

OPTIMALISASI *PAVING BLOCK*: PENGGUNAAN LIMBAH POLIMER DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI

Syahidus Syuhada^{1*}, Galih Rio Prayogi¹, Satria Duta Anugrah Sembiring¹, dan Rahmat Kurniawan¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Lampung Selatan, Indonesia
*syaihdu.syuhada@si.itera.ac.id

Masuk: 16-07-2024, revisi: 23-03-2025, diterima untuk diterbitkan: 11-04-2025

ABSTRACT

The background of this study is based on the increasing problem of plastic waste in Indonesia, which has a negative impact on the environment. This study aims to evaluate the utilization of Low-Density Polyethylene (LDPE) polymer waste as a substitute for fine aggregate and rice husk ash as a substitute for cement in making Paving blocks using conventional methods. This study will look at the effect of material substitution on compressive strength and water absorption. The experimental process involves shredding LDPE polymer waste, making Paving block mixtures, and testing mechanical properties. The results showed that the addition of LPDE to the paving block mixture would cause a decrease in strength of 0.8632 MPa for every 1% LDPE used. If added with 10% use of rice husk ash, then every 1% use of LDPE will cause a decrease of 0.6425 MPa. For water absorption, there was an increase of 0.11% for every 1% LDPE mixing and 0.23% for every 1% LDPE mixture with 10% rice husk ash. The price obtained from the variation of LDPE usage of 5%, 10%, 15%, 20% plus 10% rice husk ash is cheaper than the price of using standard materials according to the basic price of the Lampung region in 2022. The price difference is 36%, 33%, 29%, 26% respectively. The use of LDPE waste and rice husk ash in the manufacture of paving blocks not only reduces the amount of plastic waste but also has the potential to make a significant contribution to the development of a more sustainable construction industry and supports efforts to reduce plastic waste in Indonesia.

Keywords: compressive strength; water absorbtion; LDPE waste; rice husk ash; price of paving block; sustainability construction material

ABSTRAK

Latar belakang penelitian ini didasari oleh permasalahan sampah plastik yang semakin meningkat di Indonesia, yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan limbah polimer jenis Low-Density Polyethylene (LDPE) sebagai substitusi agregat halus dan abu sekam padi sebagai substitusi semen dalam pembuatan *paving block* menggunakan metode konvensional. Penelitian ini akan melihat pengaruh dari substitusi material terhadap nilai kuat tekan dan penyerapan air. Proses eksperimen melibatkan pencacahan limbah polimer LDPE, pembuatan campuran *paving block*, dan pengujian sifat mekanis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan LPDE pada campuran *paving block* akan menyebabkan penurunan kekuatan sebesar 0,8632 MPa setiap penggunaan 1% LDPE. Jika ditambahkan dengan 10% penggunaan abu sekam padi maka setiap penggunaan 1% LDPE akan menyebabkan penurunan 0,6425 MPa. Untuk daya serap air, terjadi kenaikan sebesar 0,11% untuk setiap 1% pencampuran LDPE dan 0,23% untuk setiap 1% campuran LDPE dengan 10% abu sekam padi. Harga yang didapatkan dari variasi penggunaan LDPE 5%, 10%, 15%, 20% ditambah dengan Abu sekam padi 10% lebih murah dari harga penggunaan material standar sesuai dengan basic price wilayah Lampung Tahun 2022. Selisih harganya masing - masing adalah 36%, 33%, 29%, 26%. Pemanfaatan limbah LDPE dan abu sekam padi dalam pembuatan *Paving block* tidak hanya mengurangi jumlah limbah plastik tetapi juga berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan industri konstruksi yang lebih berkelanjutan dan mendukung upaya pengurangan limbah plastik di Indonesia.

Kata kunci: kuat tekan; daya serap air; limbah LDPE; abu sekam padi; harga *paving block*; material konstruksi berkelanjutan

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah di Indonesia semakin serius seiring dengan peningkatan produksi sampah akibat pertumbuhan populasi. Tercatat oleh Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil (Ditjen Dukcapil) Kementerian Dalam Negeri (Kemendagri) populasi Indonesia mencapai 282.477.584 juta jiwa (Ulya & Rastika, 2024). Dari total sampah yang dihasilkan, 17% merupakan sampah plastik. Indonesia, sebagai penyumbang sampah plastik terbesar kedua di

dunia setelah Tiongkok, menghasilkan sekitar 10,8 juta ton sampah plastik per tahun. Sampah plastik ini dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia jika tidak dikelola dengan baik (Ariyadi, 2019).

Plastik jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) banyak digunakan untuk kantong plastik dan kemasan lainnya, tetapi sulit terurai sehingga mencemari lingkungan. Upaya untuk mengurangi dampak negatif sampah plastik mendorong penelitian dan pengembangan metode daur ulang dan pengelolaan limbah plastik. Salah satu alternatif yang sedang dikaji adalah penggunaan limbah LDPE dalam pembuatan *paving block*, yang banyak digunakan dalam konstruksi jalan, trotoar, dan area parkir. *paving block* terbuat dari campuran semen, air, dan agregat halus, dan memiliki keunggulan seperti ketahanan terhadap suhu ekstrem dan ketidakmampuan mendukung pertumbuhan mikroorganisme (Putri & Safitroh, 2022).

Namun, penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik dapat menurunkan kuat tekan *paving block* karena daya lekat antar bahan penyusun kurang optimal, menyebabkan banyak rongga yang mengganggu kepadatan (Syefringga, 2021; Siswanto et al., 2020). Dengan adanya dua kemungkinan yang timbul akibat penambahan LDPE ini, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang berapa komposisi penambahan LDPE pada campuran *paving block* yang optimal dalam segi performa ataupun ekonomisnya.

Selain limbah LDPE, abu sekam padi, hasil samping dari pembakaran sekam padi, memiliki potensi untuk digunakan dalam pembuatan *paving block*. Abu sekam memiliki unsur kimia yang mirip dengan semen, seperti SiO₂, Al₂O₃, dan CaO, yang memungkinkan abu sekam bereaksi dengan kapur dari hidrasi semen dan pasir, menghasilkan senyawa yang menyerupai semen sebagai bahan perekat. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu sekam dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* (Ukroi et al., 2013).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan limbah LDPE dan abu sekam dalam pembuatan *paving block*. Dengan mempertimbangkan kondisi populasi sampah plastik di Indonesia serta potensi penggunaan abu sekam, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam pengelolaan limbah dan pengembangan material konstruksi berkelanjutan. Penelitian ini lebih lanjut melihat pengaruh penambahan limbah LDPE dan abu sekam yang memiliki kelebihan dan kekurangan terhadap kuat tekan dan daya serap serta biaya yang dibutuhkan untuk membuat *paving block*.

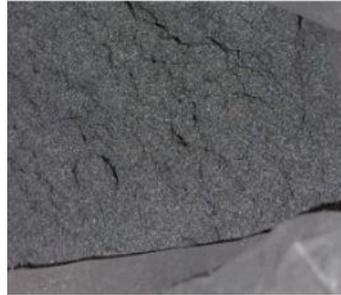
2. TINJAUAN PUSTAKA

Paving block

Paving block adalah material konstruksi yang terbentuk dari campuran semen Portland atau zat perekat hidrolis serupa, air, dan agregat, dengan penambahan bahan lain tanpa mengurangi kualitas blok (Badan Standardisasi Nasional, 1996). Trottoir block, atau beton interblok, populer di Belanda sejak tahun 1950-an sebagai alternatif batu bata konvensional dalam konstruksi jalan, karena produksi batu bata tradisional tidak dapat memenuhi permintaan (Ariyadi, 2019). Menurut Pirdaus & Raka (2019), *paving block* umumnya digunakan sebagai penutup permukaan jalan, selain dari aspal atau beton. Preferensi terhadap *paving block* meningkat karena sifat ramah lingkungan, mampu meresap air, pemasangan cepat, sederhana dalam perakitan dan pemeliharaan, terjangkau, dan variasi bentuk yang estetik. Secara keseluruhan, *paving block* adalah material konstruksi yang terbentuk dari kombinasi semen Portland, air, dan agregat, menjadi alternatif populer bagi lapisan jalan, menggantikan batu bata konvensional. Keunggulannya meliputi kemudahan pemasangan, ramah lingkungan, variasi bentuk estetik, dan harga terjangkau, menjadikannya alternatif utama bagi aspal atau beton dalam konstruksi jalan.

Penggunaan abu sekam sebagai bahan campuran *paving block*

Salah satu upaya untuk mengurangi biaya produksi *paving block* adalah dengan memanfaatkan abu sekam padi sebagai substitusi bahan campuran pengikat tambahan selain semen. Gambar 1 menunjukkan bentuk abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini. Abu sekam padi, yang merupakan limbah dari proses penggilingan padi, memiliki keunggulan mudah didapat dan murah. Abu sekam padi mengandung mineral dan komponen kimia yang dapat memberikan kontribusi signifikan pada sifat fisik dan kimia material (Abdullah, 2019; Rachman, 2021). Abu sekam memiliki sifat pozzolan, yaitu kemampuan untuk bereaksi dengan kapur yang dihasilkan dari hidrasi semen dan pasir, membentuk senyawa yang fungsinya mirip dengan semen (Ukroi et al., 2013). Kandungan kimia abu sekam, termasuk SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan CaO, memiliki kesamaan dengan komponen semen, memungkinkan abu sekam digunakan sebagai bahan pengganti atau tambahan dalam pembuatan material konstruksi.



Gambar 1 Abu sekam padi

Penggunaan abu sekam padi lebih dari 10% akan mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan *paving block* (Putri & Safitroh, 2022). Sehingga abu sekam padi penggunaannya dibatasi hanya pada substitusi 10%. Tabel 1 menunjukkan persentase unsur kimia yang terkandung pada semen dan abu sekam padi.

Tabel 1. Perbandingan Unsur Kimia Pozzolan pada Semen dan Abu Sekam (Ukroi et al., 2013)

No.	Uraian	Semen	Abu Sekam
1	SiO ₂ ,	20%	86,55%
2	Al ₂ O ₃	6%	0,41%
3	Fe ₂ O ₃ ,	6%	0,28%
4	MgO	6%	0,46%
5	Lain-lainnya	15,50%	12,14%

Penambahan LDPE sebagai bahan campuran *paving block*

Plastik adalah makromolekul yang terbentuk melalui proses polimerisasi, di mana monomer-monomer digabungkan melalui reaksi kimia untuk membentuk polimer. Komponen utama plastik adalah karbon dan hidrogen, dan bahan baku utama yang digunakan adalah naphta dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Pembuatan 1 kg plastik memerlukan sekitar 1,75 kg minyak bumi, baik sebagai bahan baku maupun untuk proses produksi (Surono, 2013)

Untuk mengurangi biaya produksi *paving block*, limbah plastik LDPE dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk mengurangi volume pasir. Limbah plastik LDPE, yang berasal dari kantong plastik, dan lembaran plastik, mudah didapat, murah. Gambar 2 menunjukkan bentuk LDPE yang digunakan pada penelitian ini. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penambahan abu sekam dan limbah plastik LDPE dalam *paving block* dapat meningkatkan kuat tekan dan mengurangi penyerapan air. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji pengaruh penambahan kedua bahan tersebut secara bersamaan terhadap sifat fisik dan mekanik *paving block*.



Gambar 2. Cacahan LDPE (ukuran 1 ~ 2 cm)

Kuat tekan dan daya serap *paving block*

Kuat tekan (*compressive strength*) merupakan parameter yang penting untuk mengevaluasi kemampuan *paving block* untuk menahan tekanan atau beban yang bekerja. Kuat tekan didefinisikan sebagai gaya tekan maksimum yang dapat ditahan oleh *paving block* per satuan luas. Rumus (1) digunakan untuk menghitung kuat tekan *paving block*.

$$Fc' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan Fc' = kuat tekan benda uji (MPa), P = beban maksimum (N), A = luas penampang benda uji (mm²)

Daya Serap merupakan kemampuan *paving block* untuk menyerap air. Daya serap yang tinggi dapat mengindikasikan kemampuan *paving block* untuk menyerap air hujan atau cairan lainnya, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kestabilan dan keawetan *paving block*. Rumus (2) dapat digunakan untuk menghitung daya serap *paving block*. Tabel 2 merupakan syarat kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air untuk menentukan mutu *paving block*.

$$Wa = \frac{mj - mk}{mk} \times 100\% \quad (2)$$

dengan Wa = Daya Serap air (%), mj = Massa sampel setelah direndam (g), dan mk = Massa sampel sebelum direndam (g)

Tabel 2. Sifat-sifat fisika *paving block* berdasarkan kelas mutu SNI-03-0691-1996 (Badan Standarisasi Nasional, 1996)

Mutu	Kuat tekan (MPa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maksimum (%)
	Rata-rata	Minimum	Rata-rata	Minimum	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

3. METODE PENELITIAN

Alur penelitian ini mengikuti uraian sebagai berikut:

1. Persiapan material yang akan digunakan meliputi limbah LDPE, abu sekam padi, pasir, dan semen.
2. Material yang telah dipersiapkan kemudian diuji karakteristiknya. Pengujian ini meliputi analisis karakteristik pasir dan semen. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan material memenuhi kriteria standar *paving block* konvensional.
3. Setelah karakteristik material diketahui, langkah berikutnya adalah perencanaan campuran benda uji. Campuran yang direncanakan meliputi tiga jenis *paving block*: *paving block* normal, *paving block* dengan penambah LDPE, dan *paving block* dengan penambahan LDPE dan abu sekam.
4. Campuran *paving block* yang telah direncanakan kemudian dibuat melalui proses pencampuran (*mix design*) dan dilanjutkan dengan perawatan (*curing*) benda uji. Digunakan campuran material semen : pasir adalah 1:3 dan w/c sebesar 0.35.
5. Setelah perawatan, benda uji akan diuji kuat tekan dan daya serapnya. Pengujian ini penting untuk menentukan performa dari masing-masing campuran *paving block*.
6. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi yang valid mengenai kuat tekan dan daya serap *paving block*.
7. Analisis statistik menggunakan metode Anova dilakukan untuk melihat perbedaan signifikan antar campuran *paving block*. Selain itu, analisis biaya material juga dilakukan untuk mengetahui efisiensi biaya dari penggunaan LDPE dan abu sekam dalam pembuatan *paving block*.
8. Hasil dari seluruh analisis kemudian dibuat kesimpulan dimana masing-masing campuran.



Gambar 3. Tekstur *paving block* akibat penambahan LDPE

Gambar 3 menunjukkan tekstur *paving block* setelah dicampur dengan LDPE. Semakin banyak campuran LDPE yang dicampurkan ke material *paving block*, maka semakin banyak limbah plastik yang terlihat pada *paving block*. Ini menyebabkan bentuk *paving block* kurang menarik sehingga bisa menjadi pertimbangan nantinya untuk perencanaan pembuatan *paving block* secara komersial.

Perencanaan campuran

Untuk perencanaan kebutuhan pencampuran yang akan digunakan, tahapan penentuan proporsi semen, agregat halus, limbah plastik LDPE, abu sekam, dan air perlu dilakukan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan rancangan acak kelompok (*randomized block design*). Kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dengan persentase LDPE yang berbeda (5%, 10%, 15%, dan 20%) pada pembuatan *paving block* serta persentase abu sekam terhadap penggunaan semen yang direncanakan adalah 10% dengan mengambil rujukan dari penelitian yang dilakukan oleh (Putri & Safitroh, 2022). Perencanaan ini akan memungkinkan evaluasi terhadap kinerja *paving block* dengan proporsi bahan yang berbeda dimana akan diuji menjadi 3 bagian dan masing campuran akan dibuat masing – masing 3 sampel untuk pengujian kuat tekan dan daya serap air nya. Tabel 3 merupakan variasi persentase pencampuran LDPE dan abu sekam pada pembuatan benda uji *paving block*. Total benda uji dibuat sebanyak 30 benda uji dengan substitusi pencampuran LDPE saja, dan 30 benda uji dengan substitusi pencampuran LDPE dan abu sekam padi dan semen yang digunakan adalah semen merek gresik.

Tabel 3. Variasi substitusi LDPE dan abu sekam padi

Kode Variasi	Variasi Penggunaan Limbah LDPE	Jumlah Benda Uji	Jumlah Benda Uji (2 sampel per pengujian daya serap)	Jumlah Benda Uji Penelitian
Normal	0	3	3	6
LDPE 5 %	5%	3	3	6
LDPE 10%	10%	3	3	6
LDPE 15 %	15%	3	3	6
LDPE 20%	20%	3	3	6
Total Sampel dengan LDPE				30
Normal + 10% Abu Sekam	0%	3	3	6
LDPE 5 % + 10% Abu Sekam	5%	3	3	6
LDPE 10% + 10% Abu Sekam	10%	3	3	6
LDPE 15% + 10% Abu Sekam	15%	3	3	6
LDPE 20% +10% Abu Sekam	20%	3	3	6
Total Sampel dengan LDPE dan Abu Sekam				30
Total Pengujian				60

Tahapan analisis data

Pada analisis data yang didapat setelah hasil pengujian, terdapat 3 sampel setiap pengujian. Sampel yang diuji dihitung menggunakan standar deviasi untuk mendapatkan nilai yang akurat dari ketiga sampel dalam satu pengujian. Standar deviasi adalah informasi mengenai penyebaran data dalam benda uji. Dari ketiga sampel jika terdapat satu sampel yang memiliki nilai yang jauh signifikan dari dua sampel yang lain, maka satu sampel yang memiliki nilai signifikan tidak masuk ke dalam perhitungan standar deviasi. Standar deviasi ditulis pada persamaan 3.

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(x - m)^2}{(n - 1)}} \quad (3)$$

dengan Sd = standar deviasi, m = rata-rata, n = jumlah sampel, x = nilai yang di uji

Analisis biaya material

Analisis biaya material yang dikaji dalam kebutuhan *paving block* seluas 1 m². Analisis ini mengkaji biaya material yang dibutuhkan terkait penggunaan pasir yang dapat dikurangi dari penambahan LDPE dan penggunaan semen yang mengalami pengurangan akibat penambahan abu sekam padi. Analisis harga satuan yang digunakan ialah AHSP Provinsi Lampung untuk mencari harga satuan material pasir dan semen tahun 2024. Uraian anggaran biaya material pembuatan *paving block* terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Harga satuan bahan campuran

No.	Uraian	Satuan	Harga
1	<i>Paving block</i> tebal 6 cm	bh	Rp 2.700,00
2	Air	lt	Rp 100,00
3	pasir pasang	m ³	Rp 239.080,00
4	Semen	kg	Rp 1.500,00

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perencanaan terhadap campuran *paving block*, berikut pelaksanaan dari rencana diantaranya pengujian material campuran.

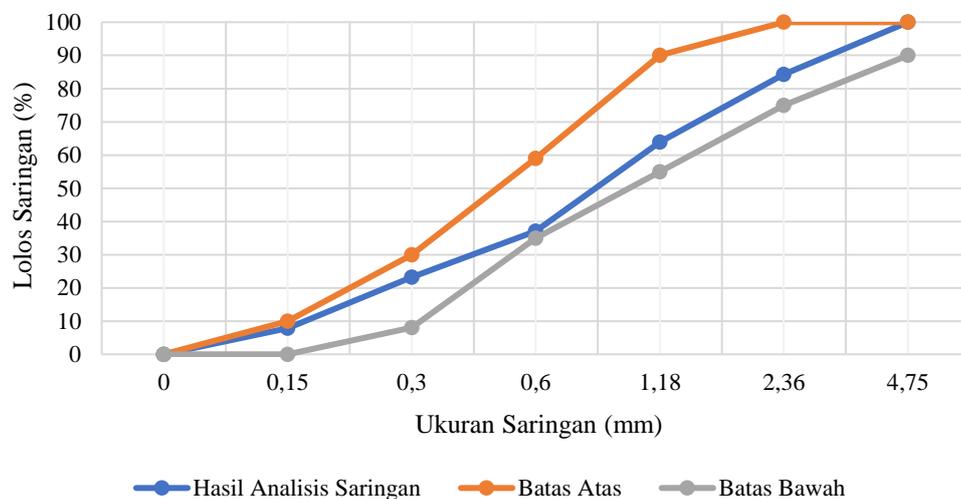
Pengujian material campuran

Digunakan agregat halus dengan rentang diantara batas bawah dan batas atas (gradasi berwarna oranye dan abu - abu). Didapatkan hasil untuk modulus kehalusan adalah 3,84%. Dikutip berdasarkan SNI 03-2834-2000 (Badan Standarisasi Nasional, 2000) dengan presentase kehalusan yaitu rentang 1,5-3,9%, sehingga agregat halus telah memenuhi standar. Gradasi agregat yang digunakan untuk penentuan batas atas dan batas bawah ialah pada zona 2, yaitu golongan pasir agak kasar. Untuk gradasi dari agregat halus yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengujian kadar air dilakukan untuk menentukan kadar air yang ada dalam agregat halus, yang berpengaruh terhadap mutu dan kekuatan campuran. Pengujian kadar air mengacu pada SNI 1971:2011 (Badan Standarisasi Nasional, 2011) mengenai cara uji kadar air total agregat. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai 1%, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemeriksaan *kadar air*

No.	Keterangan	Nilai
1	Berat sebelum dioven	550
2	Berat sesudah dioven	546
3	Presentase Kadar Air	1%



Gambar 4. Grafik analisis saringan agregat halus

Pengujian kadar lumpur berpedoman kepada SNI S-04-2989-F dengan syarat kadar lumpur harus kurang dari 5%. Hasil yang diperoleh menunjukkan persentase kadar lumpur, yaitu 1,13% yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemeriksaan *kadar lumpur*

No.	Keterangan	Nilai
1	Tinggi Pasir	3 cm
2	Tinggi Lumpur	0,1 cm
3	Tinggi Total (t1+t2)	3,1
4	Kadar Lumpur	1,13 %

Tabel 7 menunjukkan hasil dari pemeriksaan beberapa *specific gravity* dan persentase penyerapan. Dari hasil yang didapatkan dari pengujian, seluruhnya telah memenuhi standar diantaranya ASTM C 128-73 tentang standar berat jenis dan ASTM C 126-78 untuk penentuan standar absorpsi.

Tabel 7. Pemeriksaan berat jenis pasir dan penyerapan

No.	Keterangan	Nilai
1	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.23
2	<i>Bulk Specific Gravity</i> Kondisi Kering	2.13
3	<i>Bulk Specific Gravity</i> Kondisi SSD	2.18
4	Presentase Penyerapan (%Absorpsi)	2.09
5	Berat Jenis Agregat Halus	2.16

Tabel 8 menunjukkan pemeriksaan dari material semen. Dari hasil yang didapatkan, nilai berat jenis semen yaitu 3,12 g/ml. Pengujian untuk berat jenis semen memenuhi sesuai SNI 2531:2015 (Badan Standardisasi Nasional, 2015) dengan syarat maksimal berat jenis semen yaitu 3,15 g/ml. Semen yang digunakan adalah jenis PCC tipe 1.

Tabel 8. Pemeriksaan berat jenis semen

No.	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Berat Semen	64	gram
2	Skala Awal (V1)	0.5	ml
3	Skala Akhir (V2)	21	ml
4	Nilai Berat Jenis Semen	3.12	gr/ml

Untuk pengujian berat jenis abu sekam padi didapatkan nilai 2.12 gr/ml. Untuk detail dari nilai pemeriksaan abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 9. Kemudian nilai – nilai tersebut akan digunakan untuk rancangan campuran dari pembuatan *paving block*.

Tabel 9. Pemeriksaan berat jenis abu sekam padi

No.	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Berat Abu Sekam	43	gram
2	Skala Awal (V1)	0,8	ml
3	Skala Akhir (V2)	21,1	ml
4	Nilai Berat Jenis Abu Sekam	2,12	gr/ml

Pembuatan campuran benda sampel

1. Perhitungan volume cetakan

Volume *Paving block* menggunakan cetakan balok dapat dihitung sebagai berikut:

$$v = p \times l \times t$$

$$v = 21 \times 10,5 \times 6$$

$$v = 0,001323 \text{ m}^3$$

2. Dari hasil pengujian nilai dari berat jenis semen yaitu 3122 kg/m³, nilai dari berat jenis pasir 2160 kg/m³ dan nilai berat jenis air yaitu 1000 kg/m³ maka dapat dicari kebutuhan semen per kg/m³ sebagai berikut:

$$\frac{1C}{bj \text{ semen}} + \frac{3C}{bj \text{ pasir}} + \frac{0,35C}{bj \text{ air}} = 1 \text{ m}^3$$

$$\frac{1}{3122} + \frac{3}{2160} + \frac{0,35}{1000} = 1 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 0,00206 C$$

Maka kebutuhan tiap material dalam 1 m³ dihitung sebagai berikut:

$$\text{untuk semen} = \frac{1}{0,00206}$$

$$= 485,626 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{untuk pasir} &= \frac{3}{0,00206} \\ &= 1456,87 \text{ kg/m}^3 \\ \text{untuk air} &= \frac{0,35}{0,00206} \\ &= 169,969 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui masing-masing berat untuk 1 *Paving block* maka kalikan dengan volume cetakan *Paving block*

$$\begin{aligned} \text{Untuk semen} &= 485,626 \times 0,001323 &= 0,642 \text{ kg} \\ \text{Untuk pasir} &= 1456,87 \times 0,001323 &= 1,927 \text{ kg} \\ \text{Untuk air} &= 169,969 \times 0,001323 &= 0,225 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Untuk kebutuhan pasir, semen dan air dapat dihitung dengan menggunakan faktor keamanan 1,2 karena adanya faktor penyusutan saat pemadatan dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Semen} &= 0,642 \times 1,2 &= 0,771 \text{ kg} \\ \text{Pasir} &= 1,927 \times 1,2 &= 2,312 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 0,225 \times 1,2 &= 0,270 \text{ kg} \end{aligned}$$

4. Untuk kebutuhan LDPE terhadap volume agregat halus dapat dihitung dengan persamaan hubungan antara berat jenis, massa dan volume. Penelitian ini sebelumnya telah dilakukan oleh (Yuniari, 2014) dengan kisaran densitas antara (0,910-0,925g/cm³) dengan cabang pendek maupun panjang. Nilai berat jenis LDPE yang diambil ialah 910 kg/m³ dan perhitungan volume yang dikaji berdasarkan berat jenis pasir sebesar 2160 kg/m³ dengan massa 2,312 kg.

Nilai volume agregat halus dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis} &= \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} \\ 2160 \text{ kg/m}^3 &= \frac{2,312}{\text{Volume}} \\ \text{Volume} &= 0,00107 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk kebutuhan pasir setelah adanya substitusi, dapat dihitung dengan pengurangan langsung dari bobot persentase.

$$\begin{aligned} \text{volume LDPE 5\%} &= 5\% \times 0,00107 \\ &= 0,00005354 \text{ m}^3 \\ \text{massa LDPE 5\%} &= 0,00005354 \times 910 \text{ kg/m}^3 \\ &= 48,7 \text{ gram} \end{aligned}$$

Berikut ini rekap volume dan massa LDPE setiap % campuran pada Tabel 10

Tabel 10. Pengujian abu sekam

Persentase Campuran (%)	Volume (m ³)	Massa (gram)
5	0,00005354	48,7
10	0,0001071	97
15	0,0001606	146
20	0,0002142	195

5. Untuk kebutuhan abu sekam dapat dihitung dari berat jenis semen. Perhitungan tersebut dapat dihitung dengan konsep sebagai berikut: Nilai berat jenis semen 3122 kg/m³ dan massa 0,771 kg.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semen} &= \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} \\ 3122 \text{ kg/m}^3 &= \frac{0,771}{\text{Volume}} \\ \text{Volume} &= 0,00025 \text{ m}^3 \\ \text{volume Abu Sekam 10\%} &= 10\% \times 0,00025 \\ &= 0,000025 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa Abu Sekam 10\%} &= 0,000025 \times 2122 \text{ kg/m}^3 \\ &= 53 \text{ gram} \end{aligned}$$

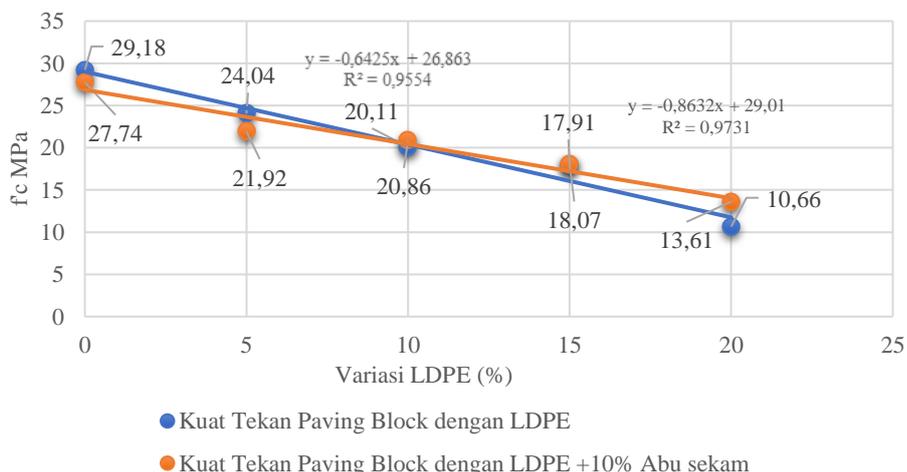
Pengujian kuat tekan dan daya serap *paving block*

Hasil pengujian kuat tekan *paving block* dengan LDPE menunjukkan bahwa variasi dalam persentase LDPE mempengaruhi kuat tekan bahan. Semakin tinggi persentase LDPE, semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Dari pengujian ini karakteristik LDPE dapat menurunkan kuat tekan pada *paving block*. Hasil pengujian kuat tekan *Paving block* dengan pengujian dengan menambahkan abu sekam dalam jumlah 10% ke setiap variasi LDPE. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan abu sekam cenderung mengurangi kuat tekan dari setiap variasi LDPE.

Penurunan nilai kuat tekan pada penggunaan LDPE ini sesuai dengan penelitian (Siswanto et al., 2020) yang juga mengalami penurunan akibat lekatan antar bahan penyusun kurang bekerja optimal sehingga banyak rongga atau celah kosong yang membuat *paving block* tidak padat saat diuji. Penambahan limbah plastik menyebabkan bertambahnya luasan permukaan agregat yang licin dan datar sehingga menyebabkan gangguan lekatan antar partikel.

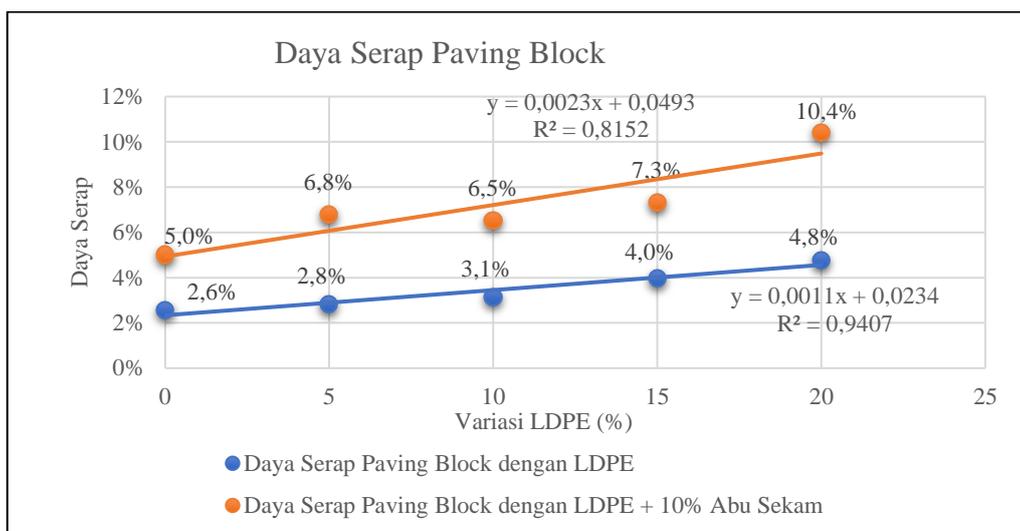
Penurunan nilai kuat tekan pada *paving block* dengan campuran abu sekam padi disebabkan adanya perbedaan kandungan unsur kimia semen dengan unsur abu sekam padi. Adapun unsur kimia yang paling berpengaruh dalam menentukan kuat tekan *paving block* adalah silika. Silika pada semen terdapat 25%, sedangkan abu sekam padi mengandung 85% sampai dengan 90% (Kusuma et al., 2013). Namun sifat pozzolan yang timbul harus sebanding dengan tingkat aktivitas dari pozzolan materialnya, karena kandungan pozzolan dari abu sekam padi harus diaktivasi terlebih dahulu sebelum bisa siap untuk digunakan.

Jika dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan dengan LDPE dan hasil kuat tekan dengan LDPE dan 10% abu sekam tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Kedua hasil pengujian ini terjadi penurunan kuat tekan pada *paving block*. Namun data hasil pengujian masih masuk kedalam kategori kelas mutu *paving block* SNI 03-0691-1996. Pada campuran menggunakan LDPE saja, didapatkan kecenderungan penurunan kuat tekan dengan persamaan $f'c = -\{0,8632,(\%LDPE) + 29,01\}$ MPa, dapat dilihat bahwa setiap pencampuran 1 % LDPE terjadi penurunan kuat tekan sebesar 0,8632 MPa dari kekuatan tanpa campuran, Sedangkan, dengan mencampurkan 10 % abu sekam padi akan membuat kuat tekan memiliki kecenderungan $f'c = \{-0,6425 (\%LDPE) + 26,863\}$ MPa, Penurunan kuat tekan pada campuran 10% abu sekam padi adalah sebesar 0,6425 MPa setiap ditambahkan 1% LDPE, Perilaku ini dapat dilihat pada Gambar 5,



Gambar 5. Grafik hubungan kuat tekan terhadap LDPE

Persamaan Daya Serap = $0,0011 (\%LDPE) + 0,0234$ pada campuran LPDE saja, Hal ini menunjukkan bahwa terjadi kenaikan daya serap sebesar 0,0011 atau 0,11% setiap penambahan 1% LDPE, Sementara pada campuran 10% abu sekam padi dan LDPE didapatkan persamaan Daya Serap = $0,0023 (\%LDPE) + 0,0493$, kecenderungan kenaikan nilai daya serap yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan hanya campuran LDPE saja, Pada kasus ditambahkan 10% abu sekam padi, terjadi kenaikan daya serap sebesar 0,0023 atau 0,23% setiap penambahan 1% LDPE. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan daya serap terhadap LDPE dan abu sekam

Meningkatnya daya serap dari bertambahnya komposisi LDPE mengakibatkan lekatan antar bahan penyusun kurang bekerja optimal sehingga banyak rongga atau celah kosong yang membuat *paving block* memiliki porositas yang tinggi. Pada abu sekam mempunyai sifat cenderung menyerap air (Saloma & Setiawan, 2018). Nilai resapan *paving block* mengalami peningkatan pada campuran yang mempunyai kandungan abu sekam padi lebih banyak. Hal tersebut dikarenakan abu sekam mempunyai sifat menyerap air.

Analisis uji statistik ANOVA

Secara keseluruhan, uji ANOVA adalah alat yang sangat berguna dalam penelitian untuk menguji hipotesis dan memahami perbedaan antara beberapa kelompok atau kondisi dalam sebuah eksperimen atau studi. Secara keseluruhan, uji ANOVA merupakan metode statistik yang sangat penting karena memberikan hasil yang kuat dan efisien untuk menguji hipotesis, memahami hubungan antara variabel, dan membuat keputusan berdasarkan data yang lebih akurat dan valid. Berikut ini dapat dilihat hasil uji ANOVA untuk kuat tekan dan daya serap dari penelitian ini.

Tabel 11. Analysis of variance kuat tekan

Keterangan	Df	JK	RK	F hitung	F tabel	P-value
Banyak Sampel	2	3,83	1,91	1,73	6,55	0,205
Variasi Percobaan	9	898,32	99,81	90,30	2,98	3,98E-13
Galat/Error	18	19,90	1,11			
Total	29	922,04				

Kesimpulan yang didapat untuk pengaruh banyaknya variasi percobaan

Keputusan = Nilai $F > F$ Tabel, P -Value $< \alpha$

Kesimpulan = Terdapat Pengaruh yang signifikan antara variasi percobaan LDPE dan abu sekam terhadap kuat tekan yang dihasilkan.

Tabel 12. Analysis of variance *daya serap*

Keterangan	Df	JK	RK	F hitung	F tabel	P-value
Banyak Sampel	2	0,0009	0,0004	2,29	6,55	0,129
Variasi Percobaan	9	0,0164	0,0018	9,80	2,98	2,63E-05
Galat/Error	18	0,0033	0,0002			
Total	29	0,0205				

Kesimpulan yang didapat untuk pengaruh banyaknya variasi percobaan terhadap daya serap *Paving block*

Keputusan = Nilai $F > F$ Tabel, P -Value $< \alpha$

Kesimpulan = Terdapat pengaruh antara variasi percobaan LDPE dan abu sekam terhadap daya serap yang dihasilkan.

Analisis harga material

Analisis harga material ditinjau dari pengurangan material pokok terhadap pemanfaatan material limbah dari LDPE dan abu sekam dan penambahan biaya pengolahan terhadap material yang digunakan. Penentuan harga menyesuaikan *basic price* wilayah Lampung. Tabel 13 menunjukkan *basic price* dari wilayah lampung pada Tahun 2022.

Tabel 13. *Basic Price*

No.	Uraian	Satuan	Harga
1	<i>Paving block</i> tebal 6 cm	bh	Rp2.700
2	Air	lt	Rp100
3	pasir pasang	m ³	Rp239.080
4	Semen	Kg	Rp1.500

Harga *paving block* dengan campuran normal (tanpa LDPE dan abu sekam) didapatkan sebesar Rp. 2700. Untuk rekapitulasi harga *paving block* dengan campuran LDPE dan abu sekam terdapat pada Tabel 14. Didapatkan harga dengan selisih tertinggi pada campuran LDPE 5% + 10% abu sekam padi yaitu Rp. 989 per buah dengan mutu Kelas B. Perlu diperhatikan bahwa harga untuk campuran ini merupakan harga produksi/harga modal, bukan harga jual material.

Tabel 14. Rekapitulasi analisis harga material

Keterangan	LDPE 5% + 10%Abu Sekam	LDPE 10% + 10%Abu Sekam	LDPE 15% + 10%Abu Sekam	LDPE 20% + 10%Abu Sekam
Semen	Rp.1.077,-	Rp.1.077,-	Rp.1.077,-	Rp.1.077,-
Pasir	Rp.371,-	Rp.363,-	Rp.355,-	Rp.347,-
Air	Rp.27,-	Rp.27,-	Rp.27,-	Rp.27,-
LDPE	Rp.96,-	Rp.194,-	Rp.292,-	Rp.390,-
Abu Sekam	Rp.140,-	Rp.140,-	Rp.140,-	Rp.140,-
Harga Total	Rp.1.711,-	Rp.1.801,-	Rp.1.891,-	Rp.1.981,-
Harga AHSP	Rp.2.700	Rp.2.700	Rp.2.700	Rp.2.700
Mutu Kelas	B	B	C	C
Selisih Harga	Rp.989,-/bh	Rp.899,-/bh	Rp.809,-/bh	Rp.719,-/bh
% Selisih Harga	36%	33%	29%	26%

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan analisis pemanfaatan limbah polimer jenis LDPE dan Abu Sekam pada pembuatan *paving block*, berikut adalah Kesimpulan yang didapat:

- Hasil pengujian kuat tekan yang telah mencapai umur 28 hari didapatkan perbedaan nilai kuat tekan yang telah dipengaruhi oleh limbah LDPE 0%; 5%; 10%; 15%; 20%, dan 10% abu sekam terdapat penurunan nilai kuat tekan didapatkan masing masing sebesar 27,98; 21,92; 20,86; 18,07; dan 13,61 mpa. Mutu kelas yang didapat ialah kelas B, kecuali pada varian 15% < LDPE < 20% masuk ke dalam kelas C. Berdasarkan hasil uji anova fhitung > ftabel senilai 90,30 > 2,98 mengartikan bahwasannya terdapat pengaruh terhadap kuat tekan yang didapatkan dari variasi percobaan yang dilakukan.
- Komposisi yang baik dalam penggunaan limbah untuk mendapatkan kuat tekan optimum yaitu dengan menggunakan persentase *Paving block* LDPE 10% dan abu sekam 10%. Pada hasil pengujian optimal dari segi kuat tekan namun untuk daya serap tergolong dalam kelompok mutu kelas C. Untuk mencapai mutu kelas B dalam daya serap air, ada pada penggunaan abu sekam padi 10% dan LDPE sebanyak 5%. Pemanfaatan dari limbah LDPE 10% cukup ergonomis dalam pemanfaatan limbah plastik pada pembuatan *Paving block*. Dari mutu yang didapat bisa digunakan sebagai lahan parkir kendaraan.
- Berdasarkan variasi percobaan yang dilakukan dengan abu sekam 10% tiap varian dan LDPE 0%,5%,10%,15%,20%, dari percobaan tersebut hasil uji masuk kedalam kriteria kelas mutu *Paving block* dengan mutu kelas yang didapat dari kelas mutu b, c dan d ditinjau dari hasil kuat tekan dan daya serap yang didapat.
- Pada nilai harga material yang dikaji pada perhitungan dengan pengurangan material karena LDPE dan abu sekam di setiap substitusi dengan 10% abu sekam tiap variasi dan LDPE 5%,10%,15%,20% mendapatkan presentase selisih harga dari pengurangan harga *basic price* dan harga total untuk 1 buah *Paving block* >25%. Harga ini dibandingkan dengan harga *Paving block* berdasarkan *basic price* wilayah lampung. Harga untuk campuran ini merupakan harga produksi / harga modal, bukan harga jual material.

6. SARAN

Hasil penelitian ini masih perlu kajian lebih lanjut untuk penyempurnaan laporan ini. Sebaiknya ada beberapa hal yang perlu dikaji untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variasi penanganan LDPE dengan variasi ukuran serat tertentu
2. Untuk bahan substitusi kombinasi LDPE bisa dicari dengan bahan pozzolan yang lain misalnya *fly ash* dan bahan lain.
3. Perlu untuk dipertimbangkan ukuran cacahan sebagai variabel penentu kuat tekan *paving block*

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2019). Utilization of rice husk ash in concrete as partial replacement of cement. *International Journal of Engineering and Advanced Technology Studies*, 12(1), 1-11.
- Arief, F. (2021). Kajian pengelolaan sampah Kampus Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. *Jurnal Biologi*, 11(2), 1-12. <https://doi.org/10.14710/mdl.11.2.2011.%25p>
- Ariyadi. (2019). Uji pembuatan paving block menggunakan campuran limbah plastik jenis PET (Poly Ethylene Terephthalate) pada skala laboratorium [Skripsi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung]. <https://repository.radenintan.ac.id/8715/1/skripsi%20aroyadi.pdf>
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-0691-1996 Bata Beton (Paving Block). <http://sispk.bsn.go.id/sni/daftarlist>
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/daftarlist>
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). Pemeriksaan kadar air agregat halus dan agregat kasar (SNI 1971:2011). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/daftarlist>
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). Metode Uji Densitas Semen Hidraulis (ASTM C 188-95 (2003), MOD) (SNI 2531:2015). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/daftarlist>
- Kusuma, M. I., Tarkono, & Badaruddin, M. (2013). Pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap kekuatan tekan dan porositas genteng tanah liat Kabupaten Pringsewu. *Jurnal FEMA*, 1(1), 24-30.
- Pirdaus & Raka, A. (2019). Pengaruh penambahan limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada paving block. *Jurnal TEKNO (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)*, 16(1), 144-153.
- Putri, D., & Safitroh, R. (2022). Analisis kekuatan paving block menggunakan abu sekam padi dan limbah plastik. *Jurnal Sipilkrisna*, 8(2), 1-7.
- Rachman, A. (2021). Pembuatan paving block dari campuran semen, agregat, dan limbah plastik. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 127-133.
- Saloma, H. & Setiawan, N. (2018). The effect of w/c and rice husk ash (RHA) on mechanical properties of self-compacting concrete (SCC). *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 957-967.
- Siswanto, A., Wibowo, A., & Suwarno, S. (2020). Pengaruh penambahan limbah plastik ldpe terhadap kuat tekan paving block. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(1), 1-7.
- Surono, U. (2013). Berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Janabadra*, 3(1), 16-25.
- Syefringga, F. (2021). Pengaruh penambahan limbah plastik sebagai campuran beton terhadap kuat tekan dan daya serap air pada paving block [Skripsi, Universitas Islam Riau]. <https://repository.uir.ac.id/12983/1/143110494.pdf>
- Ukroi, N. U., Djarwanti, N., & Surjandari, N. S. (2013). Pengaruh Abu Ampas Tebu pada Perubahan Persentase Pengembangan Tanah Lempung Tanon. *Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 350-355.
- Ulya, F. N., & Rastika, I. (2024, August 7). Jumlah Terbaru Penduduk RI: Total 282.477.584 Jiwa, Terbanyak Laki-laki. Retrieved from Kompas.com: <https://nasional.kompas.com/read/2024/08/07/15182681/jumlah-terbaru-penduduk-ri-total-282477584-jiwa-terbanyak-laki-laki>
- Yuniari, A. (2014). Karakteristik sifat mekanik, ketahanan api dan pembakaran, dan morfologi nanokomposit campuran PVC dan LDPE. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 30(1), 7-14.