

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini mengkaji pemanfaatan limbah cangkang kerang simping sebagai bahan substitusi dalam campuran beton dengan variasi kadar penggantian sebesar 0%, 4%, 8%, dan 16%. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, diperoleh nilai tertinggi pada beton tanpa substitusi, yakni sebesar 21,97 MPa. Selanjutnya, kuat tekan berturut-turut tercatat sebesar 20,22 MPa untuk substitusi 16%, 16,35 MPa pada 8%, dan 13,04 MPa pada 4%. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan cangkang kerang simping hingga batas tertentu masih mampu mempertahankan, bahkan berpotensi meningkatkan, karakteristik kuat tekan beton, meskipun terjadi penurunan pada kadar penggantian yang lebih rendah, yang diduga dipengaruhi oleh distribusi agregat dan interaksi *matriks* semen yang belum optimal (Kusuma, 2020).

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan utama dalam pembuatan *paving block*, dengan fokus pada evaluasi kuat tekan berdasarkan acuan standar SNI 03-0691-1996. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan *paving block* yang dihasilkan bervariasi antara 4,66 MPa hingga 9,79 MPa, dengan nilai tertinggi diperoleh pada campuran plastik botol mineral, kantong plastik, dan tutup botol dengan rasio 1:1:4. Meskipun hanya memenuhi klasifikasi mutu D sesuai SNI yang diperuntukkan bagi lalu lintas ringan tanpa beban kendaraan *paving block* tersebut tetap layak diaplikasikan sebagai pelapis halaman rumah atau area pejalan kaki, sehingga dapat menjadi alternatif penggunaan limbah plastik yang bernilai guna (Burhanuddin, 2018).

Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan serbuk cangkang kerang sebagai substitusi parsial pasir dalam campuran *paving block*, dengan variasi komposisi sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%, serta perbandingan semen terhadap agregat dijaga pada rasio 1:3. Berdasarkan hasil pengujian, campuran dengan substitusi 10% serbuk cangkang kerang menunjukkan kuat tekan tertinggi mencapai 35,92 MPa, yang termasuk kategori mutu B sesuai SNI 03-0691-1996. Sementara itu, nilai keausan terendah tercatat sebesar 0,045 mm/menit, memenuhi klasifikasi mutu A,

yang mengindikasikan ketahanan optimal terhadap abrasi. Seluruh variasi campuran secara umum memenuhi persyaratan standar SNI baik dari segi kuat tekan maupun keausan, sehingga penggunaan serbuk cangkang kerang dapat dipertimbangkan sebagai alternatif bahan bangunan yang ramah lingkungan untuk produksi *paving block* (Zahroh et al, 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji stabilitas *thermal material composite* berbasis limbah plastik HDPE murni yang diperkuat serat bambu, dengan menggunakan metode *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *composite* HDPE dengan penambahan serat bambu memiliki ketahanan *thermal* paling baik, ditunjukkan oleh penurunan massa sebesar 5% pada suhu 301,01°C dan 10% pada 336,79°C. Temuan ini mengindikasikan bahwa *material composite* tersebut memiliki stabilitas panas yang tinggi, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan pada aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap suhu elevasi (Agung Prasetyo, 2019).

2.2 Jenis- Jenis Material

1. Logam

Logam merupakan unsur kimia yang pada umumnya memiliki sifat mekanik kuat, ulet, dan keras, disertai kemampuan menghantarkan listrik maupun panas (konduktivitas tinggi). Selain itu, logam umumnya memiliki titik leleh relatif tinggi, permukaan yang tampak mengilap (*metallic luster*), mudah ditempa atau dibentuk (*ductile* dan *malleable*), serta pada beberapa jenis dapat bersifat magnetik. Berdasarkan kandungan unsur besinya (Fe), logam dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yakni logam ferro (*ferrous*) yang mengandung besi sebagai komponen dominan, dan logam non-ferro (*non-ferrous*) yang tidak mengandung besi atau hanya dalam kadar sangat kecil (Hidayanti, 2021).

1) Logam *Ferro*

Logam ferro merupakan kelompok logam yang mengandung unsur besi (Fe) sebagai komponen utama. Logam ini umumnya memiliki sifat mekanik yang sangat baik, seperti kuat, keras, dan ulet, sehingga banyak

dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi struktural, khususnya pada bidang konstruksi bangunan.

2) Logam *Non-Ferro*

Logam non-ferro adalah jenis logam yang tidak mengandung besi (Fe), atau hanya mengandungnya dalam kadar yang sangat rendah. Karena sifat mekaniknya yang pada umumnya tidak setinggi logam ferro, logam non-ferro sering digunakan dalam bentuk paduan untuk memperoleh karakteristik teknik yang diinginkan. Berdasarkan massa jenisnya, logam non-ferro dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu :

- a. Merupakan logam non-ferro yang memiliki massa jenis lebih dari 5 kg/dm³. Contoh logam berat antara lain tembaga (Cu), seng (Zn), krom (Cr), dan nikel (Ni).
- b. Kategori ini mencakup logam non-ferro dengan massa jenis kurang dari 5 kg/dm³. Beberapa contohnya adalah aluminium (Al), magnesium (Mg), titanium (Ti), dan berilium (Be), yang banyak digunakan dalam industri transportasi dan kedirgantaraan karena rasio kekuatan terhadap beratnya yang tinggi.
- c. Secara massa jenis termasuk dalam kategori logam berat, namun logam mulia memiliki ketahanan luar biasa terhadap korosi maupun reaksi kimia. Contoh dari logam mulia adalah emas (Au), platina (Pt), dan perak (Ag), yang selain bernilai ekonomis tinggi juga digunakan pada aplikasi teknologi tinggi karena kestabilan kimianya.

2. Keramik

Keramik merupakan material anorganik yang tersusun dari kombinasi unsur logam dan non-logam, umumnya hadir dalam bentuk senyawa oksida, nitrida, maupun karbida (Rahman, Utami, et al., 2021). Material ini dikenal sebagai isolator yang efektif terhadap panas dan listrik, sekaligus memiliki ketahanan sangat baik terhadap suhu tinggi serta lingkungan yang bersifat agresif. Namun demikian, sifat mekanik keramik yang keras disertai dengan kerapuhan (getas)

menjadikannya rentan mengalami retak ketika menerima beban kejut (Putra & Santosa, 2020). Bahan baku utama pembuatan keramik adalah kaolin atau tanah liat putih, yang setelah dicampur air akan melalui tahapan proses homogenisasi, penyaringan, pengendapan, pembentukan, hingga pembakaran pada temperatur tinggi untuk memperoleh struktur akhir yang stabil (Murray, 2002). Di Indonesia, keramik banyak diaplikasikan pada industri kerajinan dan konstruksi, meliputi produk porselen, ubin, kendi, patung, serta beragam benda dekoratif lainnya yang pada umumnya tidak didesain untuk menahan beban mekanik secara kontinu (Soewardi et al., 2018).

3. *Polimer*

Polimer merupakan makromolekul yang memiliki struktur rantai panjang, terbentuk melalui proses *polimerisasi* yang melibatkan penggabungan unit-unit monomer. Monomer ini umumnya mengandung ikatan rangkap atau gugus fungsi reaktif yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia sehingga menghasilkan rantai dengan satuan berulang (*repeating units*) khas *polimer*. Berdasarkan sumber asalnya, *polimer* dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yakni *polimer* alami yang diperoleh langsung dari sumber hayati, dan *polimer* sintetis yang dihasilkan melalui proses kimiawi di industri (Syarif, 2018).

a. *Polimer* alam

Merupakan *polimer* yang terbentuk secara alami di dalam organisme hidup. Contoh *polimer* jenis ini antara lain protein, karbohidrat, asam nukleat (DNA dan RNA), selulosa yang menyusun dinding sel tumbuhan, serta karet alam yang dihasilkan dari getah pohon tertentu.

b. *Polimer* sintetis

Adalah *polimer* yang diperoleh melalui proses sintesis kimia di industri, sehingga sifatnya dapat dirancang sesuai kebutuhan. Beberapa contoh *polimer* sintetis meliputi berbagai jenis plastik (seperti polietilena dan PVC), serat tekstil nilon, serta karet sintetis yang digunakan dalam ban dan produk elastomer lainnya.

4. *Composite*

Composite merupakan material yang dibentuk dari kombinasi dua atau lebih jenis material yang berbeda, di mana masing-masing komponen tidak larut satu sama lain secara sempurna, tetapi justru saling melengkapi sehingga menghasilkan sifat mekanis yang unggul dibandingkan jika material tersebut digunakan secara terpisah. Secara umum, material *composite* tersusun atas dua komponen utama, yakni *matriks* sebagai pengikat yang mendistribusikan beban, dan penguat (*reinforcement*) yang berfungsi meningkatkan kekuatan serta kekakuan struktur *composite* (Rajak et al., 2019).

1) *Matriks*

berfungsi sebagai pengikat, melindungi, dan menyalurkan beban ke penguat.

2) Pengisi (*Filler*)

berfungsi meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan material.

Tujuan utama dari penggunaan material *composite* adalah untuk memperoleh kombinasi sifat mekanik yang unggul, seperti memiliki kekuatan tinggi, bobot yang relatif ringan, serta ketahanan yang baik terhadap korosi. Menurut (Nayiroh, 2013), klasifikasi *composite* dapat dibedakan berdasarkan jenis penguat (*reinforcement*) yang digunakan, antara lain:

a. *Composite Partikel*

Merupakan jenis *composite* yang memanfaatkan partikel atau serbuk sebagai penguat. Umumnya, *composite* ini dirancang untuk meningkatkan kekakuan (*stiffness*) dan ketahanan terhadap keausan pada material.

b. *Composite Fiber*

Pada *composite* ini, penguat utamanya berupa serat yang dapat berasal dari sumber alami maupun sintetis. Serat berfungsi sebagai elemen struktural utama yang menanggung beban, sehingga sangat efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas material.

c. Struktural *composite*

Tersusun dari beberapa lapisan (laminat) atau elemen struktural kompleks lainnya. *Composite* ini biasanya diaplikasikan pada bidang teknik yang memerlukan material dengan kekuatan tinggi sekaligus bobot yang ringan, seperti pada industri pesawat terbang dan otomotif.

2.3 Jenis – Jenis Plastik

Untuk mempermudah proses identifikasi dan pemilahan, plastik yang dapat didaur ulang umumnya diberi kode numerik tertentu sesuai standar internasional. Beberapa jenis plastik yang sering ditemukan dalam sistem daur ulang antara lain: *polyethylene terephthalate* (PET), *high density polyethylene* (HDPE), *low density polyethylene* (LDPE), *polyvinyl chloride* (PVC), *polypropylene* (PP), serta *polystyrene* (PS). Setiap jenis plastik tersebut memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda, sehingga memerlukan penanganan proses daur ulang yang spesifik (Rangkuti, 2024).

1. *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Polyethylene terephthalate (PET) merupakan jenis plastik yang memiliki sifat transparan, kuat, serta tahan terhadap reaksi kimia. Material ini juga memiliki daya serap uap air yang rendah, sehingga cocok untuk kemasan cairan. PET mulai melunak pada suhu sekitar 80°C, namun tidak direkomendasikan untuk menampung air panas karena berpotensi melepaskan senyawa bersifat karsinogenik. Umumnya, PET dirancang untuk penggunaan sekali pakai, seperti pada botol air mineral dan berbagai kemasan minuman lainnya.



Gambar 2.1 Botol air mineral beserta kode kemasan

2. Polypropylene (PP)

Plastik *polypropylene* (PP) adalah plastik transparan berawan yang kuat, ringan, fleksibel, dan tahan terhadap bahan kimia serta lemak. Plastik ini stabil pada suhu tinggi, dengan titik leleh sekitar 165°C dan mulai melunak pada suhu 140°C. Umumnya digunakan untuk kemasan makanan dan botol minum karena daya tembus uapnya rendah dan permukaannya berkilin.



Gambar 2.2 Tempat penyimpanan makanan, botol minuman, ember beserta kode kemasan

3. Polistirena (PS)

Polistirena (PS) merupakan jenis *polimer* aromatik yang dikenal dapat melepaskan monomer stirena ke dalam makanan apabila terpapar panas atau kontak langsung dalam jangka waktu tertentu. Material ini memiliki karakteristik transparan hingga sedikit buram, bersifat kaku dan keras, namun tetap mudah dibentuk melalui proses termoplastik. PS mulai melunak pada suhu sekitar 95°C dan bila dibakar akan menghasilkan nyala api berwarna kuning-jingga. Selain itu, polistirena memiliki kelemahan karena mudah terdegradasi oleh lemak maupun pelarut organik. Berkat kemampuannya untuk dibentuk menjadi struktur ringan, PS banyak digunakan dalam produk seperti styrofoam untuk kemasan makanan, kotak CD, serta karton pelindung telur.



Gambar 2.3 Tempat makan styrofoam, tempat CD, karton tempat telur beserta kode kemasan

4. Polyvinyl Chloride (PVC)

Polyvinyl chloride (PVC) merupakan jenis *polimer* yang disintesis dari monomer vinil klorida. Plastik ini dikenal memiliki kekuatan mekanik yang baik, transparan, serta tahan terhadap berbagai bahan kimia. Namun, PVC tergolong sulit untuk didaur ulang dan dapat melepaskan senyawa berbahaya ketika dibakar. PVC mulai melunak pada suhu sekitar 80°C. Berkat sifat mekanik dan ketahanannya, PVC banyak dimanfaatkan pada beragam produk, seperti botol saus dan kecap, pipa instalasi, plastik pembungkus, hingga komponen material konstruksi.



Gambar 2.4 Botol (kecap,sambal), pipa, plastik pembungkus (cling wrap)

5. Low Density Polyethylene (LDPE)

Low Density Polyethylene (LDPE) merupakan jenis termoplastik berbasis minyak bumi yang memiliki ketahanan kimia cukup baik pada suhu di bawah 60°C, serta efektif dalam menghalangi uap air meskipun bersifat kurang kedap terhadap gas seperti oksigen. LDPE dikenal sebagai material yang kuat namun tetap fleksibel, dengan permukaan berkilau yang membuatnya mudah diproses maupun didaur ulang. Plastik ini mulai melunak pada kisaran suhu 70°C. Berkat kombinasi sifat tersebut, LDPE banyak dimanfaatkan untuk produk-produk seperti wadah makanan dan berbagai kemasan plastik transparan.



Gambar 2.5 Tempat makanan, plastik kemasan (bening), kantong sampah beserta kode kemasan

6. *High Density Polyethylene* (HDPE)

High Density Polyethylene (HDPE) merupakan jenis plastik yang banyak digunakan pada kemasan karena sifatnya yang relatif inert sehingga tidak bereaksi dengan makanan maupun minuman. Material ini dikenal memiliki struktur yang keras dan semifleksibel, tahan terhadap berbagai bahan kimia serta kelembapan, dengan permukaan yang tampak berkilau dan tidak tembus cahaya (buram). HDPE juga mudah diberi pewarna, memiliki ketahanan termal yang baik, dan mulai melunak pada suhu sekitar 75°C. Berkat kombinasi sifat tersebut, HDPE banyak dimanfaatkan untuk memproduksi botol oli, kantong belanja, serta tutup botol.



Gambar 2.6 Botol oli, tutup botol, kantong belanja beserta kode kemasan

2.4 *Penggunaan Composite*

Istilah *composite* berasal dari kata kerja ‘*to compose*’ yang berarti menyusun atau menggabungkan. Secara sederhana, *composite* dapat diartikan sebagai material hasil kombinasi dua atau lebih komponen berbeda yang dirancang untuk memperoleh sifat fisik maupun mekanis tertentu yang lebih unggul dibandingkan material penyusunnya secara individu (Yani & Lubis, 2018). Berdasarkan prinsip dasarnya, material *composite* tersusun atas dua bagian utama, yaitu:

1. *Matriks*

Pada penelitian ini, *matriks* yang digunakan adalah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE). Komponen *matriks* berfungsi sebagai media pengikat yang menyatukan seluruh elemen material, sekaligus berperan

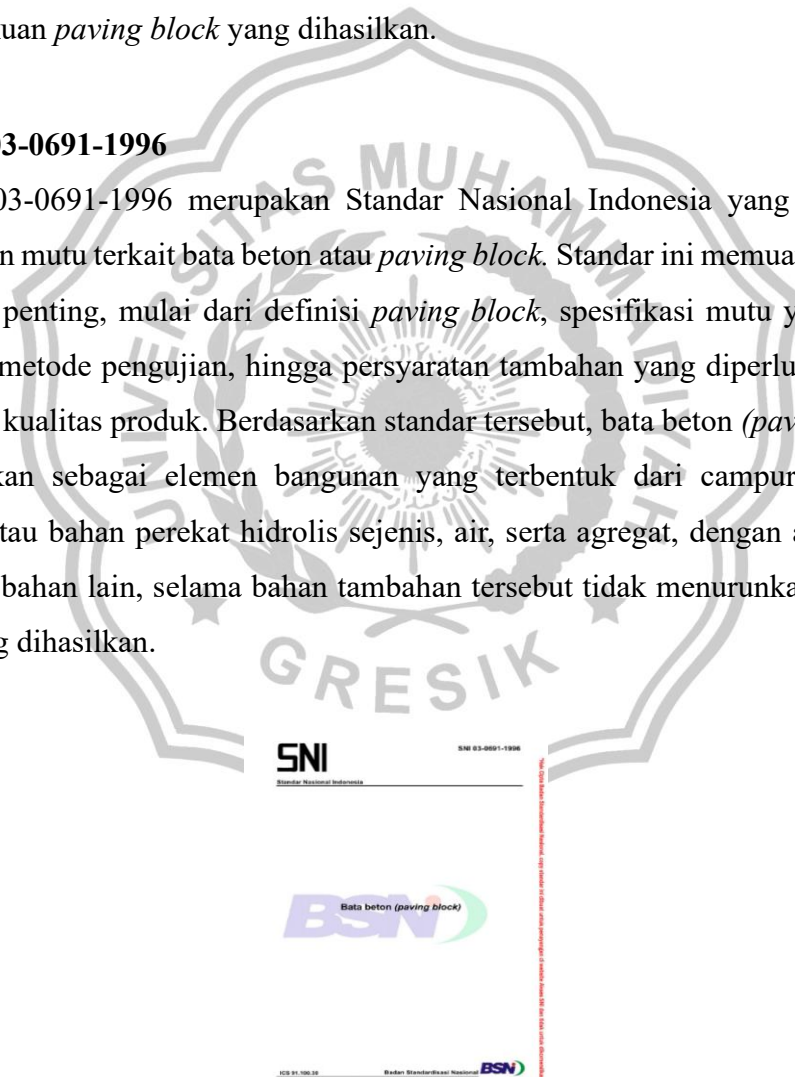
melindungi struktur *paving block* dari pengaruh lingkungan luar seperti kelembapan atau benturan ringan.

2. Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang dimanfaatkan berupa serbuk cangkang kerang simping. *Filler* ini bertindak sebagai unsur penguat dalam sistem *composite*, dengan tujuan utama meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban mekanis, sehingga secara keseluruhan dapat memperbaiki sifat kekuatan dan kekakuan *paving block* yang dihasilkan.

2.5 SNI 03-0691-1996

SNI 03-0691-1996 merupakan Standar Nasional Indonesia yang mengatur persyaratan mutu terkait bata beton atau *paving block*. Standar ini memuat sejumlah ketentuan penting, mulai dari definisi *paving block*, spesifikasi mutu yang harus dipenuhi, metode pengujian, hingga persyaratan tambahan yang diperlukan untuk menjamin kualitas produk. Berdasarkan standar tersebut, bata beton (*paving block*) didefinisikan sebagai elemen bangunan yang terbentuk dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air, serta agregat, dengan atau tanpa tambahan bahan lain, selama bahan tambahan tersebut tidak menurunkan kualitas beton yang dihasilkan.



Gambar 2.7 SNI 03-0691-1996
Bata beton (Paving block)

2.6 Jenis Dan Ukuran *Paving block*

Secara umum, *paving block* memiliki panjang antara 20 hingga 25 cm, dengan ketebalan berkisar antara 10 hingga 12 cm, dan hadir dalam berbagai bentuk serta desain. Berikut ini adalah jenis dan ukuran *paving block* yang telah disimpulkan:

1 *Paving block* Tipe Topi Uskup

Paving block berbentuk topi uskup menawarkan cara inovatif untuk mempercantik tepi dan sisi area lansekap. Desainnya yang khas memiliki bagian atas segitiga dan dasar datar, menyerupai topi. Jenis *paving block* ini sangat cocok digunakan di sepanjang tepi atau sisi area yang dipasang *paving block* lainnya. Dimensi *paving block* ini sekitar 30 x 21 cm (dengan ketebalan antara 6 hingga 10 cm), dan sekitar 25 buah diperlukan per meter persegi.



Gambar 2.8 *Paving block Tipe Topi Uskup*

(Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

2 *Paving block* Tipe Segienam

Jenis *paving block* ini sangat populer di Indonesia dan biasanya dikenal sebagai *paving block* bata hexagonal. Ukurannya 20 x 20 cm dengan ketebalan 6, 8, dan 10 cm. Untuk setiap meter persegi, dibutuhkan 27 buah. Model ini umumnya digunakan untuk area parkir atau taman rumah.



Gambar 2.9 *Paving block Tipe Segienam* (Sumber :

<https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

3 *Paving block* Tipe Batu

Model *paving block* yang paling umum adalah *paving block* batu, yang sering disebut "batu bata" karena bentuknya yang mirip dengan batu bata. *Paving block* ini biasanya digunakan untuk area parkir. Dimensi : 10,5 cm x 21 cm, ketebalan: 6 cm, 8 cm, 10 cm, dengan 44 buah per meter persegi, tersedia dalam warna abu-abu, merah, dan hitam.



Gambar 2.10 *Paving block* Tipe Batu (Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

2.7 Syarat Mutu *Paving block*

1. Sifat Tampak

Bata beton wajib memiliki permukaan yang halus dan rata, bebas dari retak atau cacat lainnya. Selain itu, bagian sudut dan rusuknya tidak boleh mudah hancur hanya dengan tekanan ringan menggunakan jari tangan.

2. Ukuran

Bata beton harus mempunyai ukuran tebal minimal 60 mm dengan toleransi + 8%.

3. Sifat Fisika Bata beton untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisika seperti pada tabel **2.1**.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisika paving block

Mutu	Kuat tekan (Mpa)		Ketahanan aus (mm/menit)		keterangan
	Rata- rata	Minimal	Rata- rata	Minimal	
A	40	35	0,090	0,103	Jalan raya
B	20	17,0	0,130	0,149	Area parkir
C	15	12,5	0,160	0,184	Trotoar/pejalan kaki
D	10	8,5	0,219	0,251	Taman dan keperluan lain

(Sumber : SNI 03-0691-1989)

Keterangan :

a. Mutu A

Paving block kategori mutu A diperuntukkan bagi jalan raya yang menerima beban lalu lintas berat. Jenis ini harus memiliki kuat tekan minimum 35 MPa, dengan nilai rata-rata mencapai 40 MPa.

b. Mutu B

Paving block mutu B digunakan pada area parkir kendaraan. Produk ini diwajibkan memiliki kuat tekan tidak kurang dari 17 MPa, dengan rata-rata kuat tekan sekitar 20 MPa.

c. Mutu C

Paving block mutu C dirancang untuk trotoar maupun jalur pejalan kaki. Standar kuat tekan minimalnya adalah 12,5 MPa, sementara rata-rata kuat tekan yang diharapkan sebesar 15 MPa.

d. Mutu D

Paving block kategori mutu D umumnya diaplikasikan pada taman atau area dengan beban ringan lainnya. Syarat kuat tekan minimum ditetapkan sebesar 8,5 MPa, dengan rata-rata berada pada kisaran 10 MPa.

2.8 Keunggulan *Paving block*

Berikut beberapa keunggulan dari *paving block* :

1. Daya serap air tinggi : celah di antara blok paving membuat air meresap ke dalam tanah. Ini adalah alasan mengapa *paving block* memiliki daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal dan beton.
2. Pemasangan mudah : *paving block* lebih mudah dipasang dibandingkan dengan jenis pengerasan jalan lainnya. Jika ada yang rusak, penggantian dapat dilakukan dengan mudah.
3. Harga lebih murah : *paving block* lebih murah daripada jenis pengerasan jalan lainnya.
4. Perawatan mudah : *paving block* dapat diperbaiki dengan mudah setelah dibongkar.
5. Tahan terhadap cuaca : *paving block* memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap panas dan hujan.
6. Nilai estetika tinggi : *paving block* dapat menambah nilai estetika pada lingkungan sekitar dengan berbagai bentuk, ukuran, warna, dan tekstur.

2.9 Pengujian *Paving block*

2.9.1 Kuat Tekan

Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji mengalami kerusakan ketika diberikan tekanan oleh mesin uji tekan dengan gaya tertentu. Prosedur untuk menguji kuat tekan *paving block* menurut SNI-03-0691-1996 adalah sebagai berikut :

1. Siapkan 4 sampel uji, masing-masing berbentuk kubus, dengan memastikan rusukrusuknya sesuai dengan ukuran alat uji.
2. Sampel uji yang telah disiapkan kemudian ditekan hingga hancur menggunakan mesin penekan dengan kecepatan yang dapat diatur. Kecepatan penekanan, mulai dari pemberian beban hingga sampel uji hancur, diatur agar memakan waktu antara 1 hingga 2 menit. Arah penekanan pada sampel uji disesuaikan dengan arah tekanan beban dalam penggunaan normal.

3. Kuat tekan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

P = Beban tekan (N)

L = Luas bidang tekan (mm²)

kuat tekan rata-rata dari contoh uji dihitung dengan membagi jumlah kuat tekan dengan jumlah contoh uji. Ketika beban tekan (P) diberikan oleh mesin uji tekan (*Compression Test Machine*), beban tersebut diterima secara merata di seluruh area permukaan benda uji hingga terjadi keruntuhan pada benda uji beton (Maulana, 2019).

2.9.2 Keausan *Paving block*

Keausan adalah kemampuan *paving block* untuk menahan gaya gesek yang menyebabkan permukaannya tergerus atau semakin menipis. Semakin rendah nilai keausan, semakin baik kualitas *paving block* tersebut. Sebaliknya, semakin tinggi nilai keausannya, semakin buruk kualitas *paving block* tersebut. Ketahanan aus permukaan *paving block* sangat penting karena perkerasan lantai atau jalan sering terkena gesekan roda kendaraan (Fitalaka, 2012).

Untuk mendapatkan nilai keausan *paving block*, digunakan rumus berikut ini (SK-SNI03-0028-1987) :

$$\text{Ketahanan Aus} = \frac{A \times 10}{B.J. \times L \times w} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

A = Selisih berat awal – berat akhir

B.J. = Berat jenis

L = Luas permukaan (25 cm²)

w = Waktu (15 menit)

2.9.3 Pengujian Sifat *Thermal*

Sifat *thermal* adalah kemampuan suatu bahan dalam menahan perubahan akibat kenaikan suhu. Untuk menganalisisnya digunakan dua metode, yaitu *thermogravimetric analysis* (TGA) dan *differential thermal analysis* (DTA). TGA mengukur perubahan massa bahan saat dipanaskan. Ketika suhu meningkat, massa bahan bisa berkurang akibat penguapan atau pembakaran. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan suhu terhadap kehilangan massa, sehingga bisa diketahui suhu awal degradasi dan stabilitas *thermal* material. (Rahmayanti, 2016).

DTA mengukur perbedaan suhu antara sampel dan bahan referensi selama pemanasan. Metode ini membantu mendeteksi adanya reaksi *endotermik* (menyerap panas) atau *eksotermik* (melepaskan panas), seperti pelelehan, kristalisasi, atau pembakaran. Dengan kombinasi TGA dan DTA, kita dapat mengetahui titik leleh, suhu degradasi, serta reaksi *thermal* yang terjadi pada material *composite paving block*, sehingga membantu dalam menentukan kualitas dan ketahanan material terhadap panas (Markova et al., 2018).