

Pemanfaatan Limbah Abu Ampas Tebu pada Campuran *Paving Porous*

Erwansyah^a, Nurani Hartatik^b, Dika Ayu Safitri^c

^aTeknik Sipil, Fakultas Teknik, Untag Surabaya, 1432200131@Surel.untag-sby.ac.id

^bTeknik Sipil, Fakultas Teknik, Untag Surabaya, nuranihartatik@untag-sby.ac.id

^cTeknik Sipil, Fakultas Teknik, Untag Surabaya, dika-ayu@untag-sby.ac.id

Submitted: 02-05-2026, Reviewed: 06-05-2026, Accepted 21-05-2026

Abstract

Rapid infrastructure development has reduced water infiltration areas due to the extensive use of impermeable pavement materials, increasing the risk of urban flooding and surface runoff. In addition, sugarcane bagasse ash waste from the sugar industry has not been optimally utilized and may cause environmental problems. This study aims to analyze the effect of sugarcane bagasse ash as a substitute material in porous paving mixtures on its mechanical and hydraulic properties. The research employed an experimental method using bagasse ash variations of 0%, 4%, 8%, and 12% by weight of cement. The tests conducted included compressive strength at 7, 14, and 28 days, as well as water absorption and permeability tests. The results showed that the addition of 4% bagasse ash increased compressive strength by 9.57% at 7 days, 8.24% at 14 days, and 11.35% at 28 days compared to the control mixture. Meanwhile, the 8% and 12% variations decreased compressive strength. Water absorption and permeability values increased with higher bagasse ash content, with the highest values of 9.6% and 0.89 cm/s obtained at the 12% variation. All mixtures satisfied the ACI 522R-10 permeability standard. Based on the results, the optimum bagasse ash content was 4%. This study demonstrates the potential of sugarcane bagasse ash as an environmentally friendly supplementary material in porous paving applications

Keywords: Bagasse ash, compressive strength, Paving porous, permeability, water absorption

Abstrak

Perkembangan infrastruktur yang pesat menyebabkan berkurangnya daerah resapan air akibat penggunaan material perkerasan kedap air, sehingga meningkatkan risiko genangan dan banjir perkotaan. Di sisi lain, limbah abu ampas tebu dari industri gula belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi pada campuran *paving porous* terhadap karakteristik mekanik dan hidroliknya. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan variasi kadar abu ampas tebu sebesar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan meliputi kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari, serta pengujian daya serap air dan permeabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu ampas tebu sebesar 4% menghasilkan peningkatan kuat tekan sebesar 9,57% pada umur 7 hari, 8,24% pada umur 14 hari, dan 11,35% pada umur 28 hari dibandingkan campuran normal. Sementara itu, variasi 8% dan 12% mengalami penurunan kuat tekan. Nilai daya serap dan permeabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar abu ampas tebu, dengan nilai tertinggi masing-masing sebesar 9,6% dan 0,89 cm/detik pada variasi 12%. Seluruh variasi masih memenuhi standar permeabilitas ACI 522R-10. Berdasarkan hasil penelitian, kadar optimum abu ampas tebu diperoleh pada variasi 4%. Penelitian ini menunjukkan potensi abu ampas tebu sebagai material tambahan ramah lingkungan dalam aplikasi *paving porous*.

Kata Kunci: abu ampas tebu, daya serap, kuat tekan, *paving porous*, permeabilitas



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur yang pesat serta tingkat urbanisasi tinggi di berbagai wilayah dunia, termasuk Indonesia, telah memicu transformasi signifikan pada lanskap perkotaan. Proses ini secara signifikan mengubah fungsi lahan hijau dan area resapan air menjadi permukaan kedap air seperti beton dan aspal. Akibatnya, proses infiltrasi air hujan ke dalam tanah terhambat. Fenomena ini secara substansial mengganggu siklus hidrologi alami, di mana air hujan yang idealnya meresap untuk meregenerasi cadangan air tanah justru mengalir langsung menuju sistem drainase [1]. Hal tersebut mengakibatkan kota-kota metropolitan dihadapkan pada dua tantangan pokok, yaitu peningkatan risiko banjir lokal karena runoff permukaan yang berlebihan yang membebani kapasitas infrastruktur drainase, serta penurunan elevasi air tanah akibat terganggunya mekanisme reaktivasi akuifer. Kondisi ini tidak hanya menghasilkan kerugian ekonomi dan sosial yang substansial, tetapi juga memperburuk kondisi lingkungan serta mengancam keberlanjutan sumber daya air untuk generasi mendatang [2].

Dalam ranah teknik sipil, terutama dalam pembangunan lapisan perkerasan jalan, sejumlah studi akademik secara konsisten difokuskan pada inovasi material yang tak hanya menampilkan kinerja mekanis yang baik, melainkan juga selaras dengan prinsip keberlanjutan lingkungan serta menonjolkan sifat ramah lingkungan [3]. *Paving porous* sebagai elemen penting dalam sistem perkerasan jalan saat ini tidak hanya dinilai berdasarkan kemampuan mekanisnya, tetapi juga berdasarkan kontribusinya terhadap pengelolaan lingkungan. Inovasi

material pada *paving porous* menjadi salah satu strategi yang berperan penting dalam menghadapi permasalahan urbanisasi serta dampak perubahan iklim, khususnya yang berkaitan dengan pengelolaan sumber daya air di kawasan perkotaan [4].

Paving porous hadir sebagai inovasi material konstruksi yang memungkinkan air hujan melewati lapisan perkerasan sehingga mampu mengurangi limpasan permukaan. Teknologi ini semakin berkembang dalam rekayasa jalan modern karena mendukung sistem drainase berkelanjutan. Penggunaan *paving porous* terbukti efektif dalam mengurangi genangan air, menurunkan beban sistem drainase perkotaan, serta meningkatkan kualitas lingkungan. Kombinasi antara kuat tekan yang memadai dan permeabilitas tinggi menjadikan *paving porous* sesuai diterapkan pada area publik seperti parkir, trotoar, dan jalan lingkungan [5]. Tren perkembangan tersebut menunjukkan pentingnya penelitian lebih lanjut terkait pengembangan material *paving porous* yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu kendala fundamental dalam produksi *paving porous* adalah ketergantungan yang intensif terhadap semen. Sektor industri semen mendapat sorotan istimewa karena berkontribusi sekitar 7–8% terhadap keseluruhan emisi karbon dioksida global, menjadikannya sebagai salah satu penyumbang utama dengan jejak karbon yang substansial [6]. Ketergantungan tersebut tidak hanya menimbulkan implikasi negatif terhadap lingkungan, tetapi juga memicu eskalasi biaya produksi secara berkesinambungan. Oleh karena itu, diperlukan solusi berupa substitusi parsial semen dengan material alternatif yang mampu mereplikasi karakteristik serupa. Penelitian terkait *supplementary cementitious materials* (SCMs), termasuk fly ash, silica fume, serta abu hasil agroindustri, kian intensif sebagai jawaban atas kebutuhan global untuk menekan penggunaan semen [7].

Di bidang industri, terutama agroindustri, penanganan limbah merupakan isu mendesak yang perlu diselesaikan guna menghindari kerusakan lingkungan. Salah satu jenis limbah agroindustri yang berlimpah di Indonesia adalah ampas tebu, yakni produk samping dari pembuatan gula. Ampas tebu menawarkan peluang signifikan sebagai bahan yang bisa dieksploitasi secara lestari. Melalui proses pembakaran yang terkendali, ampas tebu dapat menghasilkan residu berupa abu yang dikenal sebagai Sugarcane Bagasse Ash (SCBA). Menurut Pranowo et al., dalam penelitiannya, abu ampas tebu terdiri atas partikel-partikel halus dengan kandungan SiO_2 yang cukup tinggi, yaitu mencapai 71%, sehingga menunjukkan potensi pozzolanik yang sangat baik [8].

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan potensi pemanfaatan abu ampas tebu sebagai material tambahan pada konstruksi. Penggunaan abu ampas tebu yang dikombinasikan dengan bottom ash diketahui dapat menurunkan kuat tekan, namun mampu meningkatkan daya serap air serta ketahanan aus *paving block* [9]. Penelitian lain menunjukkan bahwa optimalisasi campuran Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) pada *paving block* berpotensi meningkatkan performa material melalui pemanfaatannya sebagai substitusi sebagian semen [10]. Selain itu, substitusi semen menggunakan SCBA juga dilaporkan mampu meningkatkan kuat tekan mortar dibandingkan mortar normal [8].

Meskipun Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa SCBA dapat digunakan sebagai substitusi. Namun, fokus penelitian selama ini banyak pada beton padat konvensional atau *Paving block* biasa. *Paving porous* memiliki karakteristik campuran yang sangat berbeda karena dirancang memiliki rongga udara yang tinggi dan permeabilitas yang baik. Sifat utama dari *Paving porous*, seperti kapasitas kekuatan tekan, kemampuan menyerap air, serta koefisien permeabilitasnya, sangat dipengaruhi oleh penambahan bahan pozzolanik, contohnya SCBA [11]. Namun, sampai saat ini, aspek tersebut masih terbatas dalam kajian dan eksplorasi. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sifat *paving porous* yang dibuat dengan limbah abu ampas tebu sebagai pengganti semen. Diharapkan penelitian ini dapat menawarkan bahan konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan lebih berkelanjutan.

Masalah lingkungan yang ditimbulkan oleh penumpukan limbah ampas tebu di Indonesia semakin menjadi prioritas yang harus segera ditangani. Proses pembakaran limbah tanpa pengendalian yang baik dapat menyebabkan pencemaran udara, sementara penimbunan limbah berpotensi mencemari tanah dan sumber air. Produksi ampas tebu di Indonesia meningkat sebesar 54,32 ribu ton atau 2,31 persen pada tahun 2022, mencapai total 2,40 juta ton, menurut data dari Badan Pusat Statistik. Namun, produksi gula pada tahun 2023 turun sebesar 168,41 ribu ton atau 7,01 persen dibandingkan tahun sebelumnya. Provinsi Jawa Timur menyumbang sekitar 1,09 juta ton, atau 48,84 persen dari total produksi gula di Indonesia, pada tahun 2022 [12]. Dengan menjadikannya abu pozzolanik untuk material konstruksi, tercipta solusi yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga bernilai ekonomis. Pemanfaatan limbah industri dalam bidang konstruksi merupakan salah satu strategi yang efektif untuk mendukung konsep ekonomi sirkular sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari sektor konstruksi [13].

Penggunaan Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) pada campuran *paving porous* memiliki potensi yang besar dari aspek ekonomi dan teknis. Dari sisi ekonomi, SCBA dapat menekan biaya produksi karena sebagian semen digantikan oleh limbah industri yang relatif murah dan mudah diperoleh. Pemanfaatan material limbah juga mampu mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui [14]. Selain itu,

penggunaan SCBA berpotensi menghasilkan *paving porous* yang lebih ekonomis tanpa menurunkan kualitas material secara signifikan. Dari aspek teknis, *paving porous* harus memiliki keseimbangan antara kekuatan mekanis dan kemampuan permeabilitas. Penggunaan material pozzolanik pada *paving porous* perlu mempertahankan kuat tekan sekaligus kemampuan resapan air agar tetap memenuhi standar teknis yang dipersyaratkan [15]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan proporsi optimum SCBA sehingga diperoleh *paving porous* yang ramah lingkungan, ekonomis, dan memiliki kinerja yang baik.

Penelitian ini memiliki relevansi yang meningkat jika dikaitkan dengan kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Pemanfaatan SCBA sejalan dengan tujuan Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya pada aspek inovasi industri (poin 9), pembangunan kota yang berkelanjutan (poin 11), serta pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan (poin 12). Dengan mengintegrasikan limbah agroindustri ke dalam sektor konstruksi, Penelitian ini tidak hanya memberikan solusi terhadap berbagai permasalahan teknis dan lingkungan, tetapi juga berkontribusi dalam mendukung implementasi agenda pembangunan berkelanjutan, baik pada tingkat nasional maupun internasional. Penggunaan material berbasis limbah dapat memperkuat kemampuan negara-negara berkembang dalam menginisiasi inovasi di bidang konstruksi ramah lingkungan [16].

Pemanfaatan limbah abu ampas tebu sebagai bahan campuran dalam *Paving porous* memiliki tingkat urgensi tinggi dalam mendukung pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan, berdasarkan temuan dan analisis penelitian terbaru. penelitian ini diharapkan mampu menyediakan solusi menyeluruh untuk meminimalkan dampak negatif limbah industri terhadap lingkungan sekaligus mendorong pembangunan infrastruktur yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini berpotensi menyajikan pendekatan holistik dalam mengurangi efek lingkungan dari limbah industri dan berkontribusi pada perkembangan konstruksi berkelanjutan. Dari segi manfaat praktis, penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi biaya produksi, sementara dari sisi akademik memberikan kontribusi penting dalam pengembangan ilmu material. Dengan demikian, penelitian ini sangat relevan untuk menjawab tantangan dalam pengembangan infrastruktur hijau baik di tingkat nasional maupun global.

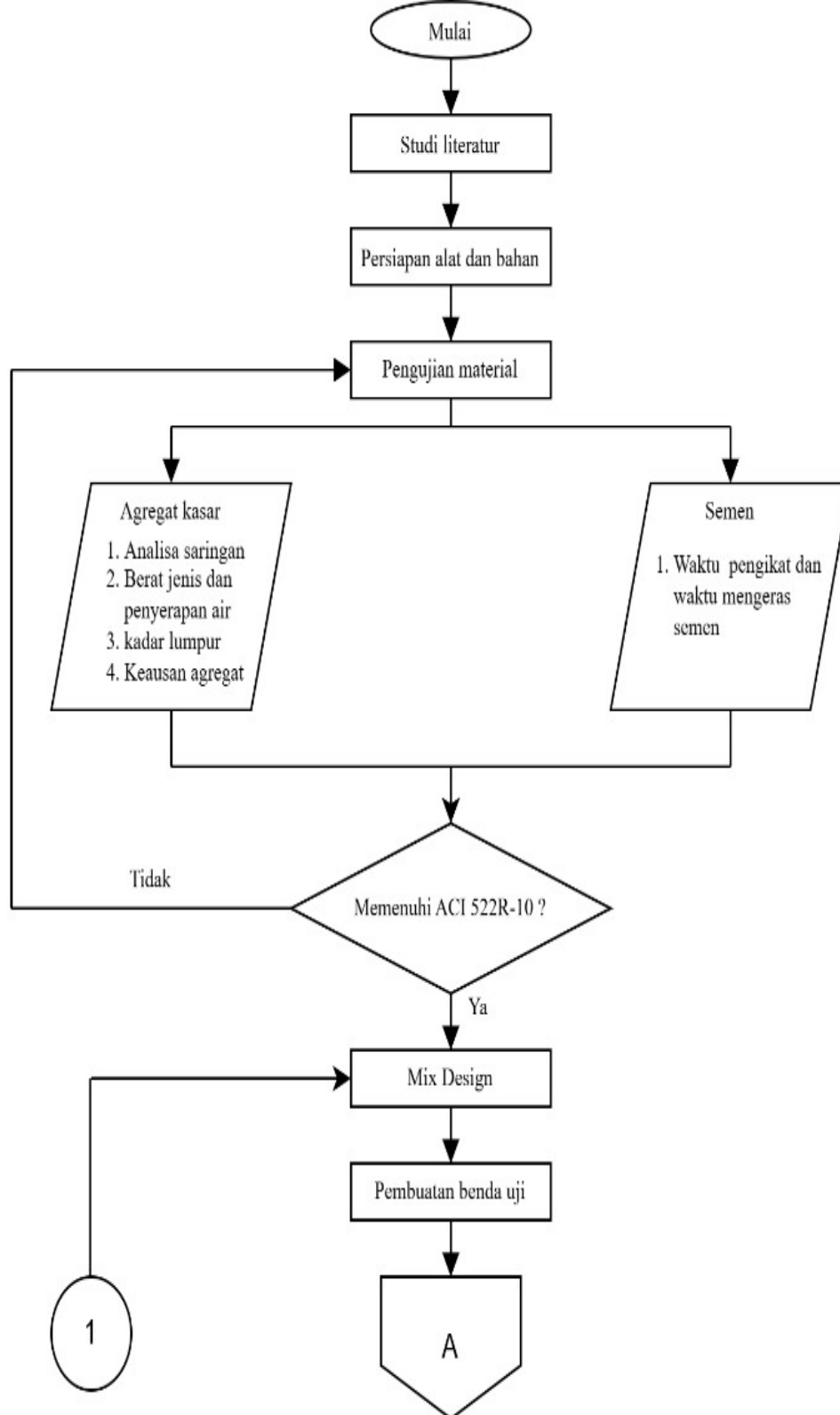
METODE PENELITIAN

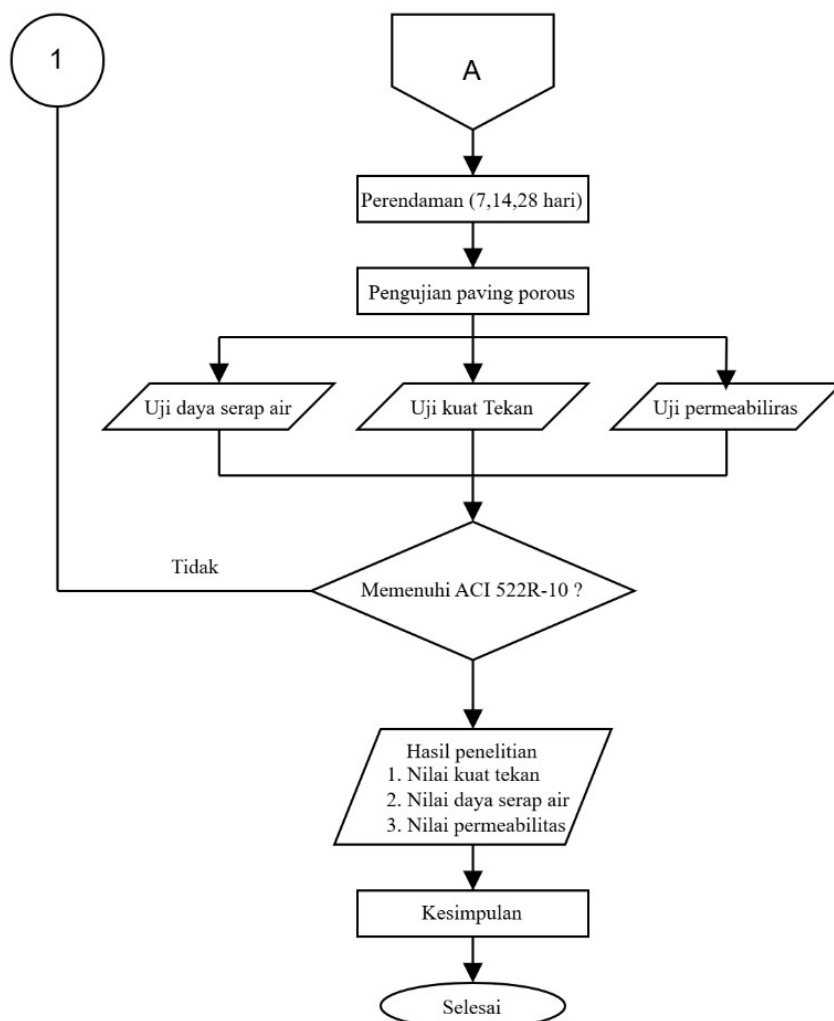
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu ampas tebu terhadap karakteristik mekanik dan hidrolik *paving porous*. Rancangan penelitian dilakukan melalui pembuatan benda uji dengan variasi kadar abu ampas tebu sebagai bahan substitusi sebagian semen, yaitu sebesar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat semen.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland, agregat kasar berukuran 5-10mm, air, serta abu ampas tebu yang telah melalui proses pembakaran dan penyaringan untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Perancangan campuran mengacu pada metode volume absolut berdasarkan pedoman ACI 522R-10 untuk beton porous, dengan mempertimbangkan parameter seperti rasio air-semen, volume pasta, dan rasio rongga [17]. Benda uji dibuat dengan dimensi $21 \times 10,5 \times 8$ cm sebanyak 14 sampel untuk setiap variasi, sehingga total menjadi 56 sampel. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian kuat tekan *paving porous* pada umur 7, 14, dan 28 hari, pengujian daya serap air dan permeabilitas pada umur 28 hari. Standart pengujian pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-0691-1996 dan ACI 522-R10

Gambar 1. Diagram Alir





(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Diagram alir ini memberikan penjelasan mendetail mengenai tahapan dan metode yang digunakan dalam penelitian untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Setiap tahapan dirancang untuk mengetahui nilai kuat tekan, daya serap air dan permeabilitas *paving porous* dengan campuran abu ampas tebu.

Perencanaan campuran (*mix design*) *paving porous* pada penelitian ini mengacu pada pedoman American Concrete Institute ACI 522R-10 Bab 6, yang menetapkan prosedur perancangan untuk menghasilkan beton berpori dengan tingkat porositas tinggi namun tetap memiliki kekuatan mekanis yang memadai. Campuran *paving porous* dirancang dengan target porositas sebesar 18% dan faktor air-semen (FAS) sebesar 0,33. Perhitungan campuran dilakukan berdasarkan metode volume absolut dengan mempertimbangkan karakteristik material penyusun, khususnya sifat agregat yang digunakan. Adapun hasil perencanaan campuran (*mix design*) pada penelitian ini disajikan sebagai berikut:

Tabel 1 Mix Design

Variasi Campuran	Semen (kg)	SCBA (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (Liter)
Normal	0.409	0	2.730	0.135
SCBA 4%	0.392	0.017	2.730	0.135
SCBA 8%	0.373	0.036	2.730	0.135
SCBA 12%	0.353	0.056	2.730	0.135

(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

1. Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan merupakan metode pengujian standar yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu material dalam menahan gaya tekan hingga mencapai titik kerusakan. Pengujian ini dilakukan setelah *Paving porous* melalui proses curing. Tahapan pengujian meliputi pengambilan sampel *Paving porous* dari setiap variasi campuran yang telah disiapkan, kemudian memberikan pembebanan menggunakan compression strength machine hingga sampel mengalami kerusakan. Selanjutnya, data hasil pengujian diolah melalui perhitungan dengan rumus sebagai berikut [18].

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{F}{A}$$

Keterangan :

F = beban tekan (N)

A = luas bidang tekan (m²)

2. Pengujian Daya Serap

Pengujian daya serap air pada *Paving porous* dilakukan setelah masa perawatan selama 28 hari. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan jumlah air yang dapat diserap oleh *Paving porous*, yang dilakukan melalui proses perendaman dalam air bersih selama 24 jam, kemudian dilakukan penimbangan untuk memperoleh berat dalam kondisi jenuh. Setelah itu, sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat keringnya. Rumus untuk menghitung daya serap air adalah sebagai berikut [18]

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

Keterangan :

A = berat paving basah (gr)

B = berat paving kering (gr)

3. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan kemampuan *Paving porous* untuk menyerap atau meloloskan air melalui rongga-rongga yang terdapat di dalam strukturnya. Pengujian ini dilakukan untuk menilai salah satu fungsi utama *Paving porous*, yaitu kemampuannya dalam mengurangi atau mencegah terjadinya genangan pada permukaan perkerasan jalan.

Dalam penelitian ini nilai permeabilitas didapatkan melalui pengujian dengan metode falling head. Secara prinsip, metode falling head didasarkan pada pengamatan perubahan tinggi muka air (head) terhadap waktu saat air mengalir melalui specimen. . Nilai permeabilitas didapatkan dengan rumus ebagai berikut [17].

$$k = \frac{aL}{At} \text{Log} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Keterangan :

k = koefisien permeabilitas (cm/detik)

a = luas penampang alat uji (cm²)

L = ketebalan benda uji (cm)

A = luas penampang benda uji (cm²)

h₁ = ketinggian awal air (cm)

h₂ = ketinggian akhir air (cm)

t = waktu aliran (detik)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh dari serangkaian pengujian eksperimental selanjutnya dianalisis secara komprehensif untuk mengidentifikasi hubungan antara variasi kadar abu ampas tebu dengan perubahan sifat *paving porous*. Pembahasan difokuskan pada evaluasi kinerja material berdasarkan parameter kuat tekan, daya serap, dan permeabilitas.

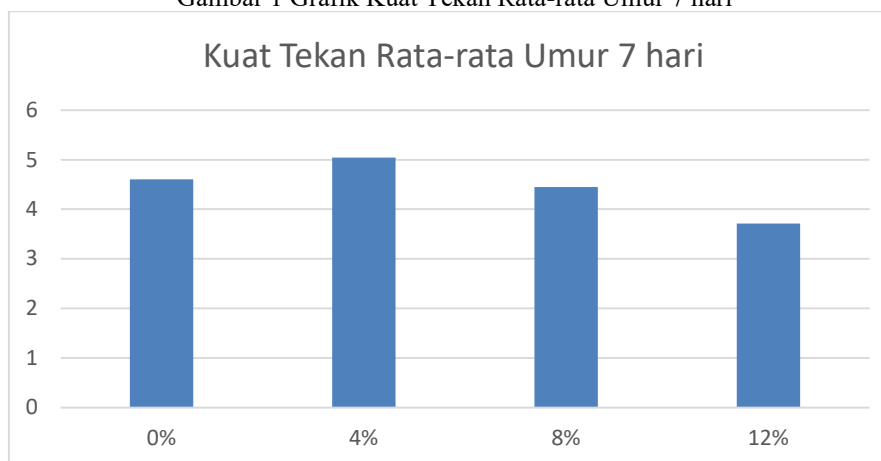
1. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari

No.	Presentase	Umur	Beban Maksimal (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat tekan Rata-Rata
1	0%	7	10	4.45	4.60
2	0%	7	11	4.89	
3	0%	7	10	4.45	
4	4%	7	12	5.54	5.04
5	4%	7	12	6.65	
6	4%	7	10	5.54	
7	8%	7	11	4.89	4.45
8	8%	7	9	4.00	
9	8%	7	10	4.45	
10	12%	7	8	3.56	3.71
11	12%	7	8	3.56	
12	12%	7	9	4.00	

(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Gambar 1 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Umur 7 hari



(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan data pada Tabel 1, dapat diinterpretasikan bahwa pada umur 7 hari, penambahan abu ampas tebu sebesar 4% memberikan peningkatan nilai kuat tekan sebesar 9,57% dibandingkan dengan campuran tanpa bahan tambah. Hal ini menunjukkan adanya kontribusi positif abu ampas tebu dalam meningkatkan kinerja mekanik pada kadar tertentu. Namun demikian, pada variasi penambahan yang lebih tinggi, yaitu 8% dan 12%, terjadi penurunan nilai kuat tekan masing-masing sebesar 3,26% dan 19,35%.

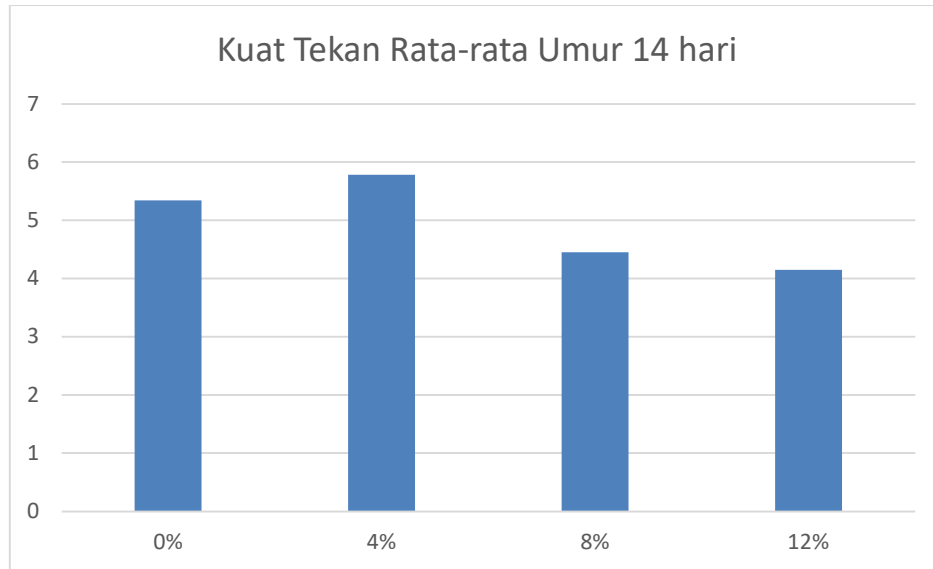
Tabel 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 14 Hari

No.	Presentase	Umur	Beban Maksimal (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat tekan Rata-Rata
1	0%	14	13	5.78	5.34
2	0%	14	12	5.34	
3	0%	14	11	4.89	
4	4%	14	14	5.54	5.78
5	4%	14	13	6.65	

6	4%	14	12	5.54	
7	8%	14	10	4.45	4.45
8	8%	14	9	4.00	
9	8%	14	11	4.89	
10	12%	14	9	4.00	
11	12%	14	9	4.00	4.15
12	12%	14	10	4.45	

(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Gambar 2 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Umur 14 hari



(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

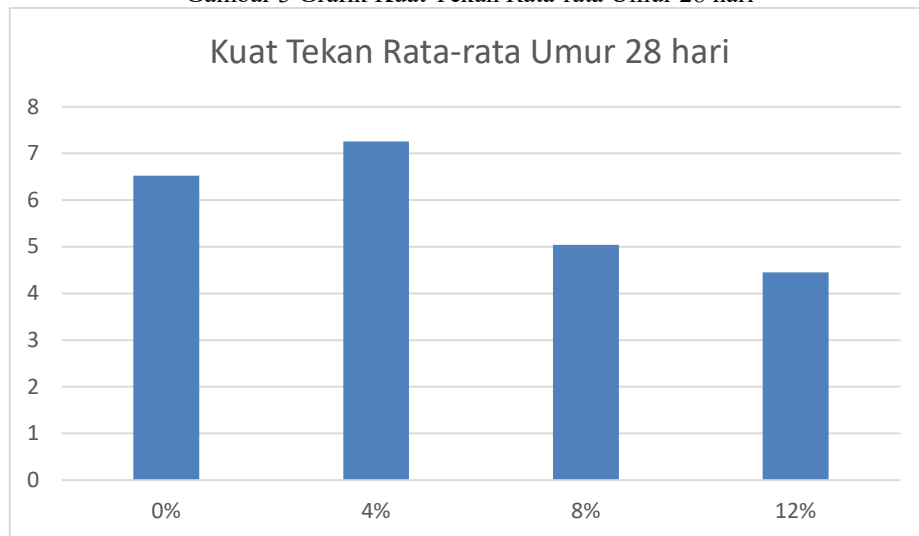
Berdasarkan data pada Tabel 3, dapat diinterpretasikan bahwa pada umur 14 hari, penambahan abu ampas tebu sebesar 4% memberikan peningkatan nilai kuat tekan sebesar 8,24% dibandingkan dengan campuran tanpa bahan tambah. Hal ini menunjukkan adanya kontribusi positif abu ampas tebu dalam meningkatkan kinerja mekanik pada kadar tertentu. Namun demikian, pada variasi penambahan yang lebih tinggi, yaitu 8% dan 12%, terjadi penurunan nilai kuat tekan masing-masing sebesar 16,67% dan 22,28%.

Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

No.	Presentase	Umur	Beban Maksimal (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat tekan Rata-Rata
1	0%	14	15	6.23	6.52
2	0%	14	15	6.67	
3	0%	14	14	6.67	
4	4%	14	17	6.23	7.26
5	4%	14	16	6.67	
6	4%	14	16	6.23	
7	8%	14	11	4.89	5.04
8	8%	14	11	4.89	
9	8%	14	12	5.34	
10	12%	14	9	4.00	4.45
11	12%	14	9	4.00	
12	12%	14	12	5.34	

(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Gambar 3 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Umur 28 hari



(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan data pada Tabel 4, dapat diinterpretasikan bahwa pada umur 28 hari, penambahan abu ampas tebu sebesar 4% memberikan peningkatan nilai kuat tekan sebesar 11,35% dibandingkan dengan campuran tanpa bahan tambah. Hal ini menunjukkan adanya kontribusi positif abu ampas tebu dalam meningkatkan kinerja mekanik pada kadar tertentu. Namun demikian, pada variasi penambahan yang lebih tinggi, yaitu 8% dan 12%, terjadi penurunan nilai kuat tekan masing-masing sebesar 19,26% dan 28,80%. Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan kadar abu ampas tebu yang berlebihan dapat berdampak negatif terhadap kekuatan struktur *paving porous*.

2. Hasil Pengujian Daya Serap

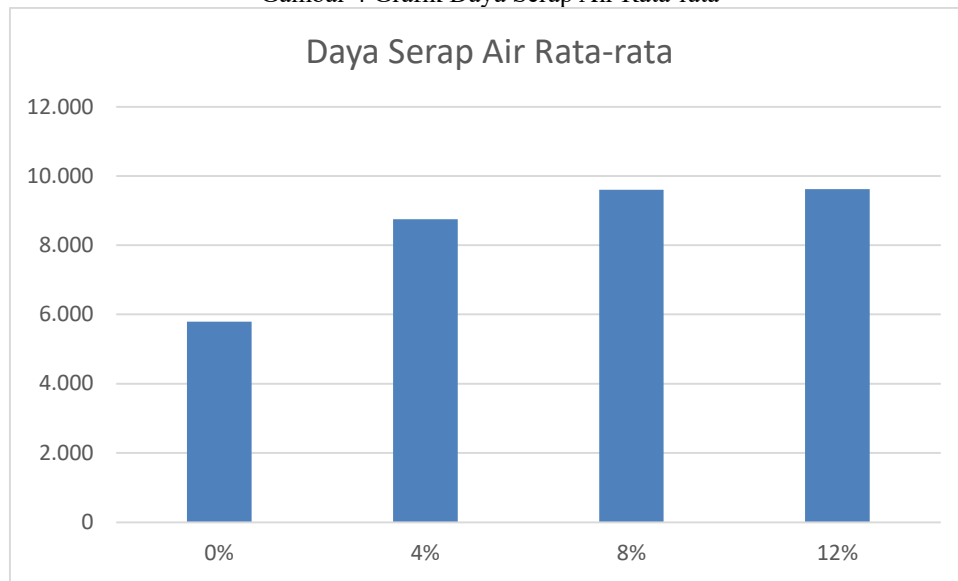
Pengujian daya serap pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *paving porous* dalam menyimpan air dalam porinya. Berikut hasil pengujian daya serap

Tabel 5 Hasil Pengujian Daya Serap Air

No	Kode Sampel	Berat Kering (gram)	Berat Basah (gram)	Selisih Berat (gram)	Resapan Air (%)	rata-rata
1	V0.1	2834	3011	177	6.245589	5.78763919
2	V0.2	2927	3083	156	5.329689	
3	V4.1	2883	3149	266	9.2265	8.75249498
4	V4.2	2887	3126	239	8.27849	
5	V8.1	2781	3041	260	9.349155	9.59839763
6	V8.2	2691	2956	265	9.84764	
7	V12.1	2804	3074	270	9.629101	9.61604369
8	V12.2	2947	3230	283	9.602986	

(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Gambar 4 Grafik Daya Serap Air Rata-rata



(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4, dapat diinterpretasikan bahwa penambahan abu ampas tebu memberikan kecenderungan peningkatan terhadap nilai daya serap *paving porous*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar abu ampas tebu yang digunakan, maka kemampuan material dalam menyerap air juga semakin meningkat. Nilai daya serap maksimum diperoleh pada variasi penambahan 12%, yaitu sebesar 9,6%, yang mengindikasikan terbentuknya struktur pori yang lebih berkembang pada campuran tersebut. Secara material, abu ampas tebu (SCBA) memiliki tekstur partikel yang halus dan berpori. Kandungan silika yang tinggi pada abu ampas tebu memang memberikan sifat pozzolanik, namun pada kadar yang berlebihan material ini dapat meningkatkan volume rongga udara dalam campuran. Akibatnya, ikatan antar partikel agregat dan pasta semen menjadi kurang padat sehingga terbentuk lebih banyak pori terbuka yang mampu menyerap air lebih besar

3. Hasil Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas *paving porous* dengan metode falling head yang mengacu pada pedoman ACI 522R merupakan prosedur eksperimental yang digunakan untuk menentukan kemampuan material dalam meloloskan aliran air melalui struktur porinya pada kondisi aliran tak jenuh penuh secara bertahap. Berikut hasil pengujian permeabilitas

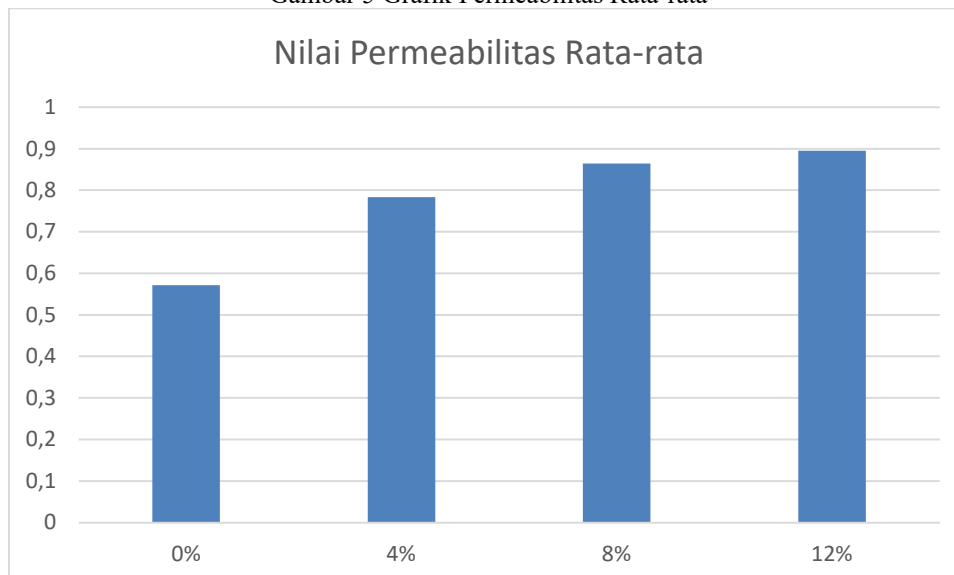
Tabel 5. Hasil uji Permeabilitas

Kode Sampel	Luas penampang alat (m ²)	Tinggi Sample (m)	Luas Penampang sample (m ²)	Waktu (s)	Tinggi Awal Air (h1) (m)	Tinggi Akhir Air (h2) (h2)	log (h1/h2)	Koefisien Permeabilitas (m/s)	Konversi cm/s	rata-rata
V0.1	0.02365	0.08	0.02205	9.71	0.08	0.02	0.6021	0.005320263	0.53202627	0.571
V0.2	0.02365	0.08	0.02205	8.90	0.08	0.02	0.6021	0.005804466	0.58044664	
V0.3	0.02365	0.08	0.02205	8.60	0.08	0.02	0.6021	0.006006948	0.60069478	
V4.1	0.02365	0.08	0.02205	6.62	0.08	0.02	0.6021	0.007803588	0.78035877	0.783
V4.2	0.02365	0.08	0.02205	6.53	0.08	0.02	0.6021	0.007911141	0.7911141	
V4.3	0.02365	0.08	0.02205	6.64	0.08	0.02	0.6021	0.007780083	0.77800829	
V8.1	0.02365	0.08	0.02205	6.16	0.08	0.02	0.6021	0.008386323	0.83863232	0.863
V8.2	0.02365	0.08	0.02205	5.85	0.08	0.02	0.6021	0.008830727	0.88307266	
V8.3	0.02365	0.08	0.02205	5.95	0.08	0.02	0.6021	0.008682311	0.8682311	
V12.1	0.02365	0.08	0.02205	6.07	0.08	0.02	0.6021	0.008510667	0.85106673	0.895

V12.2	0.02365	0.08	0.02205	5.54	0.08	0.02	0.6021	0.009324865	0.93248648
V12.3	0.02365	0.08	0.02205	5.74	0.08	0.02	0.6021	0.008999957	0.899996

(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Gambar 5 Grafik Permeabilitas Rata-rata



(Sumber : Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5, seluruh variasi *paving porous* menunjukkan nilai permeabilitas yang masih berada dalam rentang standar yang ditetapkan oleh ACI 522R-10, yaitu antara 0,1 cm/detik hingga 1,22 cm/detik. Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh campuran masih memenuhi kriteria sebagai material berpori yang mampu meloloskan air dengan baik. Selain itu, nilai permeabilitas tertinggi diperoleh pada variasi penambahan abu ampas tebu sebesar 12%, yaitu sebesar 0,89 cm/detik, yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar bahan tambah berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan aliran air melalui struktur pori *paving porous*. Hasil penelitian menunjukkan adanya trade-off antara sifat mekanik dan hidrolik, di mana peningkatan permeabilitas akibat penambahan abu ampas tebu cenderung diikuti oleh penurunan kuat tekan pada kadar tinggi

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu ampas tebu (SCBA) memberikan pengaruh terhadap karakteristik mekanis dan fisik *paving porous*. Variasi campuran 4% menghasilkan kuat tekan optimum dibandingkan variasi lainnya, sedangkan peningkatan kadar SCBA hingga 12% menyebabkan penurunan kuat tekan namun meningkatkan nilai permeabilitas dan daya serap air. Kondisi tersebut terjadi karena kandungan silika pada abu ampas tebu berperan sebagai material pozzolanik yang mampu meningkatkan ikatan pasta semen pada kadar tertentu, tetapi penggunaan berlebih menyebabkan meningkatnya jumlah rongga dalam campuran. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Pranowo et al., yang menyatakan bahwa SCBA mampu meningkatkan kuat tekan mortar pada kadar optimum, serta penelitian B. Ulum dan M. Imaduddin yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar SCBA dapat meningkatkan daya serap air dan menurunkan kuat tekan *paving block*. Selain itu, nilai permeabilitas yang diperoleh masih memenuhi kriteria *paving porous* berdasarkan pedoman American Concrete Institute ACI 522R-10 yaitu 0,1-1,22 cm/detik, sehingga *paving porous* dengan campuran abu ampas tebu berpotensi digunakan sebagai material perkerasan ramah lingkungan pada area lalu lintas ringan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi dalam campuran *paving porous* memberikan pengaruh yang nyata terhadap karakteristik mekanik dan hidrolik material. Pada parameter kuat tekan, penambahan abu ampas tebu sebesar 4% menghasilkan peningkatan nilai kuat tekan yang konsisten pada umur 7, 14, dan 28 hari, masing-masing sebesar 9,57%, 8,24%, dan 11,35% dibandingkan dengan campuran tanpa bahan tambah. Sebaliknya, pada variasi 8% dan 12% terjadi penurunan kuat tekan, yang

menunjukkan bahwa penggunaan abu ampas tebu dalam jumlah berlebih dapat menurunkan kinerja mekanik *paving porous*. Penurunan kuat tekan pada kadar SBA tinggi diduga terjadi karena berkurangnya efektivitas ikatan pasta semen akibat peningkatan rongga internal dan berkurangnya dominasi material semen aktif dalam campuran

Untuk daya serap air, peningkatan kadar abu ampas tebu berbanding lurus dengan kemampuan material dalam menyerap air. Nilai daya serap tertinggi diperoleh pada variasi 12% yaitu sebesar 9,6 % , yang menunjukkan bahwa penambahan limbah tersebut meningkatkan porositas struktur *paving porous*. Hal ini juga sejalan dengan hasil pengujian permeabilitas, di mana seluruh variasi masih memenuhi standar ACI 522R-10, dengan nilai permeabilitas tertinggi juga terjadi pada variasi 12% dengan nilai sebesar 0,89 cm/detik

Penelitian ini menunjukkan bahwa abu ampas tebu memiliki potensi sebagai material substitusi ramah lingkungan pada *paving porous* dengan keseimbangan optimum antara kekuatan mekanik dan kemampuan infiltrasi air pada kadar 4%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adresi, M., Yamani, A., Tabarestani, M. K., & Rooholamini, H. (2023). A comprehensive review on pervious concrete. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133308>.
- Al Fauzi, D. W., Affandy, N. A., Agustapraja, H. R., & Lubis, Z. (2024). Pengaruh Penambahan Fly Ash (Cangkang Telur Dan Sekam Padi) Dengan Kuat Tekan Beton Non Struktural. *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.24929/ft.v12i1.2128>
- American Concrete Institute. (2010). Report on Pervious Concrete (ACI 522R-10). American Concrete Institute
- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2023). Statistik Tebu Indonesia 2022.
- Botella, R. (2022). Sustainable Pavement Materials and Technology. *Sustainability*, 14(11), 6605. <https://doi.org/10.3390/su14116605>
- Kurniawan, A., Saves, F., & Safitri, D. A. (2025). Analisis kapasitas tampung saluran drainase ekisting terhadap debit banjir rencana (Studi kasus: Desa Medaeng, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Sains dan Teknologi (JSIT)*, 5(3), 462-472. <https://doi.org/10.47233/jsit.v5i3.3747>
- Marathe, S., Prashanth L, D., & Sadowski, L. (2024). Engineering of alkali-activated permeable pavement composites with agro-industrial wastes. *International Journal of Pavement Engineering*, 25(1), 2431600. <https://doi.org/10.1080/10298436.2024.2431600>
- Moretti, L., Di Mascio, P., & Fusco, C. (2019). Porous Concrete for Pedestrian Pavements. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w11102105>.
- Muharja, M., Helgananta Adirya Sabian, & Mutiara Rengganis Nurul Putri Azhari. (2023). Optimalisasi Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Untuk Pembuatan *Paving block*. *Journal Of Biobased Chemicals*, 3(2), 118-123. <https://doi.org/10.19184/Jobc.V3i2.440>
- Nicoară, A., Stoica, A., Vrabec, M., Rogan, N., Șturm, S., Ow-Yang, C., Gulgun, M., Bundur, Z., Ciuca, I., & Vasile, B. (2020). End-of-Life Materials Used as Supplementary Cementitious Materials in the Concrete Industry. *Materials*, 13. <https://doi.org/10.3390/ma13081954>.
- Pranoto, Y., Sudibyo, A., & Rivelda, E. R. (2021). Experimental Study of Porous Paving Using Kalimantan Local Materials. In 2nd Borobudur International Symposium on Science and Technology (BIS-STE 2020) (pp. 144-147). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/aer.k.210810.023>
- Pranowo, D. D., Suryani, E., & Rahmadhani, C. P. (2022). Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu sebagai Pengganti Sebagian Semen Ditinjau Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 2(3), 477-484. <https://doi.org/10.54082/jupin.106>.
- Puja, T. A., Sidabutar, Y. F., & Room, A. I. (2025). Inpvasi Material Sebagai Solusi Konstruksi Hijau: Studi Kasus Pemanfaatan Limbah Industri Sebagai Bahan Bangunan. *Zona Sipil: Program Studi Teknik Sipil Universitas Batam*, 15(2).
- Rosadi, I., Rahmawati, W., Warji, W., & Suharyatun, S. (2023). Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis*) Sebagai Bahan Campuran dalam Pembuatan *Paving block* Porous. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(2), 231-240. <https://doi.org/10.23960/jabe.v2i2.7468>
- Saloni, Parveen, Lim, Y. Y., et al., (2021). Sustainable alkali activated concrete with fly ash and waste marble aggregates: Strength and Durability studies, *Construction and Building Materials*, 283(March). doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122795.
- Sarifah, F., Arashi, F. B., Iskandar, A. L., Ramadhan, M. A. R., Daniswara, M. P., & Rahmadhani, F. (2024). Analisis Dampak Bencana Banjir terhadap Kondisi Sosial dan Ekonomi pada Masyarakat. *BANDAR: Journal Of Civil Engineering*, 6(2), 56-64.
- Septiandini, E., Widiasanti, I., Pamungkas, C. A., Putri, A. S. S., Mulyono, T., & Abdul, N. Z. P. (2021). *Compressive strength of pervious concrete paving blocks for pavement with the addition of fly ash*. 1098(2), 022046. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/2/022046>.
- SNI 03-0691-1996, "Bata beton (*Paving block*) SNI 03-0691-1996."
- Ulum, B., & Imaduddin, M. (2021). Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen Pada Campuran *Paving block* Dengan Tambahan Bottom Ash 10% Sebagai Bahan Substitusi Pasir. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3(4), 1-11. <https://doi.org/10.30743/jtsip.v2i1.7669>