

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Paving Block*

Paving block adalah bahan konstruksi yang terdiri dari agregat, air, semen portland atau perekat terhidrolisis, dan aditif tambahan yang tidak menurunkan kualitas (SNI 03-0691-1996). Penggunaan perkerasan kaku dalam bangunan infrastruktur jalan semakin populer karena banyak manfaatnya, termasuk biaya perawatan yang murah, kekuatan dan daya tahan yang unggul, serta kemudahan pemasangan. Blok paving mudah dipasang dan dirawat, dan karena kapasitas penyerapannya yang tinggi, blok ini juga berkontribusi pada pelestarian pasokan air tanah. Selanjutnya, *paving block* dapat ditempatkan di berbagai tempat, termasuk taman, jalan masuk, tempat parkir, jalan setapak, halaman, dan jalan raya (Gehati, 2023).

Fungsi *paving block* tidak hanya untuk menciptakan permukaan yang rata dan tahan lama, tetapi juga untuk menambah nilai estetika, khususnya di ruang publik. Di antara keunggulannya, *paving block* memiliki daya tahan yang sangat baik terhadap beban berat dan kondisi cuaca ekstrem, serta relatif mudah dalam hal pemeliharaan bagian yang rusak bisa diganti tanpa perlu memperbaiki seluruh area. Terdapat beberapa jenis *paving block* yang umum digunakan, seperti interlocking, *paving block* beton, dan *paving block* berpori, masing-masing dengan karakteristik dan aplikasi yang unik (Maulia & Suryanita, 2019).

Proses pemasangannya memerlukan persiapan yang matang, termasuk penggalian tanah dan pembuatan pondasi yang solid. Lebih jauh lagi, penggunaan *paving block* yang ramah lingkungan dapat berkontribusi dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan mengelola air hujan dengan lebih baik (Dzakwan, 2024).

Paving block, salah satu jenis bahan bangunan, memiliki kelebihan dan kekurangan. *Paving block* menawarkan sejumlah manfaat, antara lain:

- a. Perawatannya cukup sederhana, dan dapat dipasang kembali setelah dibongkar.

Karena beton mudah dikerjakan dan dirawat, dapat dibuat menggunakan bahan

lokal, dapat dengan mudah dicetak untuk memenuhi kebutuhan tertentu, dan tahan terhadap korosi, api, dan perubahan cuaca, relatif lebih murah daripada kayu dan besi (Krisbiyantoro, 2005).

- b. Lebih unggul dari tanah liat dalam kualitas.
 - c. Lebih pasti dalam hal ukuran.
 - d. Mampu menahan beban dari kendaraan.
 - e. Aman untuk lalu lintas karena memiliki faktor anti selip (ketahanan selip) yang lebih tinggi.
 - f. Karena memiliki sifat absorpsi, dapat menjaga keseimbangan air tanah.
- Sementara itu, kelemahan yang melekat pada *paving block* meliputi:
- a. Jika pondasi yang lemah digunakan, permukaan *paving block* tidak rata.
 - b. Kurang cocok untuk kendaraan yang bergerak cepat.
 - c. Karena pemasangan yang tidak tepat, mudah untuk dipisahkan dari sambungan, membuat jalan tidak rata (Tsania, 2024).

2.1.1. Klasifikasi *Paving Block*

Paving block dibagi menjadi sejumlah kategori berdasarkan ketebalan, bentuk, fungsi, dan proses pembuatannya.

a. Klasifikasi Berdasarkan Kegunaan

Berdasarkan tujuan dan fungsinya, *paving block* diklasifikasikan ke dalam empat kategori SNI 03-0691-1996. Di antara empat kategori tersebut adalah:

- *Paving* kelas jalan raya dengan kualitas A.
- Tempat parkir dibangun dengan blok *paving* berkualitas B.
- *Paving* berkualitas C diterapkan sebagai lapisan ke trotoar.
- *Paving* berkualitas D yang diaplikasikan sebagai pelapis di ruang taman lainnya.

b. Klasifikasi Berdasarkan Metode Pembuatan

- Metode Konvensional

Menggunakan strategi ini untuk membuat *paving block* mungkin dianggap mudah. Yang diperlukan untuk proses pembuatan adalah alat cetak blok *paving*, setelah itu mortar cair (campuran basah) dituangkan ke dalam

cetakan. Metode ini memiliki beberapa kelebihan, di antaranya proses pembuatannya relatif sederhana dan tidak memerlukan peralatan yang rumit sehingga dapat dilakukan oleh masyarakat atau industri skala kecil. Selain itu, biaya produksi yang dibutuhkan juga relatif rendah karena hanya memerlukan cetakan dan peralatan sederhana.

Oleh karena itu, metode konvensional sering digunakan oleh industri rumahan. Namun demikian, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, seperti kualitas *paving block* yang dihasilkan cenderung kurang seragam karena proses pemadatannya masih dilakukan secara manual. Tingkat kepadatan yang kurang optimal juga dapat menyebabkan nilai kuat tekan *paving block* lebih rendah dibandingkan dengan metode mekanis. Selain itu, proses pengeringan pada campuran basah biasanya memerlukan waktu yang lebih lama sehingga produktivitas produksi menjadi lebih rendah (Tsania, 2024).

- Metode Mekanis

Banyak orang masih jarang menggunakan metode mekanis. Alasan utama mengapa beberapa orang memilih untuk tidak menggunakan strategi ini tidak diragukan lagi adalah kebutuhan akan alat yang mahal.

Oleh karena itu lebih banyak perusahaan yang menggunakan metode ini, metode ini memiliki kelebihan dalam menghasilkan *paving block* dengan kualitas yang lebih baik dan lebih seragam karena proses pemadatan dilakukan menggunakan tekanan mesin sehingga tingkat kepadatannya lebih tinggi. Kepadatan yang baik tersebut dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan daya tahan *paving block*.

Selain itu, metode mekanis juga mampu menghasilkan produk dalam jumlah yang lebih banyak dalam waktu yang relatif lebih singkat sehingga lebih cocok digunakan untuk produksi skala besar atau industri. Meskipun demikian, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, terutama dari segi biaya investasi yang cukup tinggi karena memerlukan mesin khusus dalam proses produksinya. Selain itu, pengoperasian mesin juga membutuhkan tenaga kerja yang memiliki keterampilan tertentu serta

perawatan mesin secara berkala agar alat tetap dapat berfungsi dengan baik (Tsania, 2024)

c. Klasifikasi Berdasarkan Bentuk

Berdasarkan bentuknya, *paving* dapat diklasifikasikan sebagai multi-sisi atau persegi panjang. Kebutuhan menentukan jenis *paving block* mana yang terbaik. Karena mekanisme pengunciannya yang stabil dan kemudahan perbaikan, blok *paving* persegi panjang lebih cocok untuk konstruksi jalan lalu lintas sedang hingga padat (Tsania, 2024).

d. Klasifikasi Berdasarkan Ketebalan

SNI 03-0691-1996 menyebutkan bahwa *paving block* dipisahkan menjadi tiga kategori sesuai dengan ketebalannya:

- Ketebalan 60 mm untuk lalu lintas tugas ringan.
- Untuk lalu lintas beban sedang hingga berat, ketebalannya 80 mm.
- Ketebalan 100 mm untuk lalu lintas beban yang sangat tinggi.

2.1.2. Persyaratan Mutu *Paving Block*

Mutu *paving block* harus sesuai standar SNI 03-0691-1996. Syarat tersebut diantaranya:

a. Sifat tampak

Paving block harus memiliki permukaan yang rata dan tidak cacat/retak-retak, bagian sudut dan lekukannya sulit hancur dengan sentuhan jari, dan tahan terhadap natrium sulfat.

b. Ukuran

Ketebalan *paving block* yaitu 60 mm, 80 mm dan 100 mm dengan toleransi tebal 8%

c. Sifat fisis

d. *Paving block* yang memenuhi standar harus memiliki sifat-sifat fisik yang tertera seperti di Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Mutu *Paving Block*

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Keausan (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks (%)	Keterangan
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min		
A	40	35	0,9	0,103	3	Jalan
B	20	17	0,13	0,149	6	Area parkir
C	15	12,5	0,16	0,184	8	Pejalan kaki
D	10	8,5	0,219	0,251	10	Taman, dll

Sumber: SNI 03-0691-1996

2.2. *Paving Block* Berpori

Seiring dengan kemajuan bahan bangunan, lebih banyak penelitian sedang dilakukan pada *paving berpori*, beton yang dibuat memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi dan digunakan untuk mengurangi limpasan dari air hujan. Karena beton berpori dibuat dengan sedikit atau tanpa agregat halus dalam campuran beton, beton tersebut dapat menyerap air ke dalam tanah (Yenni Ciawi, 2022).

Karena kekuatan tekan yang rendah dan karakter berongga, penggunaan beton berpori dalam bangunan masih dibatasi. Karena karakteristik ini, bangunan non-struktural yang tidak membutuhkan beton berkekuatan tinggi lebih cocok untuk beton porous. Beton porous dapat diaplikasikan di area parker, jalur jalan dengan lalu lintas ringan, trotoar pejalan kaki serta pemukiman yang berwawasan lingkungan (Putri, 2019).

Berdasarkan ACI 522R-10, beton berpori memiliki kuat tekan sebesar 400 sampai 4000 psi (2,8 MPa sampai dengan 28 MPa). Berat jenis beton porous umumnya berkisar 70% dari beton normal jika dibuat dengan menggunakan bahan yang sama. Berat jenis beton porous bervariasi dari 1602 sampai 1922 kg/m³. Menurut Pradana dkk (2025), penghilangan agregat halus secara penuh dapat menyebabkan penurunan kuat tekan, rendahnya ikatan antar agregat, serta meningkatnya kerentanan terhadap kerusakan mekanis dan kimia, sehingga membatasi penggunaannya pada area dengan beban rendah. Oleh karena itu, beberapa penelitian menyatakan bahwa penambahan agregat halus dalam jumlah terbatas dapat berfungsi sebagai *filler* yang mengisi sebagian rongga, memperbaiki kontak antar agregat, serta meningkatkan kohesi pasta semen, sehingga dapat

meningkatkan kuat tekan dan durabilitas tanpa menghilangkan kemampuan peresapan air secara signifikan.

Berdasarkan standar ACI 522R-10 dan penelitian Setiawan dkk (2025), pembuatan *paving block* berpori mewajibkan pengurangan atau penghilangan agregat halus secara drastis untuk menciptakan rongga udara. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, porsi agregat halus (pasir) yang biasanya dominan pada *paving* konvensional akan dikurangi secara signifikan. Sedikit kebutuhan agregat halus yang tersisa tersebut kemudian disubstitusi menggunakan serbuk sabut kelapa (*cocopeat*) untuk menjaga rongga porositas dan nilai permeabilitasnya tetap tinggi,

Agregat merupakan salah satu komponen terpenting dalam campuran beton karena berperan besar dalam menentukan sifat dan kualitas beton yang dihasilkan. Secara umum, agregat menempati sekitar 70% hingga 75% dari total volume beton. Agar beton dapat berfungsi sebagai suatu massa yang utuh, padat, dan kohesif, agregat harus tersusun dengan baik sehingga agregat yang berukuran lebih kecil dapat mengisi rongga di antara agregat yang lebih besar. Pada penelitian ini, agregat kasar yang digunakan berasal dari batok kelapa, yang karakteristiknya juga dapat memengaruhi kebutuhan air dalam proses pencampuran beton. Menurut Limantara (2020), penggunaan agregat dengan ukuran butir yang lebih kecil dapat menghasilkan beton dengan kualitas yang lebih baik. Sementara itu, agregat halus yang digunakan berupa pasir alami yang berasal dari hasil pelapukan atau pemecahan batuan dari kegiatan penambangan, dengan ukuran butir maksimum sekitar 5,0 mm.

Dalam pembuatan beton berpori, jumlah air atau rasio air terhadap semen (*water-cement ratio*) harus dikontrol dengan baik agar menghasilkan pasta beton yang berkualitas. Kandungan air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pasta semen menutupi pori-pori beton, sedangkan jumlah air yang terlalu sedikit dapat menyebabkan ikatan antara semen dan agregat tidak sempurna sehingga beton menjadi rapuh dan kekuatannya menurun. Berdasarkan ACI 522R-10, rasio air-semen yang ideal untuk pembuatan beton berpori berkisar antara 0,26 hingga 0,45 (Limantara, 2020).

Rasio air-semen merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi sifat mekanis dan karakteristik hidrolis beton berpori. Nilai faktor air semen yang rendah cenderung menghasilkan pasta semen yang lebih padat sehingga meningkatkan kuat tekan beton. Namun, jika terlalu rendah maka campuran beton akan menjadi kaku dan sulit dipadatkan sehingga dapat menyebabkan distribusi agregat tidak merata. Sebaliknya, apabila jumlah air yang digunakan terlalu tinggi maka pasta semen akan menjadi lebih encer dan berpotensi mengisi rongga antar agregat, sehingga mengurangi tingkat porositas dan kemampuan beton dalam mengalirkan air (Sakinah dkk., 2021).

Pada beton berpori, peran air tidak hanya sebagai media reaksi hidrasi semen tetapi juga mempengaruhi terbentuknya struktur rongga yang menjadi ciri utama beton tersebut. Struktur rongga ini terbentuk dari susunan agregat kasar yang tidak sepenuhnya diisi oleh pasta semen sehingga membentuk jalur aliran air. Oleh karena itu, jumlah air dalam campuran harus cukup untuk mendukung proses hidrasi semen tanpa menutup rongga yang terbentuk di antara agregat. Pengendalian rasio air-semen yang tepat akan menghasilkan beton berpori dengan keseimbangan antara kekuatan tekan, porositas, dan permeabilitas yang baik (ACI Committee 522, 2010).

Dengan demikian, pengendalian rasio air-semen merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan campuran beton berpori. Nilai rasio yang tepat tidak hanya berpengaruh terhadap kualitas pasta semen dan kuat tekan beton, tetapi juga menentukan kemampuan beton dalam menyerap dan mengalirkan air melalui sistem pori yang terbentuk di dalam struktur beton. Pengaturan komposisi air yang seimbang akan menghasilkan beton berpori yang memiliki kinerja struktural dan fungsional yang optimal sesuai dengan kebutuhan konstruksi ramah lingkungan.

2.3. Bahan Tambah

2.3.1. Abu Tempurung Kelapa

Menurut Berlian dkk. (2021) dalam penelitian berjudul *Penambahan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Dalam Pembuatan Paving Block*, penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah mempengaruhi nilai kuat

tekan *paving block*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat pada penambahan 2,5%, kemudian mengalami penurunan pada variasi yang lebih tinggi. Nilai kuat tekan yang diperoleh yaitu 7,2 MPa (0%), 10,5 MPa (2,5%), 7,8 MPa (5%), 7,6 MPa (7,5%), dan 6,1 MPa (10%), sehingga variasi ATK2,5-CPT0,5% menghasilkan nilai terbaik dan memenuhi mutu D berdasarkan SNI 03-0691-1996.

Penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa kelebihan abu tempurung kelapa adalah dapat memanfaatkan limbah dan meningkatkan kuat tekan pada kadar tertentu, sedangkan kekurangannya adalah jika digunakan dalam jumlah berlebih dapat menurunkan kuat tekan *paving block* karena mengurangi ikatan antar partikel dalam campuran. Produksi kelapa memiliki banyak jumlah di Indonesia. Sekitar 99 persen dari 3.654.478 hektar perkebunan kelapa ditanam oleh petani kecil, menghasilkan total produksi sekitar 3.051.585 ton. Selain digunakan di dalam negeri, produk kelapa diekspor sebagian untuk menghasilkan devisa, yang memungkinkan negara untuk menggunakannya sebagai sumber pendapatan (Berlian, 2021).

Pembakaran batok kelapa, yang tinggi silika (SiO_2), menghasilkan abu tempurung kelapa. Karena kandungan silikat (SiO_2) yang agak lebih tinggi, batok kelapa memiliki struktur yang kuat dan padat sehingga cocok digunakan sebagai alternatif agregat kasar pada beton. Kelapa memiliki efek pengikatan yang lebih baik pada pasta karena permukaannya yang kasar (Anbar, 2024).

Dalam penelitian ini, abu tempurung kelapa ini digunakan sebagai bahan substitusi atau campuran pada semen, terutama untuk mengurangi pemakaian semen konvensional yang berpotensi merusak lingkungan akibat emisi karbon yang tinggi selama proses produksinya. Sebagai bahan pozzolan, abu tempurung kelapa bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan saat semen terhidrasi, menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memberikan kekuatan tambahan pada campuran beton (Kavishan, 2023).

Menurut penelitian, batok kelapa memiliki berbagai komposisi kimia, antara lain selulosa (26,60%), lignin (29,50%), pentosan (27,00%), pelarut ekstraktif (4,20%), uranat anhidrid (3,50%), abu (0,62%), nitrogen (0,11%), dan air (8,01%).

Abu dari batok kelapa mengandung silika, aditif yang sebanding dengan pozzolan. Abu batok kelapa termasuk dalam kelompok fly ash dan memiliki kepadatan 2,05 g/cm³ (Berdiamant, 2021).

Dalam hal ini, penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan campuran perlu diperhatikan komposisi dan proporsinya, karena terlalu banyak abu dalam campuran bisa mengurangi kekuatan awal beton. Proporsi ideal abu tempurung kelapa biasanya berkisar antara 5-15% dari total volume semen (Chindy chelvia,2024).

Penggunaan abu tempurung kelapa dalam jumlah tertentu dapat memberikan efek pozzolanik karena kandungan silika yang cukup tinggi di dalamnya. Silika tersebut dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil proses hidrasi semen dan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang berperan dalam meningkatkan kekuatan dan kepadatan struktur beton. Namun, apabila persentase penggantian semen terlalu besar, maka jumlah semen aktif dalam campuran akan berkurang sehingga proses hidrasi menjadi tidak optimal dan menyebabkan penurunan kuat tekan pada umur awal beton (Memon dkk., 2018).

Selain itu, pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai bahan substitusi sebagian semen juga dapat memberikan manfaat dari segi keberlanjutan lingkungan karena memanfaatkan limbah biomassa yang melimpah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu tempurung kelapa dalam jumlah terbatas dapat meningkatkan sifat mekanis dan durabilitas beton jika proses pembakaran dan penghalusan abu dilakukan dengan baik. Abu yang memiliki ukuran partikel lebih halus dapat berperan sebagai *filler* yang membantu mengisi rongga-rongga kecil dalam matriks beton sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat (Gunasekaran dkk., 2011).

Menurut penulis, pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai bahan campuran dalam beton, khususnya pada *paving* berpori, merupakan salah satu alternatif yang cukup potensial untuk mengurangi penggunaan semen sekaligus memanfaatkan limbah organik yang tersedia melimpah. Namun demikian, penggunaannya harus melalui pengujian komposisi yang tepat agar tidak menurunkan kualitas beton yang dihasilkan. Dengan pengolahan yang baik serta

proporsi yang sesuai, abu tempurung kelapa dapat menjadi material tambahan yang mendukung pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2.3.2. Serbuk Sabut Kelapa (*cocopeat*)

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang terletak di daerah tropis dengan kondisi agroklimat yang menguntungkan, adalah produsen kelapa terkemuka di dunia. Dengan perkiraan total hasil 14 miliar kelapa, perkebunan kelapa Indonesia mencakup 3,76 juta hektar pada tahun 2000. Perkebunan petani kecil menyumbang 95 persen dari total ini (Sudarno,2022).

Dari sudut pandang ekonomi dan sosial budaya, kelapa sangat berharga dan memainkan peran penting. Komponen terbesar kelapa, terhitung 35% dari beratnya, adalah sabutnya, produk sampingan. Oleh karena itu, kurang lebih 1,7 juta ton sabut kelapa dihasilkan jika rata-rata produksi tahunan buah kelapa adalah 5,6 juta ton. Tidak semua potensi untuk memproduksi begitu banyak sabut kelapa telah digunakan. Produk dari pengolahan sabut kelapa diakui dalam perdagangan global sebagai serat kelapa, serat sabut, benang sabut, tikar sabut, dan karpet. Sabut kelapa secara historis hanya digunakan untuk membuat tikar, sapu, dan barang-barang lainnya (Pelangi, 2019).

Serat sabut kelapa diekstraksi dari lapisan luar buah kelapa. Salah satu serat alami yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat dalam bahan komposit adalah sabut kelapa. Karena sulit didapatkan, murah, biodegradable, dan aman bagi kesehatan manusia, serat sabut kelapa saat ini banyak digunakan dalam industri furnitur dan kerajinan rumah tangga (Sudarno, 2023).

Di permukaan terluar kelapa, terdapat zat berserat yang disebut sabut kelapa yang tebalnya kira-kira 5 cm. 35% sabut kelapa, 12% cangkang, 28% ampas, dan 25% getah membentuk buah kelapa yang sebenarnya. Dinding sel membentuk 78% sabut kelapa, sedangkan gigi berlubang membentuk 22,2%. Ekstraksi mekanis adalah salah satu metode menghilangkan serat dari sabut. 60% serat adalah serat kasur dan 40% adalah sabut kelapa. Secara teknis, sabut kelapa memiliki beberapa manfaat, antara lain lebih ringan dari serat lainnya, memiliki panjang 15–30 cm,

dan tahan terhadap serangan mikroba, pelapukan, dan tenaga kerja mekanis (seperti menggosok dan meniup). Sabut sering ditambahkan ke campuran beton di industri konstruksi (Sari, 2023).

Sabut kelapa ini dihancurkan menjadi partikel halus atau serbuk, serbuk sabut kelapa inilah yang nantinya akan menjadi substitusi pada agregat halus dalam material pembuatan *paving porous*. Serbuk ini memiliki sifat fisik dan kimia yang unik, terutama karena kandungan serat selulosanya yang tinggi. Serat-serat alami dari sabut kelapa memiliki elastisitas dan daya serap air yang baik, sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Serbuk sabut kelapa, yang kaya akan serat alami seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, mengurangi berat beton karena sifatnya yang ringan.

Kandungan serat alami ini berfungsi memperkuat beton dengan menambah daya lenturnya. Lignin, yang terdapat dalam jumlah besar, memberikan ketahanan terhadap degradasi akibat air dan serangan kimia, sementara selulosa membantu memberikan kekuatan tarik. Sementara kemampuan serbuk untuk menyerap air atau sifat higroskopis serbuk sabut kelapa memungkinkan bahan ini menyerap air dalam jumlah yang cukup tinggi (Martinelli et al., 2023).

Pada beton, hal ini dapat membantu menjaga kelembaban selama proses curing (pengerasan), sehingga meningkatkan kualitas beton pada tahap awal, sejalan dengan sifat bahan tambahan sebelumnya yaitu abu tempurung kelapa yang berpotensi mengurangi kekuatan awal beton, maka serbuk sabut kelapa sebagai substitusi pasir pada *paving* berpori diharapkan dapat memberikan ikatan campuran yang optimal dan berkelanjutan (Rahmawati et al., 2024).

Meskipun serbuk sabut kelapa memberikan beberapa keunggulan dari segi elastisitas dan daya serap air, perlu diperhatikan bahwa penambahan serbuk ini dalam jumlah yang terlalu banyak dapat menurunkan kekuatan tekan beton. Oleh karena itu, proporsi penggunaan yang ideal biasanya berkisar antara 5-15% dari volume pasir, tergantung pada tujuan dan jenis proyek konstruksi (Hezlina, 2024).

2.3.3. Air

Air merupakan komponen vital dalam campuran *paving porous* karena berfungsi memicu reaksi hidrasi semen sehingga terbentuk ikatan yang menyatukan agregat. Kualitas air yang digunakan harus memenuhi standar agar tidak mengandung zat berbahaya yang dapat mengganggu proses pengerasan maupun menurunkan kekuatan beton (McKerahan, 2025). Di Indonesia, persyaratan air untuk campuran beton mengacu pada SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural serta ASTM C1602 yang mengatur kualitas air pencampur beton, termasuk batas kandungan klorida, sulfat, dan bahan organik. Dalam penelitian porous concrete, rasio air-semen (w/c ratio) biasanya berkisar antara 0,27–0,35 untuk menjaga keseimbangan antara kuat tekan dan porositas.

2.3.4. Semen

Semen berfungsi sebagai bahan pengikat utama yang melapisi dan merekatkan agregat kasar dalam struktur *paving porous*. Jenis semen yang umum digunakan adalah semen Portland tipe I sesuai standar SNI 2049:2015 atau standar internasional ASTM C150. Dalam *paving porous*, penggunaan semen harus dikontrol karena kadar yang terlalu tinggi dapat menutup rongga antar agregat dan menurunkan permeabilitas.

2.3.5. Agregat Halus / Pasir

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2461-2002, pasir didefinisikan sebagai agregat alami yang merupakan material berasal dari proses pelapukan batu secara alami atau dari pasir yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu dengan ukuran butir maksimum 5 mm. Bahan bangunan ini harus memiliki distribusi ukuran butir yang sesuai spesifikasi, yaitu minimum 95% lolos ayakan 4,75 mm (No.4) dan maksimum 10% tertahan pada ayakan 0,075 (No. 200). Pasir sebagai agregat halus dalam beton konvensional berfungsi mengisi rongga antar agregat kasar. Namun pada *paving porous*, penggunaannya dibatasi atau bahkan dihilangkan agar terbentuk pori makro yang saling terhubung. Jika digunakan, pasir harus memenuhi standar gradasi dan kebersihan sesuai SNI 03-6820-2002 serta

ASTM C33. Pengurangan agregat halus terbukti meningkatkan permeabilitas namun perlu diimbangi dengan kontrol kuat tekan.

2.3.6. Agregat Kasar / Kerikil

Kerikil atau agregat kasar merupakan elemen utama pembentuk struktur dan porositas pada *paving porous*. Ukuran, bentuk, dan distribusi gradasinya sangat menentukan kuat tekan serta tingkat infiltrasi air. Agregat kasar harus memenuhi standar mutu seperti SNI 03-2834-2000 serta ASTM C33. Pada *paving porous*, agregat dengan ukuran seragam (misalnya 10–20 mm) sering digunakan untuk menghasilkan rongga yang konsisten dan hal itu dibutuhkan dalam penelitian ini (McKerahan, 2025).

2.4. Kajian Pustaka

Kajian terhadap penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui temuan, metode pengujian, serta celah penelitian yang masih dapat dikembangkan pada penelitian ini. Hasil kajian penelitian terdahulu disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu

No.	Judul	Metode Pengujian	Material Tambahan	Persentase Material	Durasi	Hasil
1.	(Sudarno dkk., 2022)	Menguji kuat tekan, kuat lentur, porositas <i>paving block</i>	Serat sabut kelapa	0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%.	28 hari	Penambahan serat sabut kelapa sebesar 0,5% menghasilkan kuat tekan <i>paving block</i> tertinggi, yaitu 55,43 MPa atau meningkat 22,72% dibanding campuran normal. Namun, penambahan serat di atas 1% menyebabkan kuat tekan menurun karena rongga campuran semakin banyak. Dengan demikian, variasi 0,5% merupakan kadar paling optimal.
2.	(Marfranklin, 2019)	Menguji kuat tekan dan kuat lentur beton ringan	Serat serabut kelapa	0%, 0.1%, 0.3%, 0.5% dan 0.7%.	28 hari	Variasi tanpa serat (0%) menghasilkan kuat tekan sebesar 4,19 MPa, kemudian meningkat pada variasi 0,1% dan mencapai nilai tertinggi pada variasi 0,3% sebesar 5,06 MPa dengan kuat lentur sebesar 0,92 MPa. Namun, pada

						penambahan serat 0,5% dan 0,7%, nilai kuat tekan kembali menurun akibat terlalu banyak serat yang menambah rongga pada campuran beton. Dengan demikian, variasi 0,3% merupakan kadar optimum dalam meningkatkan kekuatan beton ringan..
3.	(Hezliana, 2024)	Menguji daya serap paving block	Serbuk Sabut Kelapa (<i>Cocopeat</i>)	0%, 10%, 25% dan 50%.	28 hari	Nilai daya serap pada variasi 0%, 10%, dan 25% mengalami peningkatan berturut-turut dari 0,07%, 0,28%, hingga 0,66%. Namun, pada variasi 50% nilai daya serap menurun menjadi 0,55%. Tren ini menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan <i>cocopeat</i> maka daya serap cenderung meningkat akibat bertambahnya pori pada campuran, tetapi pada kadar tertentu terjadi penurunan karena campuran menjadi lebih padat.
4.	(Hezliana, 2024)	Menguji kuat tekan paving block	Serbuk Sabut Kelapa (<i>Cocopeat</i>)	0%, 10%, 25% dan 50%.	28 hari	Variasi normal (0%) menghasilkan kuat tekan 16,612 MPa, kemudian menurun pada variasi <i>cocopeat</i> 10%, 25%, dan 50% berturut-turut menjadi 0,845 MPa, 0,63 MPa, dan 0,532 MPa.

						Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar <i>cocopeat</i> , semakin rendah kuat tekan <i>paving block</i> akibat bertambahnya rongga pada campuran.
5.	(Berlian dkk., 2021)	Menguji kuat tekan <i>paving block</i>	Abu tempurung kelapa	0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%	28 hari	Variasi normal (0%) menghasilkan kuat tekan 7,2 MPa, kemudian meningkat menjadi 10,5 MPa pada penambahan abu tempurung kelapa 2,5% sebagai nilai optimum. Setelah itu, kuat tekan menurun pada variasi 5%–10% hingga mencapai 6,1 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu tempurung kelapa dalam jumlah kecil dapat meningkatkan kekuatan <i>paving block</i> , sedangkan penggunaan berlebihan menyebabkan kekuatan menurun
6.	(Muhammad Arifin dkk., 2023)	Menguji kuat tekan dan lentur pada <i>paving block</i>	Serat kelapa	0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat semen	7 dan 28 hari	Variasi 0% menghasilkan kuat tekan 24,49 MPa, kemudian meningkat menjadi 25,39 MPa pada variasi 0,1% sebagai nilai optimum. Namun, pada kadar serat yang lebih tinggi, kuat tekan mulai menurun akibat bertambahnya rongga pada campuran. Kuat

						lentur juga meningkat dari 31,5 MPa menjadi 33 MPa pada variasi 0,1%, sehingga serat sabut kelapa terbukti mampu membantu menghambat retak pada <i>paving block</i> .
7.	(S.Rajesh Kumar dkk., 2024)	Menguji kuat tekan	Abu sabut kelapa dan serat tempurung kelapa	abu sabut kelapa (5%, 10%, 15%, dan 20%) sebagai substitusi semen, serat tempurung kelapa (0,5%, 1%, dan 1,5%) dari berat campuran beton.	28 hari	Variasi normal menghasilkan kuat tekan sekitar 31,8 MPa, kemudian meningkat pada variasi 5% menjadi sekitar 32,9 MPa dan 10% menjadi sekitar 34,1 MPa. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi 15% sebesar sekitar 35,1 MPa atau meningkat 10,36% dibanding beton normal. Namun, pada variasi 20% kuat tekan kembali menurun menjadi sekitar 33 MPa akibat kadar pengganti semen yang terlalu tinggi sehingga mengurangi ikatan pasta semen.

8.	Mukhlis Iwan Mustaqim dkk., 2016)	Menguji kuat tekan	Abu tempurung kelapa	Abu tempurung kelapa (5%, 10%, 15%, 20%) sebagai substitusi semen	14 hari	Variasi normal menghasilkan kuat tekan sebesar 101 kg/cm ² , kemudian meningkat menjadi 113 kg/cm ² pada variasi 5% sebagai nilai optimum. Namun, pada variasi 10%, 15%, dan 20% kuat tekan kembali menurun berturut-turut menjadi 108 kg/cm ² , 86 kg/cm ² , dan 81 kg/cm ² . Tren ini menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa dalam jumlah kecil mampu memperbaiki ikatan campuran <i>paving block</i> , sedangkan penggunaan berlebihan menyebabkan rongga campuran bertambah sehingga kuat tekan menurun.
9.	(Syahwanti dkk., 2025)	Menguji kuat tekan, porositas, dan permeabilitas	<i>Cocopeat</i> dan serat ijuk	<i>Cocopeat</i> 1% sebagai substitusi pasir	28 hari	Berdasarkan penelitian tersebut, beton tanpa campuran <i>cocopeat</i> memiliki kuat tekan lebih tinggi, yaitu sekitar 13 MPa, dengan porositas 19,63% dan permeabilitas 0,241 cm/detik. Sedangkan beton dengan campuran <i>cocopeat</i> 1% dan mengalami peningkatan porositas menjadi 22,41% dan permeabilitas menjadi

						0,312 cm/detik, namun kuat tekannya menurun menjadi sekitar 10,6 MPa.
10.	(Hariadi., 2019)	Menguji kuat tekan, porositas, dan permeabilitas	Abu tempurung kelapa	Abu tempurung kelapa (2,5%, 5%, 7,5%, 10%) dari berat semen	28 hari	Variasi normal (0%) menghasilkan kuat tekan 5,86 MPa, porositas 13,16%, dan permeabilitas 1,171 cm/s. Pada variasi 2,5%, kuat tekan menurun menjadi 4,91 MPa, sedangkan porositas dan permeabilitas meningkat menjadi 13,52% dan 1,243 cm/s. Variasi 5% menghasilkan kuat tekan 4,54 MPa dengan porositas 13,81% dan permeabilitas 1,269 cm/s. Selanjutnya pada variasi 7,5%, kuat tekan kembali turun menjadi 4,07 MPa, sementara porositas meningkat menjadi 13,94% dan permeabilitas menjadi 1,285 cm/s. Variasi tertinggi 10% menghasilkan kuat tekan terendah sebesar 3,79 MPa, namun memiliki porositas dan permeabilitas tertinggi yaitu 14,04% dan 1,3 cm/s.

Penggunaan limbah kelapa sebagai bahan campuran dalam material konstruksi telah banyak diteliti karena potensinya dalam meningkatkan sifat mekanis sekaligus mendukung konsep ramah lingkungan. Salah satu limbah yang dimanfaatkan adalah serat sabut kelapa sebagai campuran beton pada *paving block* yang diketahui dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak serta membantu memperbaiki sifat tarik material karena serat berperan sebagai pengikat tambahan dalam matriks beton. Selain itu, pemanfaatan bahan ini juga mendukung penggunaan limbah organik yang lebih berkelanjutan, meskipun penambahan serat dalam jumlah yang terlalu besar dapat menurunkan kuat tekan karena distribusi campuran menjadi kurang merata dan ikatan antar material berkurang (Sudarno dkk., 2022).

Pemanfaatan serat sabut kelapa juga diterapkan pada beton ringan jenis *cellular lightweight concrete*, yang menunjukkan bahwa serat dapat meningkatkan daktilitas serta ketahanan beton terhadap retakan sehingga material menjadi lebih fleksibel. Namun demikian, penggunaan serat berlebihan dapat menurunkan kuat tekan serta mengurangi kemudahan pengerjaan campuran beton (*workability*) (Marfranklin, 2019).

Selain serat, limbah sabut kelapa dalam bentuk serbuk (*cocopeat*) juga dimanfaatkan sebagai campuran agregat pada *paving block*. Bahan ini memiliki struktur berpori yang mampu meningkatkan nilai daya serap air sehingga mendukung karakteristik *paving block* berpori yang memungkinkan air lebih mudah meresap ke dalam tanah. Akan tetapi, peningkatan porositas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan nilai daya serap air meningkat secara signifikan dan berpotensi menurunkan ketahanan material terhadap pengaruh lingkungan (Hezliana, 2024). Penggunaan *cocopeat* juga mempengaruhi kuat tekan *paving block*, dimana penambahan dalam jumlah kecil masih dapat digunakan dalam campuran, tetapi peningkatan persentase yang terlalu besar cenderung menurunkan kuat tekan karena sifat *cocopeat* yang ringan dan berpori sehingga tidak sekuat agregat mineral dalam menahan beban (Hezliana, 2024).

Penelitian Syahwanti dkk. (2025) pada beton permeabel dengan penambahan *cocopeat* 1% dan ijuk 1% juga menunjukkan peningkatan porositas dari 19,63%

menjadi 22,41% dan permeabilitas dari 0,241 cm/detik menjadi 0,312 cm/detik. Namun, kuat tekan beton menurun dari sekitar 13 MPa menjadi 10,6 MPa akibat bertambahnya rongga pada campuran. Hasil ini menunjukkan bahwa *cocopeat* efektif meningkatkan kemampuan resapan air dan drainase beton permeabel, meskipun menyebabkan penurunan kekuatan tekan.

Selain sabut kelapa, tempurung kelapa juga dapat dimanfaatkan dalam bentuk abu sebagai bahan tambah pada *paving block*. Abu tempurung kelapa diketahui memiliki kandungan silika yang bersifat pozzolan sehingga dapat membantu proses pengikatan pada pasta semen dan berpotensi meningkatkan kekuatan pada kadar tertentu. Pemanfaatan bahan ini juga memberikan keuntungan dalam mengurangi penggunaan semen serta memanfaatkan limbah pertanian, meskipun penambahan abu dalam jumlah yang terlalu besar dapat menurunkan kuat tekan karena abu lebih berperan sebagai bahan pengisi (*filler*) yang dapat mengurangi kekuatan ikatan antar material (Berlian dkk., 2021).

Penelitian Mukhlis Iwan Mustaqim dkk. (2016) juga menunjukkan tren serupa, dimana penambahan abu tempurung kelapa sebagai substitusi sebagian semen mampu meningkatkan kuat tekan *paving block* dari 101 kg/cm² pada variasi normal menjadi 113 kg/cm² pada variasi 5% sebagai nilai optimum. Akan tetapi, pada variasi 10%, 15%, dan 20% kuat tekan kembali menurun menjadi 108 kg/cm², 86 kg/cm², dan 81 kg/cm² akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya ikatan antar material.

Hariadi (2019) pada penelitian beton porous dengan substitusi abu arang tempurung kelapa juga menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu menyebabkan porositas dan permeabilitas beton meningkat, namun kuat tekan menurun. Variasi normal menghasilkan kuat tekan 5,86 MPa dengan porositas 13,16% dan permeabilitas 1,171 cm/s, sedangkan pada variasi 10% kuat tekan menurun menjadi 3,79 MPa dengan porositas 14,04% dan permeabilitas 1,3 cm/s. Hal ini menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa lebih efektif digunakan pada beton yang mengutamakan fungsi resapan air dibanding kekuatan struktural tinggi.

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan serat kelapa pada *paving block* dapat meningkatkan kuat lentur serta ketahanan terhadap retakan karena serat berfungsi sebagai penguat alami dalam struktur beton. Meskipun demikian, penambahan serat dalam jumlah yang terlalu banyak dapat menyebabkan penurunan kuat tekan dan membuat campuran menjadi kurang homogen (Muhammad Arifin dkk., 2023).

Lebih lanjut, penelitian terbaru juga mengombinasikan serat tempurung kelapa dan abu sabut kelapa dalam beton ramah lingkungan untuk meningkatkan performa material sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah kelapa. Kombinasi bahan tersebut dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan sifat mekanis beton serta mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan bahan konvensional. Namun, penggunaan bahan limbah tersebut memerlukan proses pengolahan tambahan seperti pembakaran dan pengolahan serat agar dapat digunakan secara optimal dalam campuran beton (S. Rajesh Kumar dkk., 2024).

Berangkat dari *research gap* tersebut, penelitian ini membawa pembaruan (*novelty*) dengan cara menyinergikan kedua material limbah tersebut ke dalam satu campuran perkerasan *Paving Porous* (berpori). Kombinasi inovatif antara abu tempurung kelapa (sebagai substitusi sebagian semen untuk menjaga kuat tekan) dan serbuk sabut kelapa atau *cocopeat* (sebagai substitusi sebagian agregat halus untuk mengoptimalkan permeabilitas) diharapkan mampu menciptakan *paving block* yang seimbang. Material ini tidak hanya ditargetkan memenuhi standar kuat tekan mekanik struktural, tetapi juga memiliki rongga (porositas) tinggi yang efektif meresapkan limpasan air hujan demi mencegah genangan air di kawasan tropis.