

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* (batu bata beton) terbuat dari campuran semen atau pengikat hidrolik serupa, air, dan agregat. Bahan lain dapat ditambahkan selama tidak mengurangi kualitas beton. Standar tersebut juga mengelompokkan *paving block* ke dalam beberapa mutu berdasarkan fungsi penggunaannya, yaitu:

1. Bata beton mutu A: digunakan untuk jalan.
2. Bata beton mutu B: digunakan untuk pelataran parkir.
3. Bata beton mutu C: digunakan untuk pejalan kaki.
4. Bata beton mutu D: digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

2.1.2 Standar Mutu *Paving Block*

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 mensyaratkan *paving block* harus memenuhi standar pengujian untuk sifat fisik, dimensi dan bentuk, serta karakteristik visual.

1. Sifat Tampak

Sifat tampak menunjukkan kondisi visual produk, yang meliputi kerataan permukaan, keberadaan retak atau cacat, serta kekuatan sudut dan rusuk. Secara visual, permukaan harus rata dan bebas dari kerusakan, sementara sudut dan rusuk harus kokoh serta tidak mudah rusak hanya dengan tekanan tangan.

2. Ukuran

Ketebalan nominal benda uji perkerasan beton ditetapkan minimal 6 cm dengan toleransi maksimum sebesar $\pm 8\%$. Toleransi ini memberikan kelonggaran terhadap variasi ukuran yang terjadi selama proses produksi, tanpa mengurangi kemampuan dalam menahan beban serta mempertahankan mutu dan daya tahannya. Nilai ketebalan akhir diperoleh dari hasil pengukuran yang kemudian dirata-ratakan.

3. Sifat Fisik

Sifat fisik *paving block* mencakup beberapa parameter yang menentukan ketahanan dan kualitasnya dalam penggunaan jangka panjang. Beberapa aspek penting dalam sifat fisik *paving block* dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisik dan Mekanik *Paving block* (SNI 03-0691-1996)

Mutu	Kuat tekan (MPa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks. (%)
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	
A	40	30	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

4. Ketahanan natrium sulfat

Pengujian dilakukan dengan cara direndam dalam larutan natrium sulfat sesuai siklus yang telah ditentukan. Setelah pengujian, bata tidak boleh mengalami retak, pecah, atau perubahan bentuk yang berarti, dan kehilangan beratnya tidak boleh lebih dari 1% dari berat awal.

2.1.3 Material Penyusun *Paving Block*

Bahan menyusun pada bata beton adalah semen, air, dan pasir dalam rasio tertentu, adapun dalam tujuan tertentu penyusunan *paving block* dapat ditambahkan bahan campuran.

2.1.3.1 Semen *Portland* Komposit (PCC)

Berdasarkan SNI 15-7064-2004, Semen PCC adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker semen *Portland* dan gipsum bersama satu atau lebih bahan anorganik. Bahan yang digunakan dalam PCC dapat berupa terak tanur tinggi (*slag*), pozzolan, abu terbang (*fly ash*), batu kapur, maupun material mineral lain dengan proporsi tertentu. Kandungan bahan tambahan mineral dalam PCC berkisar antara 6% sampai 35% terhadap massa semen.

Dibandingkan dengan Semen *Portland* (PC), semen PCC memiliki kandungan klinker yang lebih rendah akibat adanya bahan tambahan mineral. Berdasarkan ketentuan SNI, komposisi tersebut menyebabkan semen PCC menghasilkan panas yang lebih sedikit saat mengeras, sehingga bisa mengurangi

risiko retak karena panas. Selain itu, keberadaan bahan tambahan mineral dapat meningkatkan kerapatan pasta semen, yang berpengaruh terhadap ketahanan dan keawetan produk beton.

Semen PCC dapat digunakan untuk berbagai pekerjaan konstruksi, termasuk pekerjaan beton struktural dan non-struktural, mortar, beton pracetak, serta produk beton seperti batako dan *paving block*. Penggunaan semen PCC dalam penelitian ini telah sesuai dengan ketentuan standar nasional yang berlaku.

Berikut perbedaan karakteristik antara Semen *Portland* dan Semen PCC berdasarkan standar yang berlaku pada tabel

Tabel 2.2 Perbedaan Karakteristik Semen PC dan PCC

Aspek	Semen <i>Portland</i>	Semen PCC
Standar Acuan	SNI 15-2049-2004	SNI 15-7064-2004
Komposisi	Klinker + gips	Klinker + gips + bahan mineral (6–35%)
Panas Hidrasi	Relatif lebih tinggi	Relatif lebih rendah
Kuat Tekan Awal	Lebih cepat	Lebih lambat
Kuat Tekan Akhir	Tinggi	Setara
Ketahanan/Durabilitas	Cukup	Lebih baik
Kesesuaian untuk <i>Paving block</i>	Dapat digunakan	Lebih sesuai

2.1.3.2 Agregat Halus

Menurut SNI 03-2847-2002, agregat halus adalah pasir alami dari pelupukan batuan atau pecahan batu dengan ukuran butir sampai 5,0 mm. Dalam beton, agregat halus mengisi celah di antara agregat kasar dan membantu memperkuat serta merekatkan struktur. Agar tahan lama, agregat halus sebaiknya terdiri dari butiran yang tajam, keras, dan tidak mudah lapuk karena cuaca. Ketahanan agregat halus diuji dengan larutan jenuh garam. Jika menggunakan natrium sulfat, bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 10% dari berat total.

Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering. Jika kadar lumpur melebihi batas ini, pasir harus dicuci sebelum digunakan. Persyaratan ini memastikan mutu dan kekuatan beton tetap terjaga. Berdasarkan SNI 03-2461-1991, agregat halus harus memiliki modulus kehalusan

antara 1,5 sampai 3,8. Nilai ini menunjukkan tingkat kehalusan dan distribusi ukuran butir.

2.1.3.3 Air

Dalam pembuatan *paving block*, air digunakan sebagai salah satu komponen, yang berfungsi sebagai media terjadinya reaksi hidrasi pada semen serta mendukung proses pengerasan beton (Muhammad & Kusdian, 2021). Kualitas air yang digunakan harus memenuhi standar, misalnya tidak mengandung zat organik berlebihan, tidak terlalu asam atau basa, dan tidak memiliki kadar lumpur tinggi (SNI 03-2834-2000).

2.1.4 Pengujian Bahan Material

Sebelum bahan-bahan digunakan dalam pengolahan bahan menjadi *paving block*, dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui karakteristik fisik material seperti kadar air, gradasi, berat jenis, dan kehalusan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan memenuhi syarat mutu dan tidak mengganggu kualitas *paving block* yang dihasilkan (Saputra & Handoko, 2021).

1. Berat Jenis Semen

Menurut SNI 2531:2015, berat jenis atau *specific gravity* semen merupakan rasio massa jenis semen terhadap air pada suhu tertentu. Pengujian dilakukan dengan botol Le Chatelier, di mana semen dituangkan ke botol yang berisi cairan seperti nafta atau kerosin, dan selisih volume dicatat untuk menghitung densitasnya. Nilai berat jenis penting diketahui karena digunakan dalam perhitungan campuran beton, khususnya dalam menentukan volume semen yang dibutuhkan dan pengendalian mutu material (Badan Standardisasi Nasional, 2015).

2. Konsistensi Normal dan Waktu Ikat Semen

Konsistensi normal semen menunjukkan banyaknya air yang dibutuhkan agar pasta semen mencapai tingkat kekentalan tertentu. Sesuai SNI 15-2049-2004, pengujian konsistensi normal menggunakan alat Vicat. Kondisi konsistensi normal dinyatakan tercapai apabila jarum Vicat mampu menembus pasta semen hingga sekitar (10 ± 1) mm dari dasar permukaan, dengan batas waktu 30 detik setelah dilepas. Penentuan konsistensi penting untuk mengetahui kadar air yang tepat pada saat pencampuran, karena

sangat berpengaruh terhadap kemudahan penggerjaan (*workability*) dan hasil akhir beton.

SNI 15-2049:2004 juga mengatur pengujian waktu ikat semen. Waktu ikat awal adalah selang waktu sejak pencampuran air dan semen hingga saat jarum Vicat hanya menembus sedalam 25 mm ke dalam pasta semen. Sedangkan waktu ikat akhir adalah saat jarum tidak lagi meninggalkan bekas di permukaan pasta. Pengujian ini juga dilakukan dengan alat Vicat, menggunakan pasta pada konsistensi normal. Waktu ikat sangat penting karena menentukan durasi penggerjaan beton di lapangan dan waktu awal pengembangan kekuatan. Parameter ini membantu memastikan mutu dan ketepatan waktu pelaksanaan konstruksi.

3. Kadar Air Agregat Halus

Kadar air agregat merupakan perbandingan jumlah air dalam agregat dengan berat agregat kering, yang dinyatakan dalam persentase sesuai SNI 1971-2011. Menurut metode pengujian kadar air agregat, kadar air agregat dibagi menjadi empat kategori.

- a) Kadar air kering tungku adalah kondisi di mana agregat tidak mengandung air.
- b) Kadar air kering udara adalah kondisi agregat yang permukaannya terlihat kering, tetapi masih ada sedikit air di dalam pori-porinya sehingga agregat masih bisa menyerap air.
- c) Kondisi jenuh kering permukaan (JKP) adalah saat agregat tidak ada air di permukaannya, tetapi bagian dalamnya agregat masih memiliki kemampuan menyerap air dari adukan beton.
- d) Kondisi basah adalah keadaan agregat dengan kandungan air yang relatif tinggi, sehingga dapat meningkatkan kadar air dalam adukan beton

4. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berat jenis adalah perbandingan berat suatu material dengan berat air pada volume yang sama. Nilai ini tidak memiliki satuan dan diperoleh melalui pengujian berat jenis serta daya serap air agregat halus sesuai SNI 1970-2016. Penyerapan air dihitung dari jumlah air yang bisa diserap

agregat pada kondisi jenuh kering permukaan. Kondisi ini menunjukkan tingkat kelembapan agregat yang hampir sama dengan campuran beton, sehingga tidak mempengaruhi jumlah air dalam adukan. Biasanya, agregat dengan berat jenis lebih tinggi memiliki daya serap air yang lebih rendah. Nilai berat jenis agregat bisa dinyatakan dalam beberapa bentuk, yaitu:

- a) Berat jenis curah kering merupakan rasio antara berat agregat dan volumenya. Perhitungan ini sudah memasukkan rongga di dalam butiran, tetapi tidak menghitung rongga di antara butiran.
- b) Berat jenis curah jenuh kering permukaan merupakan rasio antara berat agregat dan volume totalnya, termasuk air dalam rongga butiran
- c) Berat jenis semu (*apparent*) adalah rasio berat agregat terhadap volume butiran padat, tidak termasuk rongga terbuka.

5. Pemeriksaan Kandungan Zat Organik pada Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak bahan organik yang ada di pasir halus. Jika kandungan zat organik melebihi batas yang ditentukan, mutu beton yang dihasilkan bisa menurun. Sesuai ketentuan yang berlaku, kadar bahan organik dalam agregat halus harus berada di bawah batas yang diizinkan, yang ditentukan melalui uji warna menggunakan larutan NaOH 3% (*Abrams-Harder*). Bila agregat halus tidak memenuhi syarat tersebut, penggunaannya diperbolehkan asalkan beton yang dihasilkan dengan agregat tersebut mampu mencapai paling sedikit 95% kekuatan beton yang dihasilkan menggunakan agregat standar pada umur 28 hari (SNI 1971:2017).

6. Pemeriksaan Kandungan Lumpur

Pengujian ini bertujuan mengukur kadar lumpur dan silt pada agregat halus seperti pasir, lalu hasilnya dinyatakan dalam persentase. Lumpur adalah material mirip tanah dengan butiran lebih kecil dari 0,075 mm yang sering tercampur dalam pasir dan kerikil. Jumlah lumpur yang berlebihan dalam pasir dapat mengurangi kekuatan beton. Lumpur dalam pasir umumnya berasal dari endapan sungai. Pengaruh lumpur terhadap beton segar adalah menghambat proses hidrasi semen. Untuk beton yang

sedang dalam masa perawatan, lumpur juga dapat membentuk lapisan yang menghambat ikatan semen pada agregat. Berdasarkan SNI S-04-1989-F, jumlah lumpur paling banyak yang boleh ada dalam pasir adalah 5% dari berat pasir itu sendiri.

7. Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-1968-1990, analisis saringan agregat halus bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butir agregat melalui pengukuran persentase butir yang tertahan pada serangkaian saringan. Hasil pengujian tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik gradasi ukuran butir. Salah satu parameter yang digunakan dalam analisis ini adalah Modulus Halus Butir, yaitu nilai yang menunjukkan tingkat kehalusan agregat, yang diperoleh dari perhitungan persentase agregat tertahan pada saringan tertentu dan dinyatakan dalam satu nilai. Semakin besar nilai Modulus Halus Butir, menunjukkan bahwa agregat memiliki tingkat kekasaran yang lebih tinggi.

Sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SK SNI S-04-1989-F, agregat kasar idealnya memiliki Modulus Halus Butir dalam rentang 6,0 hingga 7,1 untuk mencapai distribusi ukuran butir yang memenuhi persyaratan teknis. Untuk agregat halus, nilai Modulus Halus Butir yang disyaratkan berkisar antara 1,5 hingga 3,8. Rentang nilai ini menunjukkan tingkat kehalusan agregat halus yang sesuai untuk berbagai aplikasi konstruksi, dengan mempertimbangkan standar teknis yang berlaku agar menghasilkan kualitas material yang optimal.

2.1.5 Pengujian *Paving Block*

Berikut pengujian *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996 yang dilakukan pada penelitian ini

1. Pengujian Sifat Tampak dan Ukuran

Pengujian ini menilai kualitas visual dan kesesuaian dimensi. Secara visual, permukaan *paving block* perlu halus dan rata tanpa retakan atau tidak ada kerusakan berarti, serta bagian sudut dan rusuknya kokoh jadi tidak gampang pecah atau terkelupas ketika diberi tekanan. Dimensi seperti

panjang, lebar, dan ketebalan harus sesuai dengan toleransi yang ditetapkan untuk memastikan keseragaman dan kemudahan dalam pemasangan.

A. Sifat Tampak

Pada pengujian ini hasilnya harus memiliki permukaan yang rata, tidak ada retakan, dan sudutnya tidak terkelupas saat ditekan dengan jari. Pemeriksaan ini dilakukan secara visual tanpa alat bantu untuk memastikan tidak adanya kerusakan pada permukaan. Untuk memastikan kesikuhan dan tegak lurus sudutnya, digunakan alat bantu seperti penggaris siku (Badan Standar Nasional, 1996).

B. Ukuran

Paving block memiliki tebal nominal minimal 60 mm, dengan batas penyimpangan tebal $\pm 8\%$. Pengukuran dilakukan menggunakan alat kaliper dengan ketelitian 0,1 mm, pada tiga titik berbeda dari setiap sampel, lalu dihitung nilai rata-ratanya. Pengujian ini dilakukan terhadap 10 buah sampel *paving block* (Badan Standar Nasional, 1996).

2. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar beban tekan yang bisa ditahan oleh *paving block* setelah proses pengerasan. Nilai kuat tekan ini menjadi tolok ukur utama mutu perkerasan *paving block*, khususnya untuk lalu lintas ringan maupun berat

Menurut SNI 03-0691-1996 bagian 7.3, pengujian dilakukan dengan memotong 10 contoh *paving block* menjadi bentuk kubus (dimensi rusuk disesuaikan dengan ukuran *paving block*). Setiap contoh kemudian ditekan hingga hancur menggunakan mesin uji tekan dengan kecepatan pembebanan antara 1–2 menit. Beban maksimum saat pecah dicatat dan digunakan untuk menghitung nilai kuat tekan masing-masing benda uji. Standar ini ditetapkan guna agar *paving block* yang diproduksi cukup kuat dan sesuai dengan kelas penggunaannya.

3. Pengujian Serap Air

Pengujian pada serap air merupakan seberapa baik *paving block* dapat menyerap air ke dalam pori-porinya. Pengujian ini bertujuan untuk menilai porositas dan tingkat kerapatan material, yang berkaitan langsung dengan

ketahanan terhadap pelapukan akibat air, embun beku, serta reaksi kimia lain di lingkungan.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa persen air yang diserap oleh *paving block*. Prosesnya dimulai dengan menimbang berat awal *paving block*, lalu merendam selama 24 jam di dalam air. Setelah itu, dikeringkan di oven pada suhu sekitar 105°C selama 24 jam sampai beratnya stabil.

4. Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ketahanan aus pada *paving block* bertujuan untuk mengukur sejauh mana material *paving block* dapat menahan aus akibat penggunaan, seperti lalu lintas kendaraan dan faktor lingkungan lainnya, seperti cuaca dan kelembapan. Seiring bertambahnya umur *paving block*, nilai aus cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekuatan *paving block* yang sebanding dengan bertambahnya umur hingga mencapai umur karakteristik yang direncanakan. Semakin kuatnya *paving block* menandakan bahwa *paving block* tersebut semakin padat, sehingga mampu mempertahankan bentuknya dengan lebih baik (Wadji, 2023).

5. Pengujian Ketahanan Natrium Sulfat

Pengujian ketahanan natrium sulfat merupakan pengujian yang dilakukan untuk menilai daya tahan *paving block* terhadap pengaruh larutan natrium sulfat dengan mengamati kondisi fisik dan persentase kehilangan berat setelah proses perendaman dan pengeringan berulang. *Paving block* yang memenuhi persyaratan standar ditandai dengan tidak adanya kerusakan seperti retak atau kerapuhan pada permukaan serta memiliki kehilangan berat maksimum sebesar 1% dari berat awal.

2.1.6 Kelebihan dan Kekurangan *Paving Block*

Berikut ini adalah beberapa kelebihan dan kekurangan pada *paving block*

1. Kelebihan yang dimiliki dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a. Daya Tahan dan Kekuatan Mekanik pada *paving block* tahan terhadap beban berat dan cuaca ekstrem.
- b. Kemudahan Perawatan karena hanya bagian yang rusak yang perlu diganti, sehingga lebih hemat biaya.

- c. Ramah Lingkungan karena dapat dibuat dari bahan daur ulang dan memiliki nilai estetika yang tinggi.
2. Adapun kekurangannya antara lain sebagai berikut
- a. Biaya Produksi yang Tinggi karena *paving block* lebih mahal dalam hal produksi dan pemasangan dibandingkan dengan aspal.
 - b. Rentan Terhadap Cuaca Ekstrem karena dapat retak jika terpapar suhu ekstrem.
 - c. Penyerapan Air yang dapat menyebabkan genangan jika tidak dipasang dengan benar.

2.1.7 Kulit Durian

Durian merupakan tanaman tropis dari marga *Durio* yang secara komersial dikenal dengan nama *Durio zibethinus*. Selain jenis tersebut, terdapat pula beberapa varietas lain yang dapat dikonsumsi dan umum dijumpai di kawasan Asia Tenggara, seperti *Durio kutejensis* (lai), *Durio oxleyanus*, *Durio graveolens*, dan *Durio dulcis* (lahong) ((Fuad et al, 2014)).

Secara struktural, buah durian terdiri dari tiga komponen utama, yakni kulit sebesar 60–75%, daging buah 20–30%, dan biji 5–15%. Bagian kulit durian yang mendominasi ini memiliki potensi untuk dijadikan bahan substitusi dalam campuran beton karena kandungan kimianya yang signifikan. Berdasarkan hasil analisis, kulit durian mengandung sekitar 50–60% selulosa, 5% lignin, dan 5% pati (Fuad et al, 2020).

Kandungan selulosa dan lignin yang tinggi memberikan kekuatan ketahanan alami terhadap degradasi, sedangkan rendahnya kadar pati mendukung kestabilan dimensi. Kombinasi ini menjadikan kulit durian sebagai bahan yang cocok digunakan sebagai bahan tambahan pengikat dalam campuran beton, dengan potensi meningkatkan daya tahan dan kekuatan struktur.

2.1.8 Abu Kulit Durian

Kulit durian yang digunakan untuk *paving block* sebagai substitusi semen berasal dari kulit segar yang dikeringkan dan dibakar pada suhu tinggi. Namun, kulit durian yang sudah membusuk juga dapat dimanfaatkan selama dibersihkan dan dikeringkan dengan baik sebelum dikalsinasi, karena proses pembakaran akan

menghilangkan kandungan organik dan menghasilkan abu dengan komposisi serupa.

Abu kulit durian diperoleh melalui proses pembakaran kulit durian hingga suhu sekitar 700°C. Hasil pembakaran ini menghasilkan abu yang mengandung berbagai unsur kimia seperti P_2O_5 , MgO , CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , SO_3 , Na_2O , Al_2O_3 , MnO , dan K_2O (Husna et al., 2024). Komposisi ini menunjukkan kemiripan dengan bahan penyusun semen, terutama karena kandungan silikanya yang tinggi.

Penelitian oleh Anjelia (2024) menunjukkan bahwa kandungan silika (SiO_2) dalam abu kulit durian mencapai 31,486%. Kandungan ini menjadi salah satu alasan utama mengapa abu kulit durian memiliki potensi sebagai substitusi sebagian semen. Silika berperan penting dalam proses hidrasi semen dan dapat meningkatkan kekuatan awal serta ketahanan beton. Berikut kandungan senyawa abu kulit durian hasil pembakaran yang menyerupai penyusun semen pada tabel 2.3 berikut

Tabel 2.3 Kandungan Senyawa Kimia Abu Kulit Durian
(Putri et al. (2024); Daosukho et al. (2012))

Senyawa Kimia	Percentase Komposisi (%)
SiO_2 (Silika)	31,5
CaO (Kalsium Oksida)	14,8
MgO (Magnesium Oksida)	15,79
K_2O (Kalium Oksida)	20,4
P_2O_5 (Fosfor Pentoksida)	8,7
Al_2O_3 (Alumina)	1,25
Fe_2O_3 (Besi Oksida)	1,74
Na_2O (Natrium Oksida)	0,24
MnO (Mangan Oksida)	0,12
NiO (Nikel Oksida)	0,09

2.1.9 Metode Research and Development

Metode *Research and Development* (R&D) adalah jenis pendekatan penelitian yang digunakan untuk menguraikan proses pengembangan, baik secara keseluruhan maupun sebagian, meliputi tahap perencanaan, pengembangan, serta evaluasi dalam aktivitas pembelajaran. Penelitian ini berfokus pada pengembangan prototipe, dengan menitikberatkan pada desain dan evaluasi produk atau program

untuk mendukung pelaksanaannya. Penelitian ini menerapkan model 4D yang mencakup empat tahap, yakni *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*.

1. Tahap *Define* (Pendefinisian)

Penentuan persyaratan pengembangan menjadi tahap pertama dalam proses pengembangan suatu produk. Tahap ini mencakup analisis dan pengumpulan informasi untuk mengetahui sejauh mana pengembangan diperlukan. Pendefinisian ini dapat dilakukan melalui kajian terhadap penelitian sebelumnya dan telaah literatur.

2. Tahap *Design* (Perancangan)

Tahapan ini dilakukan untuk menentukan rancangan produk yang akan dibuat. Pada fase ini, pengembang dapat memilih media yang digunakan, menetapkan format yang sesuai, serta menyusun desain awal produk.

3. Tahap *Develop* (Pengembangan)

Produk yang telah dikembangkan akan dievaluasi oleh para ahli, kemudian diuji coba untuk memastikan kualitasnya sesuai dengan harapan. Jika produk belum memenuhi kriteria yang ditetapkan, maka akan dilakukan revisi hingga mencapai hasil yang sesuai.

4. Tahap *Disseminate* (Penyebaran)

Tahap ini bertujuan untuk memperkenalkan dan menyebarluaskan produk agar dapat dimanfaatkan oleh individu, kelompok, maupun suatu sistem.

2.2 Produk Yang Dikembangkan

Produk pada penelitian ini adalah *paving block* dengan menggunakan limbah abu kulit durian sebagai substitusi sebagian semen. Abu kulit durian digunakan dalam tiga variasi yaitu sebesar 0%, 6%, 8%, dan 10%. Pemilihan limbah kulit durian sebagai bahan substitusi didasarkan pada kandungan utama yang terdapat dalam kulit durian yaitu silika, selulosa, dan lignin. Ketiga komponen tersebut berpotensi meningkatkan ikatan antar partikel pada campuran *paving block*, sekaligus mengurangi pemakaian semen yang merupakan bahan konstruksi beremisi karbon tinggi.

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah *paving block* berbahan dasar abu kulit durian sebagai substitusi sebagian semen. Limbah kulit durian diolah menjadi abu dan dicampurkan ke dalam adukan *paving block* dengan

variasi kadar substitusi sebesar 0%, 6%, 8%, dan 10% dari berat semen. Penggunaan abu kulit durian bertujuan untuk mengurangi penggunaan semen serta memanfaatkan limbah organik yang melimpah di lingkungan.

Paving block yang dikembangkan memiliki ukuran $21\text{ cm} \times 10,5\text{ cm} \times 6\text{ cm}$. Produk ini diuji untuk mengetahui mutu sifat fisik dan mekanik setelah 28 hari sesuai ketentuan dalam SNI 03-0691-1996. Penggunaan variasi kadar abu kulit durian dimaksudkan untuk mengetahui komposisi optimal yang dapat menghasilkan *paving block* dengan mutu minimal kategori B.

2.2.1 Penelitian Sebelumnya

Bagian ini disusun sebagai dasar pendukung penelitian dengan merujuk pada sejumlah kajian terdahulu yang berkaitan dengan material *paving block* serta pemanfaatan abu kulit durian. Ringkasan hasil penelitian tersebut disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.4 Referensi Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Judul	Metode	Hasil
Husna, Apriliawani, Fauziyah, & Hartono (2024)	Pengaruh Abu Limbah Kulit Durian sebagai Bahan Substitusi Semen pada <i>Paving block</i>	Penelitian Eksperimental Variasi abu kulit durian: 0%, 7%, 9%, 11%, 13% (berat semen) <i>paving block</i> $20 \times 10 \times 6\text{ cm}$ Perbandingan campuran 1 semen : 3 pasir Faktor air semen (FAS) 0,4	Penelitian ini menghasilkan <i>paving block</i> dengan ukuran $20 \times 10 \times 6\text{ cm}$ dengan substitusi 9% menghasilkan kuat tekan 22,81 MPa dan daya serap air 5,03%; termasuk mutu B berdasarkan SNI 03-0691-1996. Cocok untuk area parkir dan trotoar. Komposisi 9%: kuat tekan 22,805 MPa & daya serap 5,030%. Termasuk mutu B (SNI 03-0691-1996) Cocok untuk area parkir dan trotoar

Penelitian	Judul	Metode	Hasil
Ramadhani et al. (2023)	Studi Pengaruh Abu Kulit Durian terhadap Permeabilitas dan Daya Serap Air <i>Paving block</i>	Penelitian Eksperimental dengan variasi substitusi abu kulit durian sebesar 5%, 10%, dan 15%	Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu kulit durian meningkatkan daya serap air hingga batas tertentu. Pada kadar 15%, terjadi penurunan signifikan dalam kuat tekan. Substitusi optimal berada di kisaran 9-10% untuk keseimbangan antara kuat tekan dan daya serap air
Sari et al. (2022)	Penggunaan Limbah Kulit Durian sebagai Bahan Pengganti Semen dalam <i>Paving block</i> : Studi Kasus dan Analisis Kekuatan	Variasi substitusi abu kulit durian: 13%, 14%, dan 15%. Abu diperoleh dari pembakaran kulit durian pada suhu 500°C selama 4 jam, kemudian diayak.	Kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari masing-masing adalah 15,60 MPa, 14,80 MPa, dan 13,95 MPa. Semakin tinggi kadar substitusi, kuat tekan menurun. Substitusi tinggi perlu dikaji lebih lanjut agar tidak menurunkan mutu <i>paving block</i>
Fynnisa, Irwansyah & Handayani (2022)	Pemanfaatan Kulit Durian Sebagai Pengganti Sebagian Semen	Variasi abu kulit durian: 3%, 6%, 9%; Beton K-300 (target 24 MPa)	Kuat tekan tertinggi 20,61 MPa pada 6% (belum mencapai target) Menunjukkan efek positif abu durian, perlu kajian komposisi optimal
Fynnisa dkk. (2022)	Pemanfaatan Abu Kulit Durian dalam Kombinasi dengan <i>Fly ash</i> Sawit pada Beton K-300	Kombinasi abu <i>fly ash</i> sawit + abu kulit durian: 3%+9%, 6%+6%, 9%+3%; Beton K-300	Nilai tertinggi 19,39 MPa (pada 3% <i>fly ash</i> + 9% durian) Belum efektif mencapai target 24 MPa

2.2.2 Perbedaan dari Penelitian Sebelumnya

Benda uji pada penelitian ini dibuat dengan perbandingan komposisi bahan 1 semen : 3 pasir serta faktor air semen (FAS) sebesar 0,4. Selain itu, digunakan variasi persentase abu kulit durian sebagai bahan substitusi sebagian semen, yaitu sebesar 0%, 6%, 8%, dan 10%. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, peningkatan kadar abu kulit durian cenderung memengaruhi penurunan nilai kuat tekan apabila penggunaannya melebihi batas optimum. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengamatan pengaruh perbedaan komposisi campuran serta variasi kadar abu kulit durian terhadap karakteristik *paving block*.

