

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Paving Block*

Paving block atau bata beton merupakan salah satu material bangunan berbasis beton pracetak yang banyak digunakan untuk penutup permukaan tanah. Material ini dibuat dari campuran semen portland, agregat halus berupa pasir, air, dan bila diperlukan ditambahkan bahan lain, kemudian dipadatkan dengan cetakan mekanis baik secara manual maupun menggunakan mesin hidrolis. Kelebihan *paving block* terletak pada sifatnya yang dapat dipasang dan dilepas kembali dengan mudah, memiliki variasi bentuk dan warna, serta lebih ramah lingkungan dibandingkan perkerasan kaku dan lentur karena masih memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah sehingga mengurangi limpasan permukaan (SNI 03-0691-1996).

Selain berfungsi sebagai lapisan perkerasan untuk jalan dengan beban lalu lintas ringan hingga sedang, *paving block* juga banyak digunakan untuk halaman rumah, taman, area parkir, jalur pejalan kaki, hingga kawasan komersial. Nilai estetika juga menjadi keunggulan karena *paving block* tersedia dalam berbagai bentuk seperti persegi panjang, segi enam (hexagonal), segitiga, zig-zag, dan bentuk dekoratif lain yang dipilih sesuai kebutuhan teknis maupun tampilan (Dipohusodo, 1999).

Mutu *paving block* diatur dalam SNI 03-0691-1996, yang mengklasifikasikan kualitas berdasarkan kuat tekan minimum dan fungsi penggunaannya. Mutu A memiliki kuat tekan ≥ 40 MPa dan digunakan untuk jalan raya atau area dengan beban lalu lintas berat. Mutu B memiliki kuat tekan ≥ 20 MPa, diperuntukkan bagi area parkir kendaraan. Mutu C memiliki kuat tekan ≥ 15 MPa, umumnya digunakan pada jalur pejalan kaki atau area dengan beban ringan. Sementara itu, mutu D memiliki kuat tekan ≥ 10 MPa, digunakan pada taman, halaman, dan area terbuka hijau. Dengan klasifikasi ini, dapat dipahami bahwa semakin tinggi kebutuhan fungsional beban, semakin tinggi pula standar kuat tekan yang disyaratkan.

Selain klasifikasi mutu, *paving block* juga memiliki persyaratan teknis lain yang harus dipenuhi. Beberapa syarat penting antara lain:

1. Ketepatan dimensi dan keseragaman bentuk untuk memudahkan pemasangan
2. Daya serap air, yang biasanya dibatasi tidak lebih dari 10% untuk menjaga ketahanan terhadap cuaca.
3. Permukaan dan tekstur, yang harus halus dan bebas dari retak rambut agar lebih awet.
4. Ketahanan aus, yang penting untuk *paving block* yang dipasang pada area dengan intensitas lalu lintas tinggi.

Persyaratan tersebut memastikan bahwa *paving block* tidak hanya memiliki kekuatan yang memadai, tetapi juga memiliki durabilitas yang baik selama masa penggunaannya (Haryanto, 2005).

Berbagai penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa sifat mekanik dan fisik *paving block* dapat dipengaruhi oleh penggunaan material substitusi sebagai pengganti semen. Penggunaan limbah kaca, keramik, maupun abu sekam padi, misalnya, terbukti memberikan variasi nilai kuat tekan dan daya serap air. Sementara itu, pemanfaatan bahan organik seperti serbuk kayu atau bambu umumnya menurunkan kuat tekan namun meningkatkan daya serap. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material alternatif dalam pembuatan *paving block* harus memperhatikan kesesuaian sifat bahan agar mutu yang dihasilkan tetap sesuai dengan klasifikasi dan syarat teknis yang diatur dalam standar (Mulyono, 2007; Sari, 2018).

2.1.1 Syarat dan Mutu *Paving Block*

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0691-1996), *paving block* harus memenuhi sejumlah persyaratan teknis agar dapat digunakan dengan baik. Dari segi fisik, *paving block* wajib memiliki bentuk yang rata, tidak retak, serta sudutnya tidak mudah hancur hanya dengan tekanan jari. Selanjutnya, dari sisi ukuran, *paving block* harus memiliki ketebalan minimal 60 mm dengan toleransi penyimpangan sebesar 8%.

Selain itu, terdapat pula persyaratan sifat fisika yang meliputi kuat tekan dan daya serap air. Berdasarkan standar tersebut, mutu *paving block* dibagi menjadi empat kategori, yaitu:

1. Mutu A dengan kuat tekan rata-rata ≥ 40 MPa dan daya serap air maksimum 3%.
2. Mutu B dengan kuat tekan rata-rata ≥ 20 MPa dan daya serap air maksimum 6%.
3. Mutu C dengan kuat tekan rata-rata ≥ 15 MPa dan daya serap maksimum 8%.
4. Mutu D dengan kuat tekan rata-rata ≥ 10 MPa dan daya serap maksimum 10%.

Selain SNI, ketentuan mengenai *paving block* juga diatur dalam *British Standard* (1986) yang diakui secara internasional. Beberapa persyaratan yang ditetapkan antara lain ketebalan minimum *paving block* sebesar 60 mm, serta toleransi dimensi dengan batas penyimpangan ketebalan ≤ 3 mm, panjang ≤ 2 mm, dan lebar ≤ 2 mm. Aturan mengenai ketebalan ini penting untuk menjamin kesesuaian ukuran fisik, kinerja struktural, keamanan, serta umur layan *paving block*. Dalam standar tersebut juga dijelaskan faktor koreksi ketebalan, misalnya *paving block* tanpa tali air dengan ketebalan 60–65 mm memiliki faktor koreksi 1,00, sedangkan *paving block* dengan tali air pada ketebalan yang sama memiliki faktor koreksi 1,06.

2.2 Semen

Semen merupakan salah satu bahan utama dalam konstruksi yang berfungsi sebagai perekat hidrolis, yaitu material yang mampu mengikat dan mengeras apabila bereaksi dengan air. Sifat hidrolis ini membuat semen sangat penting dalam pembuatan beton, mortar, maupun *paving block* karena dapat memberikan kekuatan, kekompakan, serta ketahanan terhadap beban maupun cuaca (Neville, 2012).

Semen Portland tersusun atas senyawa utama seperti silika (SiO_2), kalsium (CaO), dan magnesium (MgO) yang berperan dalam proses pembentukan kekuatan

pada beton maupun paving block (Neville, 2011). Di sisi lain, limbah serbuk kopi tanpa dibakar juga mengandung unsur mineral seperti silika, kalsium, magnesium, dan karbon, meskipun dalam kadar yang lebih rendah serta didominasi oleh senyawa organik (Roychand et al., 2023).

Menurut SNI 2049:2015, semen Portland dibagi ke dalam beberapa tipe berdasarkan penggunaannya, antara lain Tipe I untuk konstruksi umum, Tipe II untuk lingkungan dengan kadar sulfat sedang, Tipe III yang memiliki kekuatan awal tinggi, Tipe IV yang digunakan pada konstruksi dengan panas hidrasi rendah seperti bendungan, serta Tipe V yang diperuntukkan bagi lingkungan dengan kadar sulfat tinggi (BSN, 2015). Pemilihan tipe semen ini penting agar beton atau campuran bangunan lain dapat berfungsi optimal sesuai kebutuhan lapangan (Mulyono, 2004).

Semen juga memiliki sifat fisik dan mekanis yang harus dipenuhi agar layak digunakan. Sifat fisik meliputi kehalusan butiran, waktu ikat, serta kestabilan volume, sedangkan sifat mekanis utamanya adalah kekuatan tekan. Semakin halus butiran semen, semakin cepat reaksi hidrasi berlangsung, namun hal ini juga berpengaruh terhadap kebutuhan air pencampuran. Waktu ikat awal yang ideal sekitar 45 menit, sedangkan waktu ikat akhir maksimum 375 menit (ASTM C150, 2018). Uji kekuatan tekan biasanya dilakukan pada benda uji mortar dengan perbandingan tertentu, dan hasilnya dijadikan acuan mutu semen dalam aplikasi konstruksi (Kosmatka & Wilson, 2016).

Dalam penelitian tentang pemanfaatan limbah pada bahan bangunan, semen sering dijadikan sebagai material pengikat utama karena sifat adhesi dan koherensinya yang tinggi. Dengan menambahkan bahan substitusi tertentu, seperti limbah organik maupun anorganik, sifat mekanis campuran semen dapat dipengaruhi, baik menurun maupun meningkat, tergantung pada karakteristik material substitusi yang digunakan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai sifat semen menjadi dasar penting dalam pengembangan inovasi material ramah lingkungan, termasuk dalam pembuatan *paving block* dengan campuran limbah serbuk kopi.

2.2.1 Pengujian Terhadap Semen

1. Uji Konsistensi Semen

Uji konsistensi semen merupakan salah satu pengujian dasar yang bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang diperlukan agar pasta semen mencapai tingkat keplastisan standar. Pengujian ini sangat penting karena hasilnya digunakan sebagai acuan dalam pengujian lain, seperti waktu ikat awal dan akhir, perubahan volume, maupun uji kuat tekan mortar. Menurut standar yang berlaku di Indonesia, pengujian konsistensi normal semen Portland dilakukan berdasarkan SNI 03-1974-1990 mengenai metode pengujian pasta semen Portland. Pengujian ini menjadi tahapan awal yang harus dilakukan sebelum melanjutkan ke uji waktu ikat maupun uji kuat tekan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai konsistensi normal semen Portland umumnya berada pada kisaran 26%–33% air dari berat semen, dengan perbedaan nilai yang dipengaruhi oleh sifat material serta tingkat kehalusan semen yang digunakan.

2. Uji Daya Ikat Semen

Pengujian daya ikat semen bertujuan untuk menilai sejauh mana kemampuan semen dalam membentuk ikatan yang kokoh dengan material lain, seperti agregat maupun batu bata. Sifat daya ikat ini memegang peranan penting dalam menjamin kekuatan serta kestabilan suatu struktur bangunan. Melalui pengujian tersebut dapat diperoleh gambaran mengenai mutu semen ketika digunakan dalam campuran adukan atau mortar. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan semen dalam melekatkan serta mengikat material lain dalam konstruksi. Hasil yang diperoleh menjadi salah satu parameter utama untuk menilai kualitas semen sebagai bahan pengikat pada pekerjaan beton maupun pasangan bata.

2.3 Pasir

Pasir merupakan salah satu agregat halus yang berperan penting dalam pembuatan beton, mortar, maupun *paving block*. Secara umum, pasir didefinisikan sebagai material granular hasil pelapukan alami batuan atau mineral dengan ukuran butiran lebih kecil dari 5 mm (SNI 03-2834-2000). Dalam campuran beton, pasir berfungsi mengisi rongga di antara agregat kasar sehingga menghasilkan beton yang lebih padat, meningkatkan ikatan antarpartikel, serta memperbaiki *workability* adukan (Mulyono, 2007).

Kualitas pasir sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan durabilitas produk beton. Pasir yang baik harus memiliki butiran tajam, keras, tidak mudah hancur, serta bersih dari kotoran seperti lumpur, tanah liat, bahan organik, maupun garam. Kandungan lumpur atau debu yang terlalu tinggi dapat mengganggu ikatan antara semen dan agregat sehingga menurunkan kuat tekan beton. Oleh karena itu, menurut SNI 03-2834-2000, kadar lumpur yang diperbolehkan dalam pasir maksimum sebesar 5%. Selain itu, pasir juga harus memenuhi syarat gradasi yang baik, yaitu distribusi ukuran butirannya merata dari halus hingga agak kasar agar rongga dalam beton dapat terisi dengan optimal (Tjokrodinuljo, 1996).

Berdasarkan sumber dan proses terbentuknya, pasir dapat dibedakan menjadi beberapa jenis. Pasir alam berasal dari pelapukan batuan secara alami dan umumnya ditemukan di tepi sungai, pantai, atau daerah galian. Pasir sungai biasanya memiliki butiran lebih bulat dan halus, sedangkan pasir galian cenderung lebih kasar. Pasir laut memiliki kadar garam tinggi sehingga jarang digunakan untuk beton kecuali melalui proses pencucian yang intensif. Selain itu, terdapat juga pasir buatan yang diperoleh dari hasil pemecahan batu dengan mesin pemecah (*stone crusher*). Pasir buatan biasanya memiliki bentuk butiran lebih tajam dan permukaan kasar, sehingga mampu memberikan daya lekat lebih baik pada pasta semen (Murdock & Brook, 1999).

Beberapa sifat fisik pasir yang penting diperhatikan dalam konstruksi antara lain modulus kehalusan (*fineness modulus*), kadar air, berat jenis, dan kebersihan.

Modulus kehalusan menunjukkan tingkat kekasaran butiran pasir, dengan nilai ideal antara 2,0–3,5 untuk campuran beton normal. Berat jenis pasir umumnya berada pada kisaran 2,5–2,7, sedangkan kadar air bervariasi tergantung kondisi penyimpanan. Pasir yang terlalu basah akan memengaruhi jumlah air pencampuran sehingga harus diperhitungkan dalam perbandingan campuran (Kosmatka & Wilson, 2016).

2.3.1 Pengujian Terhadap Pasir

Pasir sebagai agregat halus dalam campuran beton dan *paving block* harus melalui serangkaian pengujian untuk memastikan kualitasnya sesuai standar. Hal ini penting karena sifat fisik dan kimia pasir sangat memengaruhi kuat tekan, daya tahan, serta keawetan beton maupun *paving block*. Oleh karena itu, Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000) menetapkan beberapa metode pengujian yang wajib dilakukan terhadap pasir sebelum digunakan dalam konstruksi. Berikut pengujian terhadap pasir :

1. Uji Gradasi Pasir

Gradasi pasir merupakan sebaran ukuran butir agregat halus yang berperan penting dalam menentukan kepadatan campuran *paving block*, kekuatan ikatan antar material, serta kemampuan tekan pada *paving block*. Oleh karena itu, pengujian gradasi menjadi langkah yang perlu dilakukan untuk memastikan bahwa pasir yang digunakan sesuai dengan standar mutu yang berlaku. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 mengenai tata cara pembuatan beton normal dan SNI 03-6820-2002 tentang agregat halus untuk campuran beton, pasir yang digunakan harus memiliki gradasi dalam rentang zona 1 hingga zona 3, dengan zona 2 sebagai rentang gradasi yang paling umum diterapkan pada campuran beton untuk *paving block*. Selanjutnya, tabel berikut menyajikan persyaratan kelulusan butiran pasir pada uji gradasi.

2. Uji Kadar Lumpur

Kadar lumpur pada pasir merupakan salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan *paving block*. Hal ini dikarenakan keberadaan partikel halus seperti lempung, lanau, dan debu dapat mengurangi

kualitas ikatan antara semen dan agregat, sehingga menurunkan kekuatan beton secara keseluruhan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4142-1996 tentang tata cara pengujian agregat halus untuk beton, pengujian kadar lumpur dilakukan untuk menentukan persentase partikel halus yang menempel pada permukaan butir pasir. Dalam pembuatan *paving block*, pasir yang digunakan harus memenuhi persyaratan dengan batas kadar lumpur maksimum sebesar 5% dari berat kering agregat halus.

3. Uji Berat Jenis

Berat jenis pasir merupakan indikator penting untuk menilai kualitas agregat halus yang dipakai dalam campuran beton, termasuk *paving block*. Nilai ini menunjukkan kepadatan serta mutu mineral pasir yang berpengaruh terhadap kekuatan dan ketahanan beton. Berdasarkan SNI 1969:2008, pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui nilai kering, jenuh permukaan kering (*SSD*), dan semu, yang diperlukan agar perhitungan campuran beton lebih tepat dan efisien.

Prosedur pengujian dilakukan dengan mengeringkan sampel pasir, kemudian merendamnya selama 24 jam hingga mencapai kondisi *SSD*. Selanjutnya, pasir ditimbang dalam kondisi kering oven, *SSD*, dan terendam air, lalu hasilnya dihitung sesuai rumus dalam SNI. Umumnya, berat jenis pasir untuk beton berada pada kisaran 2,5–2,7. Jika nilainya terlalu rendah, hal ini dapat menandakan adanya kotoran organik, porositas tinggi, atau material ringan yang dapat menurunkan kualitas dan daya tahan *paving block*.

2.4 Air

Air memiliki peran yang sangat penting dalam proses pembuatan *paving block*, terutama sebagai bahan pengikat yang memicu terjadinya reaksi hidrasi pada semen. Reaksi hidrasi inilah yang menghasilkan ikatan kuat antara semen dan agregat sehingga terbentuk material yang padat dan keras. Kualitas air yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kekuatan, daya tahan, dan sifat fisik *paving block*. Menurut SNI 03-0691-1996, air yang dipakai dalam pencampuran harus

bersih, bebas dari minyak, lumpur, garam, zat organik, serta bahan kimia berbahaya yang dapat mengganggu proses pengikatan dan pengerasan semen.

Dalam pembuatan *paving block*, air berfungsi tidak hanya sebagai pencampur, tetapi juga sebagai media untuk mengatur tingkat *workability* adukan. Perbandingan jumlah air dengan semen yang sering disebut sebagai *water-cement ratio* (w/c ratio) sangat menentukan mutu *paving block*. Jika air yang digunakan terlalu banyak, *paving block* akan memiliki pori-pori yang lebih besar, daya serap air meningkat, serta kekuatan tekan menurun. Sebaliknya, jika air terlalu sedikit, adukan akan sulit dikerjakan, tidak homogen, dan berisiko menyebabkan *paving block* retak saat proses pencetakan maupun setelah pengerasan (Mulyono, 2007).

Selain itu, air juga berperan penting dalam proses perawatan (*curing*) *paving block*. Setelah dicetak, *paving block* perlu direndam atau disiram air secara teratur agar hidrasi semen berlangsung sempurna dan mencegah kehilangan kelembaban secara cepat. Proses *curing* yang baik akan meningkatkan kuat tekan, mengurangi retak susut, serta memperpanjang umur layan *paving block* (Neville & Brooks, 2010).

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa air berfungsi ganda dalam pembuatan *paving block*, yaitu sebagai bahan pencampur untuk memicu reaksi kimia semen dan sebagai bahan perawatan untuk menjamin mutu akhir produk. Pemilihan kualitas air yang tepat serta pengendalian jumlah penggunaannya menjadi faktor kunci dalam menghasilkan *paving block* yang kuat, awet, dan sesuai standar mutu.

2.5 Pengujian Serbuk Kopi Sebagai Substitusi Semen

Pengujian serbuk kopi sebagai substitusi semen dilakukan untuk mengetahui mutu dan kesesuaian ampas kopi dengan standar teknis. Pengujian serbuk kopi yang akan dilakukan, yaitu uji kadar air, ukuran partikel dan uji waktu ikat.

a. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan air yang terdapat pada serbuk kopi (ampas kopi yang telah dikeringkan)

sebelum digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan *paving block*.

Informasi kadar air sangat penting karena memengaruhi karakteristik campuran, seperti:

- Keleccakan (*workability*) adukan semen, pasir, dan serbuk kopi.
- Proses hidrasi semen, yang dapat terganggu jika bahan tambahan mengandung kelembapan berlebih.
- Kekuatan dan daya ikat material pada produk akhir.

Apabila kadar air terlalu tinggi, campuran akan mengandung air berlebih, menyebabkan:

- Penurunan kuat tekan karena adukan menjadi terlalu encer.
- Terbentuknya pori-pori berlebih, sehingga *paving block* mudah menyerap air dan kurang padat.

$$\text{Kadar air}(\%) = \frac{W_b - W_k}{W_b} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan:

W_b = Berat basah serbuk kopi sebelum dikeringkan (gram)

W_k = Berat kering setelah pengeringan (gram)

b. Uji Ukuran Partikel

Uji ukuran partikel penting dilakukan untuk memastikan serbuk kopi memiliki karakteristik yang sesuai sebagai pengganti sebagian semen. Dengan mengetahui gradasinya, peneliti dapat menyesuaikan komposisi campuran agar *paving block* yang dihasilkan memiliki kuat tekan, porositas, dan daya serap air yang optimal. Pengujian dilakukan dengan analisis saringan (*sieve analysis*) untuk menentukan persentase berat serbuk kopi yang tertahan atau lolos pada berbagai ukuran saringan.

- Persentase berat tertahan

$$\%Tertahan = \frac{W_t}{W_s} \times 100\% \quad (2.2)$$

- Persentase kumulatif lolos

$$\%Lolos\ Kumulatif = 100\% - \sum(\%Tertahan) \quad (2.3)$$

- Modulus kehalusan (FM)

$$FM = \frac{\text{Jumlah kumulatif \% tertahan}}{100} \quad (2.4)$$

Keterangan :

Wt = Berat serbuk kopi yang tertahan pada saringan tertentu (gram)

Ws = Berat total sampel (gram)

c. Uji Waktu Ikat

Uji waktu ikat bertujuan mengukur kapan campuran mulai kehilangan plastisitas (setting awal) dan kapan sudah cukup mengeras sehingga jarum pengukur tidak lagi meninggalkan bekas (setting akhir). Untuk campuran yang mengandung ampas kopi, uji ini menilai pengaruh bahan organik terhadap laju hidrasi semen — apakah ampas kopi memperlambat atau mempercepat proses pengikatan. Pengukuran dilakukan pada kondisi konsistensi normal (jumlah air ditentukan sehingga penetrasi jarum Vicat mencapai ambang standar), dan dibaca menggunakan alat Vicat pada interval waktu sampai tercapai waktu ikat awal dan akhir. Hasil dibandingkan dengan kontrol (tanpa ampas) untuk melihat perubahan akibat substitusi.

- Persentase substitusi ampas kopi

$$\%Substitusi = \frac{m_{semen}}{m_{semen_{kontrol}}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

m_{semen} = massa ampas kopi (gram)

$m_{semen_{kontrol}}$ = massa semen pada campuran tanpa substitusi (gram)

- Rasio air terhadap waktu efektif (w/c)

$$\frac{w}{c} = \frac{m_{air}}{m_{semen_{efektif}}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

m_{air} = massa ampas kopi

$m_{semen_{efektif}} = m_{semen_{total}} - m_{semen_{diganti}}$

- Rata – rata waktu ikat

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (2.7)$$

Keterangan:

T = rata – rata waktu ikat

T_i = hasil waktu ikat pada ulangan ke i

- Simpangan baku (standar deviasi)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - T)^2} \quad (2.8)$$

Keterangan:

s = simpangan baku waktu ikat (menit)

- Perubahan relatif waktu ikat terhadap kontrol

$$\Delta\% = \frac{T_{perlakuan} - T_{kontrol}}{T_{kontrol}} \times 100\% \quad (2.9)$$

Keterangan:

$T_{perlakuan}$ = waktu ikat rata – rata campuran dengan substitusi

$T_{kontrol}$ = waktu ikat rata – rata tanpa campuran substitusi

$\Delta\%$ = perubahan waktu ikat relatif terhadap kontrol

- Estimasi waktu ikat dengan interpolasi linier

$$t_{th} = t_1 + \frac{(P_{th} - P_1)}{(P_2 - P_1)} (t_2 - t_1) \quad (2.10)$$

Keterangan:

t_1, t_2 = waktu pengukuran sebelum dan sesudah penetrasi melewati batas

P_1, P_2 = nilai penetrasi pada waktu t_1 dan t_2

P_{th} = batas penetrasi standar (mm)

t_{th} = waktu ikat hasil interpolasi

- Laju perubahan waktu ikat terhadap substitusi

$$Laju = \frac{T_{perlakuan} - T_{kontrol}}{\%substitusi} \quad (2.11)$$

Keterangan:

Menunjukkan perubahan waktu ikat per 1% substitusi ampas kopi

2.6 Pengujian *Paving Block*

Pengujian *paving block* dilakukan untuk memastikan mutu dan kesesuaiannya dengan standar teknis. Menurut SNI 03-0691-1996, ada beberapa jenis pengujian utama yang dilakukan, yaitu uji kuat tekan, uji daya serap air.

a. Pengujian Kuat Tekan :

Pengujian kuat tekan merupakan salah satu parameter penting untuk menilai mutu *paving block*, karena kekuatan tekan mencerminkan kemampuan material dalam menahan beban lalu lintas maupun tekanan dari lingkungan sekitarnya. Menurut SNI 03-0691-1996 tentang *paving block* beton, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana *paving block* mampu menerima beban tekan hingga mencapai kondisi keruntuhan.

Prosedur pengujian dilakukan dengan menyiapkan sampel *paving block* yang berbentuk segi empat atau sesuai cetakan standar. Sampel kemudian ditempatkan pada mesin uji tekan (*compression testing machine*) dengan posisi permukaan rata di bagian atas dan bawah agar beban terdistribusi secara merata. Selanjutnya, mesin diberi pembebanan secara bertahap dengan kecepatan konstan, biasanya dalam rentang 1–2 menit, hingga benda uji mengalami keretakan atau pecah.

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L} \quad (2.12)$$

Keterangan:

P = Tekanan yang diterima sampel

L = Luas permukaan benda uji yang diberi beban

b. Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air merupakan salah satu indikator penting dalam menilai mutu paving block, karena berhubungan langsung dengan tingkat porositas serta ketahanan material terhadap pelapukan akibat perubahan iklim maupun kelembapan. Berdasarkan berbagai literatur dan penelitian, semakin rendah nilai penyerapan air menunjukkan beton yang lebih padat dengan jumlah rongga udara yang minimal pada struktur *paving block*. Kondisi ini memberikan dampak positif terhadap daya tahan serta umur layan material di lapangan. Menurut SNI 03-0691-1996 tentang *paving block* beton, batas maksimum penyerapan air yang diizinkan adalah sebesar 6% dari berat kering benda uji. Apabila nilai tersebut melebihi ketentuan, maka *paving block* dikategorikan memiliki porositas tinggi dan rentan terhadap kerusakan jangka panjang, khususnya akibat siklus basah-kering maupun beku-cair.

Perhitungan nilai penyerapan air *paving block* dilakukan dengan menggunakan rumus berikut (SNI 03-0691-1996):

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A - B}{B} \times 100\% \quad (2.13)$$

Keterangan:

A = berat *paving block* dalam kondisi basah

B = berat *paving block* dalam kondisi kering

2.7 Limbah Serbuk Kopi

Secara karakteristik, limbah serbuk kopi memiliki tekstur halus, berwarna gelap, serta kaya akan zat organik dan serat yang membuatnya berpotensi dimanfaatkan kembali (Roychand et al., 2023). Kandungan karbon, *lignoselulosa*, dan porositas

yang cukup tinggi juga menjadi salah satu alasan limbah ini dianggap memiliki nilai tambah apabila diproses lebih lanjut (Firdaus, 2024). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa serbuk kopi dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada berbagai bidang, misalnya sebagai pupuk organik, bahan baku briket energi, media tanam, penyerap bau, hingga material campuran dalam bidang konstruksi (ICO, 2022). Berikut merupakan pemanfaatan limbah serbuk kopi pada pembuatan *paving block* yang memberikan sejumlah manfaat, baik dari sisi teknis, ekonomis, maupun lingkungan:

1. Mengurangi Penggunaan Semen Konvensional

Dengan menambahkan serbuk kopi dalam jumlah tertentu, sebagian semen dapat digantikan tanpa menurunkan kualitas campuran secara signifikan. Hal ini berdampak pada penghematan biaya produksi serta mengurangi konsumsi semen yang proses produksinya menghasilkan emisi karbon tinggi (Mehta & Monteiro, 2014).

2. Mendukung material ramah lingkungan

Limbah serbuk kopi merupakan bahan organik yang jumlahnya melimpah dan sering kali terbuang begitu saja. Pemanfaatannya sebagai campuran *paving block* membantu mengurangi timbunan sampah organik, sehingga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) dan konsep *green material* (Roychand et al., 2023).

3. Meningkatkan sifat fisik tertentu

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk kopi dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan porositas *paving block* sehingga berpotensi memperbaiki kemampuan peresapan air. Hal ini bermanfaat bagi *paving block* yang diaplikasikan pada area resapan, karena dapat membantu mengurangi limpasan air hujan (*run off*) (Firdaus, 2024).

4. Efisiensi biaya produksi

Menggunakan limbah serbuk kopi sebagai bahan tambahan dapat menekan biaya produksi, mengingat material ini mudah diperoleh dan bahkan sering kali tersedia secara gratis dari limbah rumah tangga atau kedai kopi.

5. Inovasi dalam penelitian material konstruksi

Serbuk kopi membuka peluang sebagai bahan alternatif dalam rekayasa material bangunan. Uji coba pemanfaatannya pada *paving block* dapat menjadi dasar pengembangan material inovatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan, sekaligus memperkaya literatur mengenai bahan substitusi dalam campuran beton (Mehta & Monteiro, 2014).



Gambar 2. 1 Limbah Serbuk Kopi

2.8 Silika (SiO_2)

Silika atau silikon dioksida (SiO_2) merupakan salah satu senyawa mineral yang paling banyak terdapat di alam dan menjadi komponen utama dari bahan-bahan bangunan seperti pasir, batuan, maupun abu hasil pembakaran organik serta terdapat dalam serbuk kopi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah serbuk kopi tanpa pembakaran masih mengandung mineral tertentu, salah satunya silika (SiO_2), meskipun dalam kadar yang lebih rendah dibandingkan material pozzolan maupun semen Portland (Mussatto et al., 2011). Kandungan silika tersebut berasal dari unsur mineral alami pada biji kopi yang masih tersisa setelah proses penyeduhan (Roychand et al., 2023). Keberadaan silika pada limbah serbuk kopi berpotensi memberikan kontribusi terhadap pembentukan ikatan pada campuran semen sehingga material ini mulai dikaji sebagai bahan substitusi parsial pada pembuatan beton dan paving block (Roychand et al., 2023). Zat ini memiliki sifat fisik yang keras, stabil, dan tahan terhadap reaksi kimia, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi konstruksi, termasuk pembuatan beton dan *paving block* (Rahmawati, 020).

Kandungan silika dalam bahan-bahan tersebut dapat memberikan efek positif terhadap sifat mekanik beton, terutama dalam meningkatkan kekuatan tekan dan ketahanan terhadap penyerapan air (Ismail, 2019). Selain itu, silika juga berperan sebagai pengisi (*filler*) alami yang dapat meningkatkan kepadatan material. Partikel silika yang berukuran sangat halus mampu menutup rongga udara di antara butiran agregat, sehingga menghasilkan permukaan *paving block* yang lebih rapat dan tahan terhadap beban.

2.9 Research Gap

Tabel 2. 1 *Research Gap*

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari	Saran/ Kekurangan
1.	Hartini	2021	Uji Kuat Tekan Beton Dengan Pemanfaatan Abu Ampas Kopi Sebagai Substitusi Parsial Semen	Tujuan: Menilai pengaruh abu ampas kopi terhadap kuat tekan beton. Metode: Eksperimen pada beton silinder dengan variasi abu 0–7,5% dan uji kuat tekan umur 3, 7, dan 28 hari. Hasil: Abu ampas kopi meningkatkan kuat tekan, dengan hasil tertinggi pada substitusi 2,5%.	Pengujian hanya berfokus pada kuat tekan, tanpa menilai sifat fisik lain seperti daya serap air, porositas, atau ketahanan terhadap retak.
2.	Abdul Aziz	2022	Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Dalam Pembuatan <i>Paving Block</i>	Tujuan: Menganalisis pengaruh limbah plastik sebagai bahan tambahan terhadap kuat tekan <i>paving block</i> dan kesesuaiannya dengan SNI 03-0691-1996. Metode: Penelitian eksperimental menggunakan limbah plastik, semen, pasir, dan	Penelitian hanya menitikberatkan pada uji kuat tekan tanpa menambahkan pengujian lain seperti penyerapan air, ketahanan aus, dan daya tahan jangka panjang. Selain itu proses

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari	Saran/ Kekurangan
				<p>air. Plastik dilelehkan, dicampur, dicetak menjadi <i>paving block</i>, dirawat, lalu diuji kuat tekannya.</p> <p>Hasil: Limbah plastik memberi pengaruh bervariasi terhadap kuat tekan. Beberapa campuran memenuhi mutu SNI kategori D untuk area ringan, namun sebagian lainnya mengalami penurunan kuat tekan.</p>	<p>pencampuran dan pencetakan masih manual sehingga kualitas hasil belum sepenuhnya seragam.</p>
3.	Sari Utama Dewi,M. Enriko Tosulpa, Farendra Subekti.	2023	Limbah Kulit Kelapa Sebagai Campuran Material <i>Paving Block</i> (Ditinjau Dari Kuat Tekan dan Kadar Air)	<p>Tujuan: Menganalisis pengaruh penambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan dan kadar air paving block serta kesesuaiannya dengan SNI 03-0691-1996.</p> <p>Metode: Penelitian eksperimen menggunakan <i>paving block</i> heksagonal dengan variasi serat 0%, 1,5%, dan 2,5% (12 sampel). Pengujian kuat tekan umur 7 hari dan kadar air.</p> <p>Hasil: Penambahan serat sabut kelapa menurunkan kuat tekan, namun masih layak untuk beban ringan. Kadar air rata-rata sebesar 6,78%.</p>	<p>Penelitian hanya meninjau dua parameter, yaitu kuat tekan dan kadar air, tanpa menilai aspek lain seperti daya serap air, ketahanan aus, maupun durabilitas jangka panjang.</p>

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari	Saran/ Kekurangan
4.	Rulian Setyo Anggoro, Mohamad Prasanto Bimantio, Erista Adisetya	2023	Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Campuran pada Pembuatan Paving Block	<p>Tujuan: Menganalisis pengaruh abu cangkang kelapa sawit terhadap kuat tekan, kuat lentur, densitas, dan daya serap <i>paving block</i> serta menentukan campuran terbaik.</p> <p>Metode: Penelitian eksperimen menggunakan semen, pasir, air, dan abu cangkang sawit dengan pengujian kuat tekan, lentur, densitas, dan penyerapan air.</p> <p>Hasil: <i>Paving block</i> dengan abu cangkang sawit mudah retak dan belum memenuhi mutu SNI.</p>	Nilai kuat tekan dan kuat lentur masih rendah, jauh dari standar mutu <i>paving block</i> .
5.	Mukhlis Iwan Mustaqim1 Juli Marliansyah2 Alfi Rahmi2	2016	Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Paving Block	<p>Tujuan: Menilai pengaruh abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan dan daya serap <i>paving block</i> sesuai SNI 03-0691-1996.</p> <p>Metode: Eksperimen dengan variasi abu 0–10% dan pengujian kuat tekan umur 28 hari serta daya serap air.</p> <p>Hasil: Penambahan abu tempurung kelapa hingga 5% meningkatkan kualitas <i>paving block</i>.</p>	Pada kadar abu tinggi, kualitas menurun signifikan sehingga tidak dapat diaplikasikan pada area beban berat.
6.	Arqowi Pribadi,	2025	Uji Kuat Tekan Beton	Tujuan: Menilai pengaruh ampas kopi terhadap kuat	Pengujian hanya berfokus pada kuat

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari	Saran/ Kekurangan
	Mega Ayundya Widiastuti		Dengan Penambahan Limbah Ampas Kopi Sebagai Substitusi Parsial Semen	tekan beton. Metode: Eksperimen beton silinder dengan variasi ampas kopi 0–7,5% dan uji tekan umur 28 hari. Hasil: Ampas kopi menurunkan kuat tekan; 2,5% masih layak untuk beton non-struktural	tekan, tanpa menilai sifat fisik lain seperti daya serap air, porositas, atau ketahanan terhadap retak.

Berdasarkan penelitian dari studi-studi sebelumnya, penulis mengembangkan ide penelitian berjudul “Pengaruh Variasi Substitusi Limbah Serbuk Kopi terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air *Paving Block*”. Mengacu pada hasil penelitian Hartini (2021), diketahui bahwa setelah pengujian pada umur beton 28 hari, nilai rata-rata kuat tekan menunjukkan variasi yang berbeda.