Selain itu, pengelolaan sampah menggunakan metode pembakaran pirolisis memiliki dampak terhadap lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem penimbunan sampah [3].

Karbon (char) merupakan produk yang berasal dari proses pembakaran pirolisis. Karbon yang digunakan pada penelitian ini hasil proses pembakaran pirolisis yang dilakukan di Departemen Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembakaran pirolisis adalah sampah organik seperti daun kering, kayu, serbuk gergaji, sayuran maupun buah-buahan yang sudah tidak layak konsumsi, dan beberapa bahan lainnya.

Paving block adalah batu tersusun khusus yang diaplikasikan sebagai bahan penutup tanah yang tidak perlu menggunakan campuran semen [4]. Paving block biasa digunakan untuk menutupi perkerasan tanah maupun pada perkerasan jalan sebagai alternatif pengganti material aspal atau beton. Paving block memiliki beberapa bentuk, ukuran, dan mutu yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Seiring dengan jumlah penduduk yang terus meningkat, hal tersebut diikuti pembangunan infrastruktur yang terus dilakukan. Seperti pembangunan jalan, bangunan publik, perumahan dan lainnya yang menggunakan paving block sebagai material yang digunakan, contohnya perkerasan jalan, lahan parkir, trotoar, taman, dan lainnya.

Paving block terbuat melalui pencampuran semen portland maupun bahan perekat hidrolis lainnya, air, serta agregat, dengan pemakaian atau tidak bahan tambahan lain yang tidak menurunkan kualitas paving block [5]. Kualitas paving block dipengaruhi oleh bahan dasar yang digunakan, perencanaan campuran (mix design), metode pembuatan, bahan tambah, dan alat yang digunakan [6]. Bahan dasar yang digunakan berupa semen yang terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika dan oksida besi, dimana oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan, air yang digunakan untuk proses kimiawi, serta agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi yang dicampur dengan bahan perekat untuk menghasilkan suatu campuran yang padat [7,8].

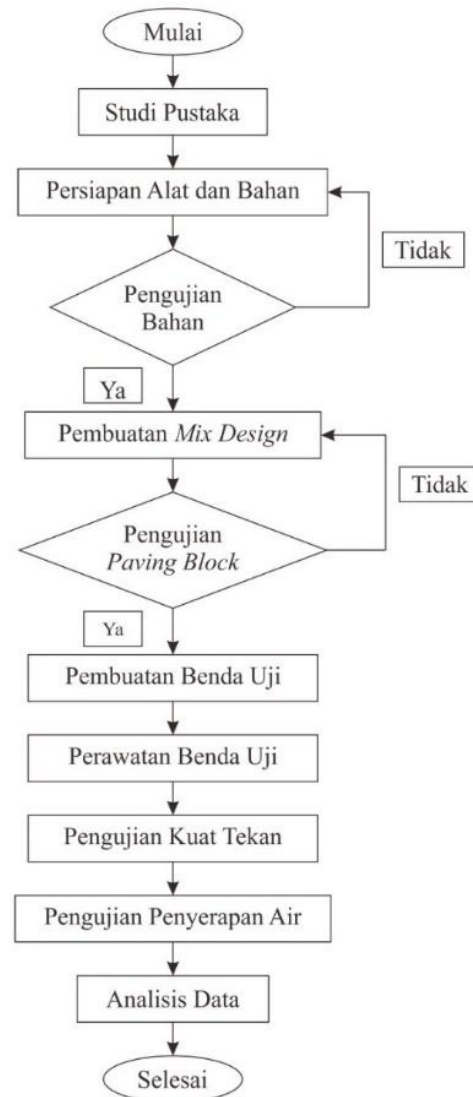
Paving block melalui penambahan karbon menjadi inovasi yang dilakukan dengan tujuan mengetahui efek dari

penambahan karbon terhadap kualitas paving block, memberikan nilai ekonomis terhadap karbon, dan diharapkan mampu membuat paving block berkualitas tinggi dan lebih ramah lingkungan. Penambahan abu sampah organik 12% pada pembuatan paving stone memiliki nilai 351 kg/cm², atau 118% dari kontrol [9]. Penambahan karbon pada campuran paving block tersebut harus dilakukan melalui perencanaan mix design maupun takaran campuran yang tepat agar dihasilkan paving block berkualitas tinggi. Berdasarkan penjelasan tersebut, peneliti tertarik untuk melaksanakan penelitian terkait pengaruh penambahan karbon terhadap kuat tekan dan penyerapan air paving block. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan mengklasifikasikan paving block berdasarkan kelas mutunya melalui pengujian kuat tekan dan penyerapan air. Kuat tekan dan penyerapan air termasuk persyaratan mutu paving block sesuai pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan tujuan untuk mengetahui efek penambahan karbon terhadap kuat tekan dan penyerapan air *paving block*. Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air *paving block*, maka penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif. Eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan karbon sebagai bahan tambah pada pembuatan *paving block*. Variasi ukuran karbon yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon lolos ayakan no 50, karbon lolos ayakan no 200, dan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200. Variasi penambahan karbon berdasarkan berat semen antara lain 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10% pada masing-masing ukuran karbon. Penelitian ini dilakukan di Dusun Sorasan, Bimomartani, Ngemplak, Sleman dan di Laboratorium Bahan Bangunan, Departemen Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 1.

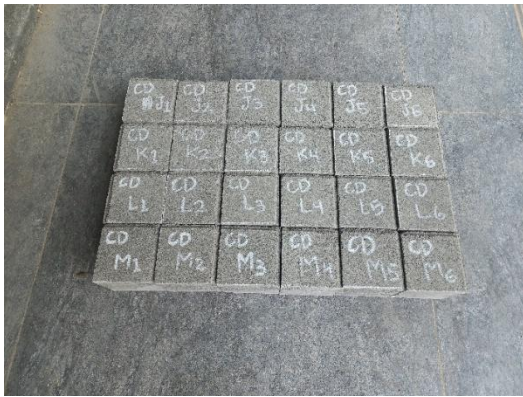
Sampel uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan berupa potongan *paving block* berbentuk kubus dengan ukuran 8 x 8 x 8 cm, sedangkan untuk pengujian penyerapan air menggunakan *paving block* utuh berukuran 20 x 10 x 8 cm. Pada Tabel 1 disajikan rincian 13 varian benda uji yang digunakan pada penelitian ini. Dimana setiap varian terdiri dari 10 benda uji, 5 untuk pengujian kuat tekan dan 5 untuk pengujian penyerapan air.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Tabel 1. Sampel benda uji

No	Kode	Karbon (%)	No Saringan	Jumlah
1	K000D000	0,0	-	10
2	K025D050	2,5	50	10
3	K050D050	5,0	50	10
4	K075D050	7,5	50	10
5	K100D050	10,0	50	10
6	K025D200	2,5	200	10
7	K050D200	5,0	200	10
8	K075D200	7,5	200	10
9	K100D200	10,0	200	10
10	K025D250	2,5	50 & 200	10
11	K050D250	5,0	50 & 200	10
12	K075D250	7,5	50 & 200	10
13	K100D250	10,0	50 & 200	10
Total		130		



Gambar 2. Sampel pengujian kuat tekan



Gambar 3. Sampel pengujian penyerapan air

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Mix Design

Pembuatan *mix design* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan penelitian terdahulu atau yang sudah pernah dilakukan sebelumnya sebagai acuan. Proporsi campuran semen : pasir dinarasikan 1 : 5 dihasilkan *paving block* dengan nilai kuat tekan rerata 19,30 MPa [10]. Proporsi campuran disajikan dalam bentuk tabel berupa proporsi campuran untuk satu cetakan dan untuk satu kali adukan atau 10 cetakan *paving block*. Proporsi campuran untuk satu cetakan *paving block* disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. *Mix design* 1 cetakan *paving block*

Kode	Semen (gram)	Karbon (gram)	Pasir (gram)	Air (gram)
K000D000	512	0,00	3075	225
K025D050	512	12,8	3075	225
K050D050	512	25,6	3075	225
K075D050	512	38,4	3075	225
K100D050	512	51,2	3075	225
K025D200	512	12,8	3075	225
K050D200	512	25,6	3075	225
K075D200	512	38,4	3075	225
K100D200	512	51,2	3075	225
K025D250	512	12,8	3075	225
K050D250	512	25,6	3075	225
K075D250	512	38,4	3075	225
K100D250	512	51,2	3075	225

Untuk *mix design* 10 cetakan *paving block* atau satu kali adukan ditampilkan dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 3. *Mix design* 10 cetakan *paving block*

Kode	Semen (gram)	Karbon (gram)	Pasir (gram)	Air (gram)
K000D000	5120	0	30750	2250
K025D050	5120	128	30750	2250
K050D050	5120	256	30750	2250
K075D050	5120	384	30750	2250
K100D050	5120	512	30750	2250
K025D200	5120	128	30750	2250
K050D200	5120	256	30750	2250
K075D200	5120	384	30750	2250
K100D200	5120	512	30750	2250
K025D250	5120	128	30750	2250
K050D250	5120	256	30750	2250
K075D250	5120	384	30750	2250
K100D250	5120	512	30750	2250

3.2. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Sungai Gendol, Merapi. Untuk memastikan konsistensi hasil pengujian agregat halus, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengujian, selanjutnya diambil nilai rerata pada setiap pengujian. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil agregat halus yang digunakan masuk ke gradasi zona 2 yang termasuk ke dalam kelas agregat halus sedang. Hasil pengujian agregat disajikan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus.

No	Pengujian	Rerata	Satuan
1.	<i>Fines Modulus</i>	2,61	-
2.	Kadar Air Alami	3,98	%
3.	Kadar Air SSD	1,63	%
4.	Kadar Lumpur	1,92	%
5.	Berat Jenis SSD	2,74	-
6.	Penyerapan Air	2.64	%
7.	Bobot Isi Gembur	1,39	kg/lt
8.	Bobot Isi Padat	1,56	kg/lt

3.3 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan benda uji *paving block* merupakan kemampuan *paving block* untuk menahan tekanan atau gaya tekan sebelum mengalami deformasi atau retak. Perhitungan kuat tekan pada *paving block* dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L} \quad (1)$$

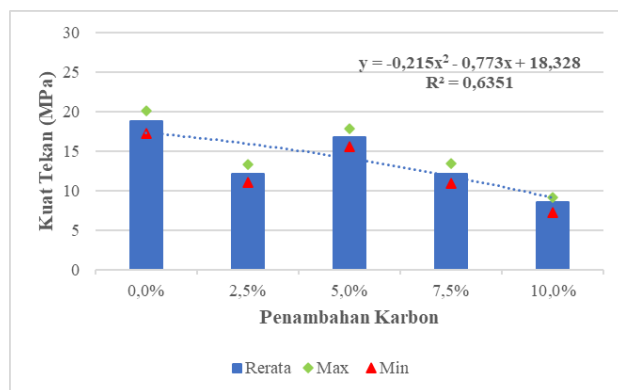
dimana kuat tekan dinyatakan dalam N/mm² atau Mpa, P adalah gaya tekan aksial (N), L adalah luas bidang tekan (mm²).



Gambar 4. Pengujian kuat tekan

3.3.1 Varian Karbon Lolos Ayakan No 50

Pada Gambar 5 disajikan grafik hasil pengujian kuat tekan *paving block* normal dan varian penambahan karbon lolos ayakan no 50. Data kuat tekan mengalami penurunan seiring dengan penambahan karbon.



Gambar 5. Pengaruh penambahan karbon lolos ayakan no 50 terhadap kuat tekan *paving block*

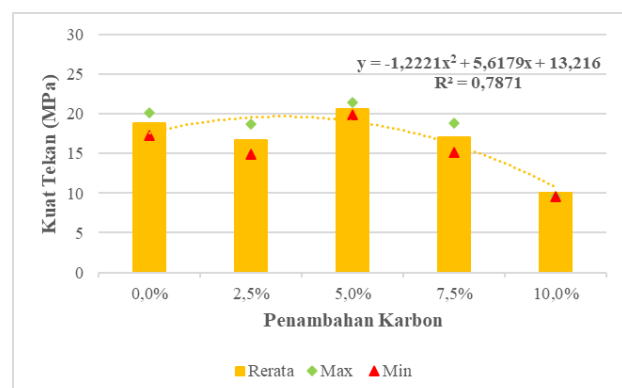
Kuat tekan rerata varian *paving block* dengan penambahan karbon 2,5% mengalami penurunan sebesar -35,9%, varian penambahan karbon 5% terjadi penurunan sebesar -10,8%, varian penambahan karbon 7,5% terjadi penurunan sebesar -35,9%, dan varian penambahan karbon 10% terjadi penurunan sebesar -54,7%. Penambahan karbon lolos ayakan no 50 secara bertahap 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% nilai kuat tekan rerata berturut-turut adalah 18,82 MPa; 12,06 MPa; 16,78 MPa; 12,05 MPa; dan 8,51 MPa. Penurunan nilai kuat tekan *paving block* terjadi karena karbon lolos ayakan no 50 tidak mampu berperan sebagai bahan pengisi untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat

pada *paving block*. Karbon lolos ayakan no 50 tidak dapat mengisi rongga-rongga yang berukuran lebih kecil karena ukurannya masih terlalu besar, sehingga karbon menjadi bahan pengisi yang harus diikat oleh semen, selain pasir. Hal tersebut menyebabkan kuat tekan yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan *paving block* normal.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* normal telah memenuhi persyaratan mutu B yang diaplikasikan pada permukaan tempat parkir. Kemudian varian penambahan karbon 2,5% dan 7,5% telah memenuhi persyaratan mutu D yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan taman, varian penambahan karbon 5% telah memenuhi persyaratan mutu C yang diaplikasikan sebagai lapisan atas trotoar, sedangkan varian penambahan karbon 10% tidak memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

3.3.2 Varian Karbon Lolos Ayakan No 200

Pada Gambar 6 disajikan grafik hasil pengujian kuat tekan *paving block* normal dan varian penambahan karbon lolos ayakan no 200. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan pada varian penambahan karbon 2,5% dan 5%, kemudian diikuti penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan karbon sebanyak 7,5% dan 10%. Akan tetapi, berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan, diperoleh nilai kuat tekan pada varian penambahan karbon 2,5% mengalami penurunan atau lebih rendah daripada kuat tekan *paving block* normal. Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor, salah satunya adalah metode pembuatan yang digunakan. Metode pembuatan *paving block* yang digunakan pada penelitian ini adalah pembuatan secara manual, di mana kekuatan tekan yang diberikan pada proses pembuatan *paving block* tidak konstan, sehingga kuat tekan *paving block* yang dihasilkan kurang stabil.



Gambar 6. Pengaruh penambahan karbon lolos ayakan no 200 terhadap kuat tekan *paving block*

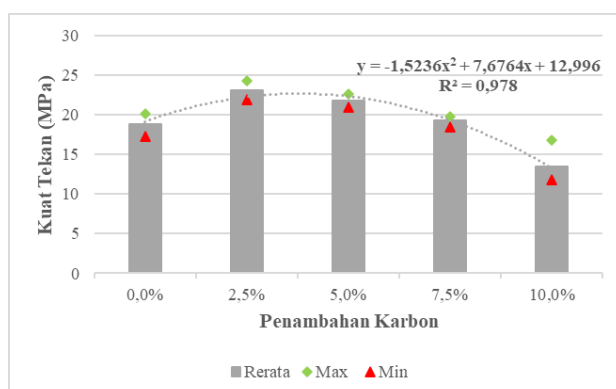
Kuat tekan rerata varian *paving block* dengan penambahan karbon 2,5% mengalami penurunan sebesar -11,6%, varian penambahan karbon 5% terjadi peningkatan sebesar 9,4%,

varian penambahan karbon 7,5% terjadi penurunan sebesar -9,5%, dan varian penambahan karbon 10% terjadi penurunan sebesar -46,6%. Penambahan karbon lolos ayakan no 200 secara bertahap 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% nilai kuat tekan rerata berturut-turut adalah 18,82 MPa; 16,64 MPa; 20,59 MPa; 17,03 MPa; dan 10,05 MPa. Penurunan kuat tekan *paving block* pada varian penambahan karbon lolos ayakan no 200 variasi 2,5%; 7,5%; dan 10% terjadi karena karbon sebagai bahan pengisi tidak berperan dengan baik. Karbon tidak mengisi lebih banyak rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*, sehingga terjadi penurunan kuat tekan. Akan tetapi, pada varian penambahan karbon 5%, karbon mampu mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block* dengan baik, sehingga terjadi peningkatan kepadatan *paving block*. Hal tersebut menyebabkan nilai kuat tekan *paving block* mengalami peningkatan.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* normal dan varian penambahan karbon 5% dan 7,5% telah memenuhi persyaratan mutu B yang diaplikasikan sebagai lapisan atas permukaan tempat parkir. Kemudian varian penambahan karbon 2,5% telah memenuhi persyaratan mutu C yang diaplikasikan sebagai lapisan permukaan atas trotoar, dan varian penambahan karbon 10% telah memenuhi persyaratan mutu D yang biasa diaplikasikan sebagai penutup permukaan taman.

3.3.3 Varian Campuran Karbon Lolos Ayakan No 50 dan No 200

Pada Gambar 7 disajikan grafik hasil pengujian kuat tekan *paving block* normal dan varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan lolos ayakan no 200. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan pada penambahan karbon 2,5% dan 5%, kemudian diikuti penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan karbon sebanyak 7,5% dan 10%.



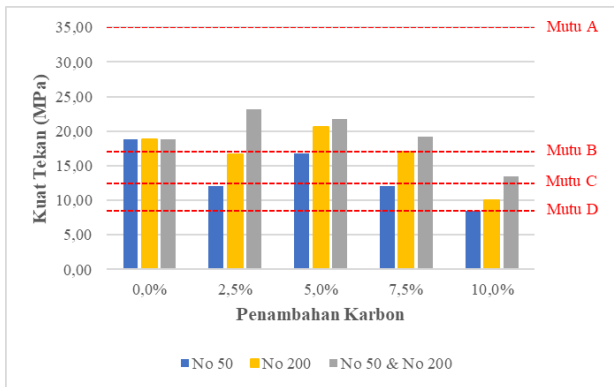
Gambar 7. Pengaruh Penambahan Campuran Karbon Lolos Ayakan No 50 dan No 200 Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*

Kuat tekan rerata varian *paving block* dengan penambahan karbon 2,5% mengalami peningkatan sebesar 22,8%, varian penambahan karbon 5% terjadi peningkatan sebesar 15,4%, varian penambahan karbon 7,5% terjadi peningkatan sebesar 2,3%, dan varian penambahan karbon 10% terjadi penurunan sebesar -28,7%. Penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan lolos ayakan no 200 secara bertahap 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% nilai kuat tekan rerata berturut-turut sebesar 18,82 MPa; 23,11 MPa; 21,72 MPa; 19,26 MPa; dan 13,42 MPa. Peningkatan kuat tekan yang terjadi pada varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 variasi 2,5%; 5%; dan 7,5% terjadi karena karbon berperan dengan baik sebagai bahan pengisi. Karbon mampu mengisi lebih banyak rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*, sehingga terjadi peningkatan kepadatan *paving block*. Hal tersebut menyebabkan nilai kuat tekan *paving block* mengalami peningkatan. Untuk penurunan yang terjadi pada varian penambahan karbon 10% dikarenakan terdapat karbon yang tidak mengisi rongga-rongga pada *paving block*, sehingga karbon menjadi bahan tambahan yang harus diikat oleh semen, selain pasir yang menyebabkan kerekatannya berkurang.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* normal dan varian penambahan karbon 2,5%; 5%; 7,5% telah memenuhi persyaratan mutu B yang diaplikasikan sebagai lapisan atas permukaan tempat parkir. Kemudian varian penambahan karbon 10% telah memenuhi persyaratan mutu C yang biasa diaplikasikan sebagai penutup lapisan atas trotoar.

3.3.4 Perbandingan Kuat Tekan Setiap Varian Karbon

Pada Gambar 8 disajikan grafik perbandingan kuat tekan *paving block* normal dan varian penambahan karbon lolos ayakan 50, lolos ayakan no 200, campuran lolos ayakan 50 dan ayakan no 200. Grafik tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan pada varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan ayakan no 200 sebanyak 2,5%; 5%; dan 7,5%, serta pada varian penambahan karbon lolos ayakan no 200 sebanyak 5%.



Gambar 8. Perbandingan kuat tekan *paving block* dengan penambahan karbon lolos ayakan no 50, no 200, campuran no 50 dan no 200

Kuat tekan rerata *paving block* normal adalah 18,82 MPa. Pada varian penambahan karbon lolos ayakan no 50 sebanyak 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10% terjadi penurunan kuat tekan menjadi 12,06 MPa, 16,78 MPa, 12,05 MPa, dan 8,51 MPa. Kemudian pada varian penambahan karbon lolos ayakan no 200 sebanyak 2,5% terjadi penurunan kuat tekan menjadi 16,64 MPa. Akan tetapi, pada penambahan karbon sebanyak 5% terjadi peningkatan kuat tekan menjadi 20,59 MPa. Kemudian terjadi penurunan kuat tekan kembali pada penambahan karbon sebanyak 7,5% dan 10% masing-masing menjadi 17,03 MPa dan 10,05 MPa. Pada varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan lolos ayakan no 200 sebanyak 2,5%; 5%; dan 7,5% terjadi peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan menjadi 23,11 MPa, 21,72 MPa, dan 19,26 MPa, sedangkan pada varian penambahan karbon sebanyak 10% mengalami penurunan kuat tekan menjadi 13,42 MPa.

Paving block dengan kuat tekan optimum didapatkan pada varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan ayakan no 200 sebanyak 2,5% yaitu sebesar 23,11 MPa. Untuk *paving block* dengan kuat tekan terendah terjadi pada varian *paving block* melalui penambahan karbon lolos ayakan no 50 sebanyak 10% yaitu sebesar 8,51 MPa. Varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 memiliki kuat tekan yang lebih baik apabila dibandingkan dengan varian karbon lolos ayakan no 50 dan varian karbon lolos ayakan no 200. Varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 memiliki ukuran yang lebih bervariasi, sehingga dapat mengisi lebih banyak rongga-rongga yang terdapat pada *paving block* daripada varian lainnya. Hal tersebut menyebabkan *paving block* menjadi lebih padat dan kekuatannya meningkat.

3.4. Pengujian Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan kemampuan *paving block* untuk menyerap air melalui rongga-rongga atau pori-porinya.

Rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung penyerapan air dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\% \quad (2)$$

dimana W_b adalah berat basah dan W_k adalah berat kering.



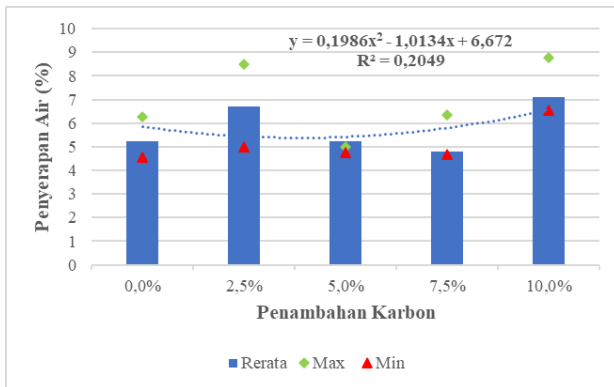
Gambar 9. Perendaman benda uji penyerapan air



Gambar 10. Pengeringan benda uji penyerapan air

3.4.1 Varian Karbon Lolos Ayakan No 50

Pada Gambar 11 disajikan hasil pengujian penyerapan air *paving block* normal dan varian penambahan karbon lolos ayakan no 50. Persentase penyerapan air pada varian penambahan karbon sebanyak 5% dan 7,5% mengalami penurunan, sedangkan pada varian penambahan karbon sebanyak 2,5% dan 10% mengalami peningkatan penyerapan air. Hal tersebut menunjukkan bahwa persentase penyerapan air pada varian penambahan karbon sebanyak 5% dan 7,5% lebih baik daripada penyerapan air *paving block* normal.



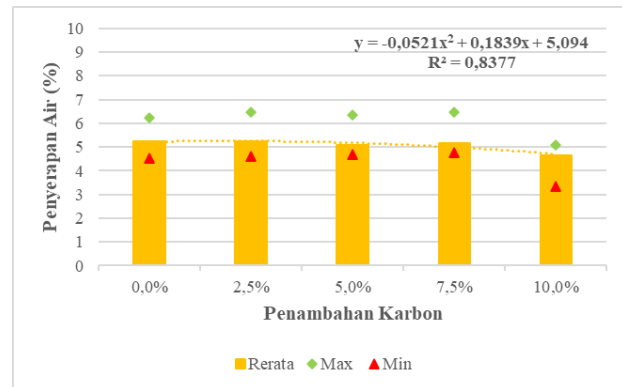
Gambar 11. Pengaruh penambahan karbon lolos ayakan no 50 terhadap penyerapan air *paving block*

Penambahan karbon lolos ayakan no 50 secara bertahap 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10% persentase penyerapan air berturut-turut adalah 5,25%; 6,72%; 4,87%; 5,08%; dan 7,11%. Peningkatan penyerapan air terjadi karena variasi karbon tidak berperan dengan baik dalam mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*. Sebaliknya, penurunan penyerapan air terjadi karena variasi karbon mampu mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*, sehingga dapat menutup sebagian pori-pori yang menyebabkan daya serap airnya mengalami penurunan.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* normal, varian penambahan karbon sebanyak 5% dan 7,5% telah memenuhi persyaratan mutu B yang diaplikasikan sebagai lapisan atas permukaan tempat parkir. Kemudian varian penambahan karbon sebanyak 2,5% dan 10% telah memenuhi persyaratan mutu C yang diaplikasikan sebagai penutup lapisan atas trotoar.

3.4.2 Varian Karbon Lolos Ayakan No 200

Pada Gambar 12 disajikan hasil pengujian penyerapan air *paving block* normal dan varian penambahan karbon lolos ayakan no 200. Persentase penyerapan air pada varian penambahan karbon sebanyak 5%; 7,5%; dan 10% mengalami penurunan, sedangkan pada varian penambahan karbon sebanyak 2,5% mengalami peningkatan penyerapan air. Hal tersebut menunjukkan bahwa persentase penyerapan air pada varian penambahan karbon sebanyak 5%; 7,5%; dan 10% lebih baik daripada penyerapan air *paving block* normal.



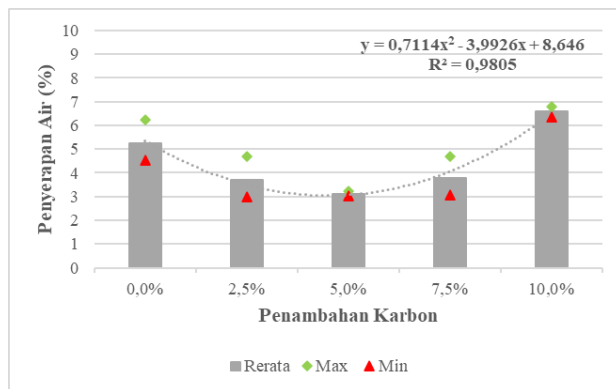
Gambar 12. Pengaruh penambahan karbon lolos ayakan no 200 terhadap penyerapan air *paving block*

Penambahan karbon lolos ayakan no 50 secara bertahap 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10% persentase penyerapan air berturut-turut adalah 5,25%; 5,34%; 5,05%; 5,15%; dan 4,65%. Peningkatan penyerapan air terjadi karena variasi karbon tidak berperan dengan baik dalam mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*. Sebaliknya, penurunan penyerapan air terjadi karena variasi karbon mampu mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*, sehingga dapat menutup sebagian pori-pori yang menyebabkan daya serap airnya mengalami penurunan.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* normal dan semua varian penambahan karbon lolos ayakan no 200 telah memenuhi persyaratan mutu B yang diaplikasikan sebagai lapisan atas permukaan tempat parkir.

3.4.3 Varian Campuran Karbon Lolos Ayakan No 50 dan No 200

Pada Gambar 13 disajikan hasil pengujian penyerapan air *paving block* normal dan varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan lolos ayakan no 200. Persentase penyerapan air pada varian penambahan karbon sebanyak 2,5% 5%; dan 7,5% mengalami penurunan. Akan tetapi pada varian penambahan karbon sebanyak 10% mengalami peningkatan penyerapan air. Hal tersebut menunjukkan bahwa persentase penyerapan air pada varian penambahan karbon sebanyak 2,5% 5%; dan 7,5% lebih baik daripada penyerapan air *paving block* normal.



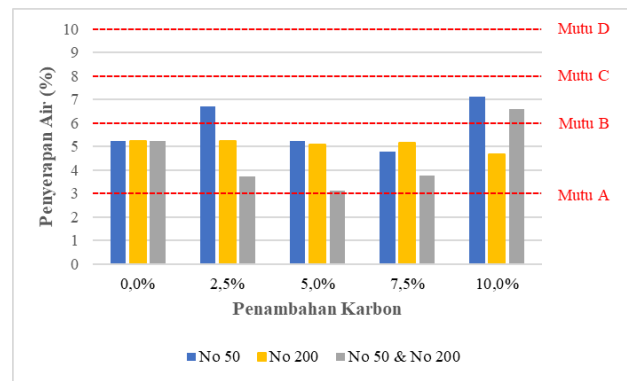
Gambar 13. Pengaruh Penambahan Campuran Karbon Lolos Ayakan No 50 dan No 200 Terhadap Penyerapan Air *Paving Block*

Penambahan karbon lolos ayakan no 50 secara bertahap 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10% persentase penyerapan air berturut-turut adalah 5,25%; 3,72%; 3,12%; 3,75%; dan 6,60%. Peningkatan penyerapan air terjadi karena variasi karbon tidak berperan dengan baik dalam mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*. Sebaliknya, penurunan penyerapan air terjadi karena variasi karbon mampu mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*, sehingga dapat menutup sebagian pori-pori yang menyebabkan daya serap airnya mengalami penurunan.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* normal, varian penambahan karbon sebanyak 2,5% 5%; dan 7,5% telah memenuhi persyaratan mutu B yang diaplikasikan sebagai lapisan atas permukaan tempat parkir. Kemudian varian penambahan karbon sebanyak 10% telah memenuhi persyaratan mutu C yang diaplikasikan sebagai penutup lapisan atas trotoar.

3.4.4 Perbandingan Penyerapan Air Setiap Varian Karbon

Pada Gambar 14 disajikan grafik perbandingan persentase penyerapan air *paving block* normal dan varian penambahan karbon lolos ayakan 50, lolos ayakan no 200, campuran lolos ayakan 50 dan ayakan no 200. Grafik tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan penyerapan air pada penambahan karbon lolos ayakan no 50 sebanyak 5% dan 7%, penambahan karbon lolos ayakan no 200 sebanyak 5%; 7%; dan 10%, serta pada penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan ayakan no 200 sebanyak 2,5%; 5%; dan 7,5%.



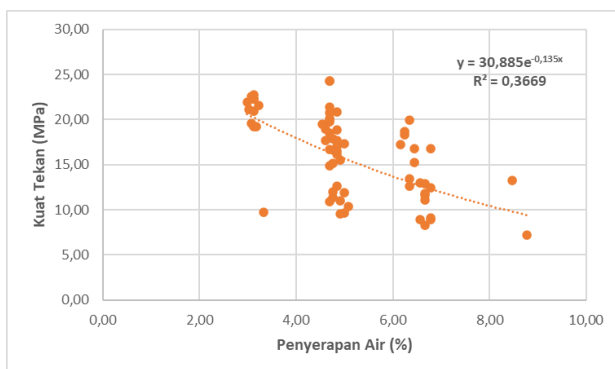
Gambar 14. Perbandingan penyerapan air *paving block* dengan penambahan karbon lolos ayakan no 50, no 200, campuran no 50 dan no 200

Persentase penyerapan air rerata *paving block* normal yaitu 5,25%. Pada varian penambahan karbon lolos ayakan no 50 sebanyak 2,5% terjadi peningkatan penyerapan air menjadi 6,72%. Akan tetapi, pada penambahan karbon sebanyak 5% dan 7,5% terjadi penurunan penyerapan air menjadi 4,87% dan 5,08%. Kemudian terjadi peningkatan penyerapan air kembali pada penambahan karbon sebanyak 10% menjadi 7,11%. Pada varian penambahan karbon lolos ayakan no 200 sebanyak 2,5% terjadi peningkatan penyerapan air menjadi 5,34%. Kemudian pada penambahan karbon sebanyak 5%: 7,5%: dan 10% terjadi penurunan penyerapan air menjadi 5,05%; 5,15%; dan 4,65%. Pada varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan lolos ayakan no 200 sebanyak 2,5%; 5%; dan 7,5%, persentase penyerapan air terjadi penurunan yang cukup signifikan masing-masing menjadi 3,72%; 3,12%; dan 3,75%. Kemudian pada varian penambahan karbon sebanyak 10% terjadi peningkatan penyerapan air menjadi 6,60%.

Penyerapan air paling baik terdapat pada *paving block* dengan persentase penyerapan air terendah. Hal tersebut terjadi pada varian *paving block* dengan penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan ayakan no 200 sebanyak 5% yaitu sebesar 3,12%. Varian *paving block* melalui penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 memiliki persentase penyerapan air yang lebih baik apabila dibandingkan dengan varian karbon lolos ayakan no 50 dan varian karbon lolos ayakan no 200. Varian campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 memiliki ukuran yang lebih bervariasi, sehingga dapat mengisi lebih banyak rongga-rongga yang terdapat pada *paving block* daripada varian lainnya. Dengan terisinya rongga-rongga tersebut oleh karbon, maka sebagian pori-pori pada *paving block* tertutup dan menyebabkan daya serap airnya menurun.

3.7. Hubungan Setiap Pengujian

Pada Gambar 15 disajikan grafik hubungan antara pengujian kuat tekan dengan pengujian penyerapan air *paving block*. Grafik tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara kuat tekan dengan penyerapan air, dimana kuat tekan berbanding terbalik dengan persentase penyerapan air. Semakin tinggi kuat tekan maka persentase penyerapan airnya semakin rendah. Hal tersebut sesuai dengan dugaan bahwa karbon mampu berperan sebagai bahan pengisi untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat pada *paving block*, sehingga terjadi peningkatan kepadatan yang menyebabkan kuat tekan meningkat. Selanjutnya, karbon yang mengisi rongga-rongga dapat menutup sebagian pori-pori pada *paving block*, sehingga daya serap airnya mengalami penurunan.



Gambar 15. Hubungan pengujian kuat tekan dengan pengujian penyerapan air *paving block*

Varian *paving block* melalui penambahan karbon lolos ayakan no 50 sebanyak 10% dan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 sebanyak 10% terjadi peningkatan penyerapan air masing-masing menjadi 7,11% dan 6,60%. Peningkatan penyerapan air menyebabkan penurunan nilai kuat tekan masing-masing menjadi 8,51 MPa dan 13,42 MPa. Semakin tinggi nilai penyerapan air maka mengakibatkan terjadinya penurunan kuat tekan pada *paving block*. Hal tersebut dikarenakan *paving block* dengan penyerapan air yang tinggi memiliki pori-pori yang lebih banyak sehingga kepadatannya rendah yang menyebabkan distribusi beban tidak merata pada *paving block*.

4. Simpulan

Varian penambahan karbon lolos ayakan no 50 terjadi penurunan kuat tekan pada semua variasi penambahan karbon, sedangkan penyerapan air mengalami penurunan pada variasi 5%. Variasi karbon 2,5%; 7,5%; dan 10% masuk pada mutu D yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan taman, sedangkan variasi karbon 5% masuk pada mutu C yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan trotoar. Varian penambahan karbon lolos

ayakan no 200 terjadi peningkatan kuat tekan pada variasi 5%, sedangkan penyerapan air mengalami penurunan pada variasi 5%; 7,5%; dan 10%. Variasi karbon 5% masuk pada mutu B pada SNI 03-0691-1996 yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan lahan parkir. Kemudian variasi karbon 2,5% dan 7,5% masuk pada mutu C yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan trotoar, sedangkan variasi karbon 10% masuk pada mutu D yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan taman. Varian penambahan campuran karbon lolos ayakan no 50 dan no 200 terjadi peningkatan kuat tekan pada variasi 2,5%; 5%; dan 7,5%, sedangkan penyerapan air mengalami penurunan pada variasi 5%; 7,5%; dan 10%. Variasi karbon 2,5%; 5% dan 7,5% masuk pada mutu B pada SNI 03-0691-1996 yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan lahan parkir, sedangkan variasi karbon 10% masuk pada mutu C yang diaplikasikan sebagai penutup permukaan trotoar.

Daftar Rujukan

- [1] Bappeda Provinsi Yogyakarta, "Pengelolaan sampah Bappeda provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta 2020-2024", 2023, [Online]. Available: https://bappeda.jogjaproprov.go.id/dataku/data_da_sar/index/208-pengelolaan-sampah. [Accessed: 9 Juli 2024].
- [2] K. Ridhuan, D. Irawabn, dan R. Inthufawzi, "Proses pembakaran pirolisis dengan jenis biomassa dan karakteristik asap cair yang dihasilkan", Program Studi Teknik Mesin UM Metro, vol. 2 no. 1, pp. 2019.
- [3] G. G. Garcia, M. A. M. Lara, M. Calero, dan G. Blaquez "Environmental impact of different scenarios for the pyrolysis of contaminated mixed plastic waste", Royal Society of Chemistry, vol 16, pp. 2853-3862, 2024.
- [4] A. L. Pamuji, "Pengaruh penambahan tras muria sebagai bahan ikat tambahan pada pembuatan paving block ditinjau terhadap nilai kuat tekan, ketahanan aus dan serapan air", Tugas Akhir, Semarang: Fakulras Teknik Universitas Negeri Semarang. 2007.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, "Bata beton (paving block) (SNI 03-0691-1996)", Badan Standarisasi Nasional. 1996.
- [6] D. D. Triyono, "Proses pembakaran pirolisis dengan jenis biomassa dan karakteristik asap cair yang dihasilkan", Tugas Akhir, Semarang:

Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2010.

- [7] S. P. Yuswanto & Pramudiyanto, “Pengaruh penambahan abu vulkanik Gunung Kelud terhadap kuat tekan beton”, *INERSIA*, vol. 11, no. 1, pp.
- [8] A. Santoso, Darmono, F. Ma’arif, dan Sumarjo, “Studi perbandingan rancang campur beton normal menurut SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012”, *INERSIA*, vol. 13, no. 2, pp.
- [9] Y. Wahyudi, “Paving stone berbahan abu sampah tanaman”, *INERSIA*, vol. 3, no. 1, pp. 47-62, 2007.
- [10] A. Razak & H. A. Hasanudin, “Analisis kekuatan tekan paving block yang menggunakan bahan pengganti kawat bendrat”, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, pp. 11-14, 2019.