

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Penelitian Terdahulu

Indah Handayasari (2019) dalam penelitian yang berjudul “ Bahan konstruksi ramah lingkungan dengan pemanfaatan limbah botol plastic kemasan air mineral dan limbah kulit kerang hijau sebagai campuran *paving block* ” menyimpulkan bahwa penggunaan material substitusi yang terdiri dari 10% limbah botol plastik dan 10% limbah kulit kerang, dengan rasio campuran 1 (semen) : 4 (pasir), meningkatkan kuat tekan *paving block* menjadi 12,8 MPa pada umur 28 hari. Nilai ini memenuhi standar Mutu C sesuai dengan SNI 03-0691-1996, yang menetapkan kriteria kuat tekan untuk material yang digunakan pada jalur pejalan kaki. Nilai kuat tekan ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *paving block* normal, yang hanya memiliki nilai 7,8 MPa. Peningkatan proporsi limbah botol plastik dan limbah kulit kerang juga mengurangi tingkat penyerapan air. Pada umur 49 hari, *paving block* normal menunjukkan tingkat penyerapan air tertinggi sebesar 2,36%, sementara *paving block* dengan campuran 20% limbah botol plastik dan 20% limbah kulit kerang memiliki tingkat penyerapan air terendah, yaitu 1,45%. Nilai ini memenuhi standar Mutu A sesuai SNI 03-0691-1996, yang menetapkan rata-rata persentase penyerapan air untuk material jalan sebesar 3%. Komposisi campuran *paving block* yang paling optimal ditemukan pada variasi campuran 10% limbah botol plastik dan 10% limbah kulit kerang, dengan nilai kuat tekan sebesar 12,8 MPa dan tingkat penyerapan air sebesar 1,94%. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah botol plastik dan limbah kulit kerang sebagai substitusi sebagian pasir dan semen dalam produksi *paving block* memberikan hasil yang signifikan. Material ini meningkatkan kuat tekan dibandingkan dengan *paving block* konvensional, menjadikannya alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk aplikasi konstruksi.

Mulyati (2022) dalam penelitian yang berjudul “ Pemanfaatan serbuk cangkang lokan sebagai bahan pengganti pasir dalam pembuatan *paving block* ” menyimpulkan bahwa hasil uji sifat dasar material menunjukkan bahwa serbuk cangkang lokan memiliki sifat fisik yang mirip dengan pasir. Hasil uji kuat tekan *paving block* pada umur 28 hari menunjukkan bahwa serbuk cangkang lokan dapat digunakan sebagai pengganti pasir hingga 30% dalam campuran *paving block* yang ditujukan untuk taman. Penggunaan serbuk cangkang lokan dalam campuran *paving block* dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* hingga 17,65%, terutama ketika 20% pasir digantikan dengan serbuk cangkang lokan.

Muhammad Ikhwan Khabib, Novi Eka Mayangsari, Moch. Luqman Ashari (2022) dalam penelitian yang berjudul “ Kajian teknis pemanfaatan limbah *Spent Bleaching Earth* sebagai *subtitusi* agregat halus pada *Paving block* dengan penambahan cangkang kulit kerang hijau ” menyimpulkan bahwa penggunaan limbah SBE sebesar 10% dan 15% sebagai pengganti, ditambah dengan penambahan 5% serbuk cangkang kulit kerang hijau berdasarkan total berat semen, dapat meningkatkan kuat tekan *paving block*. Substitusi limbah SBE 10% terbukti sebagai formulasi yang paling efektif, menghasilkan *paving block* kelas A dengan peningkatan kuat tekan sebesar 30,25% dibandingkan dengan *paving block* standar, dengan nilai kuat tekan rata-rata 40,04 MPa. Dengan demikian, limbah SBE dapat digunakan sebagai material pengganti agregat halus pada *paving block*, namun dengan batasan penggunaan tertentu, serta penambahan cangkang kulit kerang hijau.

Devita Mayangsari, Tri Yuhanah, Yulisya Zuriatni (2022) dalam penelitian yang berjudul “ Analisis laju infiltrasi dan kekuatan porous *paving block substitusi fly ash* dan cangkang kerang darah ” menyimpulkan bahwa berdasarkan hasil penelitian dan analisis, dapat diambil beberapa kesimpulan. Kuat tekan tertinggi pada porous *paving block* dengan komposisi campuran V5 = 1(0,7PC + 0,3FA) : 2 CK adalah 8,75 MPa. Untuk variasi lainnya, terdapat

penurunan kuat tekan pada umur 28 hari, yang dipengaruhi oleh kondisi benda uji, seperti permukaan yang tidak rata dan pemadatan cangkang kerang yang tidak teratur, yang mengurangi kekuatan. Pada benda uji dengan permukaan dan susunan campuran yang baik, spesimen pada V5 dan V1 menunjukkan hasil kuat tekan yang lebih baik. Berdasarkan analisis, nilai koefisien permeabilitas pada semua variasi porous *paving block* berada di bawah standar ACI 522R-10, yaitu berkisar antara 0,14 hingga 1,22 cm/detik. Rata-rata koefisien permeabilitas, yang menunjukkan laju infiltrasi, tertinggi pada variasi V5 yaitu 0,0051 cm/detik dan terendah pada variasi V4 sebesar 0,0038 cm/detik. Koefisien permeabilitas meningkat seiring dengan peningkatan proporsi bahan perekat (0,7PC + 0,3FA) yang digunakan, karena semakin banyak bahan perekat yang menutupi pori-pori pada porous *paving block*.

Nazula Azzam Ma'ruf, Oto Prasadi, Rosita Dwityaningsih (2024) dalam penelitian yang berjudul "Pemanfaatan sekam padi (*oryza sativa*) dan cangkang kerang totok (*geloina sp.*) sebagai bahan campuran *paving block*" menyimpulkan bahwa penggunaan limbah sekam padi dan cangkang kerang yang dihancurkan dalam campuran *paving block* memberikan dampak signifikan terhadap kualitas *paving block* tersebut. Semakin banyak sekam padi yang dicampurkan, dengan perbandingan A3 (2:1), A4 (1:3), dan A5 (3:1), maka kualitas *paving block* semakin meningkat. Dalam hal kuat tekan, hasil terbaik diperoleh pada komposisi campuran A3 (2:1) dengan kuat tekan 14,3 MPa, dan A5 (3:1) dengan kuat tekan 17 MPa, yang termasuk dalam klasifikasi mutu C dan B untuk *paving block*, masing-masing. Komposisi *paving block* yang tidak mengandung arang sekam padi dan abu cangkang kerang memperoleh klasifikasi mutu D. Namun, dengan penambahan campuran pada komposisi A5 (25 gram sekam padi, 75 gram cangkang kerang, 500 gram semen, 1500 gram pasir), nilai penyerapan air sebesar 7,69% masuk dalam klasifikasi mutu B untuk *paving block*.

Sehingga berdasarkan penelitian terdahulu, pada penelitian ini berfokus meneliti limbah kerang hijau sebagai substitusi pasir dengan komposisi campuran 10%, 20%, 30% dan 40%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian *Paving Block*

Paving block adalah material yang semakin populer di Indonesia untuk konstruksi jalan dan area parkir. Material ini terbuat dari campuran semen, pasir, dan air, serta dapat dibentuk dalam berbagai bentuk, memberikan berbagai pilihan desain. *Paving block* sendiri merupakan produk bahan bangunan terbuat dari campuran semen, agregat dan air dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak mengurangi mutu *paving block* tersebut dan digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. (Indah Handayasari, 2019). *Paving block* atau bata beton adalah sebuah produk bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen, agregat, dan air, yang bisa juga mencakup bahan tambahan lain tanpa mengurangi kualitas produk tersebut. (Ma'ruf et al., 2024). Dalam bidang konstruksi, *Paving block* biasa digunakan untuk berbagai proyek bangunan. Biasanya *paving block* terbuat dari pasir, semen, dan air. (Ratnawati et al., 2024).

2.2.2 Jenis Dan Ukuran *Paving Block*

Paving block tersedia dalam berbagai ukuran dan bentuk, memungkinkan pelanggan untuk memilih ukuran, bentuk, ketebalan, dan kekuatan yang dibutuhkan. *Paving block* ini hadir dengan ketebalan yang bervariasi, mulai dari 6,8 cm hingga 10 cm, sesuai dengan kekuatan dan ketebalan yang diperlukan. *Paving block* biasanya memiliki panjang antara 20 hingga 25 cm dan ketebalan antara 10 hingga 12 cm, dengan berbagai bentuk dan desain.

1. *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 2.1 *Paving Block Tipe Batu*
(Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

2. *Paving Block Tipe Cacing / Zigzag*
Paving zigzag umumnya digunakan di taman atau area perumahan. *Paving* ini berukuran 11,5 x 22,5 cm dan tersedia dalam berbagai ketebalan, mulai dari 6 cm hingga 10 cm. Biasanya, dibutuhkan 39 buah per meter persegi. Proses pemasangannya mudah dan mirip dengan pemasangan *paving* batu bata standar, meskipun tidak dapat dipadukan dengan model *paving* lainnya.



Gambar 2.2 *Paving Block Tipe Zigzag*
(Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

3. *Paving Block Tipe Segitiga*
Jenis *paving* ini sering dikenal sebagai *paving block thirex*. *Paving thirex* memiliki ukuran 19,7 x 9,6 cm dan tersedia dalam ketebalan 6 hingga 10 cm. Untuk setiap meter persegi, dibutuhkan 39 buah *thirex*. Perlu diketahui bahwa model ini cukup rumit dan biasanya digunakan untuk pola tunggal. Dimensi : 19,7 cm x 9,6 cm, ketebalan : 6 cm, 8 cm, 10 cm, 39 buah per 1 m², tersedia dalam warna abu-abu, merah, dan hitam.



Gambar 2.3 *Paving Block Tipe Segitiga*
(Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

4. *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 2.4 *Paving Block* Tipe Segienam
(Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

5. *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 2.5 *Paving Block* Tipe Topi Uskup
(Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

6. *Paving Block* Tipe *Grassblock*

Paving block grassblock terdiri dari dua variasi: L5 dan L8. Model L5 memiliki dimensi 40x40 cm dengan ketebalan 8 cm, sehingga membutuhkan 6,25 buah per meter persegi. Model L8, yang berbentuk persegi panjang, memiliki ukuran 30 x 45 cm dan tersedia dalam ketebalan 6 dan 8 cm.



Gambar 2.6 *Paving Block* Tipe *Grassblock*
(Sumber : <https://bit.ly/MengenalTipedanUkuranPavingBlock>, 2024)

2.2.3 Syarat Mutu *Paving Block*

Standar mutu yang harus dipenuhi *paving block* menurut SNI 03- 0691-1996 adalah sebagai berikut ini :

1. Bata beton wajib mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Bata beton wajib mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi +8%.
3. Bata beton wajib mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Persyaratan Mutu Setiap Jenis Bata Beton (*Paving Block*)

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Keausan (mm/menit)		Penyerapan air rata – rata maks (%)	Keterangan
	Rata – rata	Min	Rata - rata	Min		
A	40	35	0,09	0,103	3	Jalan
B	20	17	0,13	0,149	6	Peralatan Parkir
C	15	12,5	0,16	0,184	8	Pejalan Kaki
D	10	8,5	0,219	0,251	10	Taman dan pengguna lain.

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

Keterangan :

- a. *Paving block* mutu A digunakan untuk perkerasan jalan dan harus memiliki kuat tekan minimal 35 MPa, dengan rata-rata kuat tekan 40 MPa.
 - b. *Paving block* mutu B digunakan untuk area parkir, dengan syarat kuat tekan minimal 17 MPa, dan rata-rata 20 MPa.
 - c. *Paving block* mutu C digunakan untuk trotoar, dengan syarat kuat tekan minimal 12,5 MPa, dan rata-rata 15 MPa.
 - d. *Paving block* mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya, dengan syarat kuat tekan minimal 8,5 MPa dan rata-rata 10 MPa.
4. Ketahanan beton terhadap natrium sulfat. Bata beton, ketika diuji sesuai prosedur pada butir
 5. Harus tetap dalam kondisi baik, tanpa cacat, dan tidak kehilangan berat lebih dari 1%.

2.2.4 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.

2.2.5 Sifat Fisis *Paving Block*

2.2.5.1 Daya Serap Air

Daya serap air (absorpsi) merupakan persentase air yang dapat diserap oleh suatu material saat terendam dalam air. Uji penyerapan air mengacu pada standar SNI 03-0691-1996.

Seperti yang dijelaskan oleh Nuhun (2019), uji ini dilakukan setelah 28 hari perawatan untuk mengukur jumlah air yang diserap oleh *paving block*. Prosesnya melibatkan perendaman *paving block* selama 24 jam, pengeringan pada suhu 105°C, dan penimbangan dua kali hingga perbedaan antara dua pengukuran tidak lebih dari 0,2%. Nilai penyerapan kemudian dihitung dengan cara mengurangi berat kering dengan berat basah, membaginya dengan berat kering, dan mengalikannya dengan 100% menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Serapan Air} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

M_b = Massa *paving block* kondisi basah (g)

M_k = Massa *paving block* kondisi kering (g)

Sedangkan untuk menghitung daya serap air rata-rata *Paving block* dapat dihitung dengan rumus pada persamaan :

$$\text{Serapan Air Rata-Rata} = \frac{\Sigma \text{ serapan air}}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

Σ serapan air = Jumlah total serapan air (%)

n = Jumlah benda uji

Berdasarkan SNI 03-0691-1996, kualitas daya serap air pada *paving block* dibagi menjadi 4 kategori, seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Daya Serap Air *Paving Block*

Mutu	Serapan Air Maksimum (%)
A	3
B	6
C	8
D	10

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

2.2.6 Pengujian *Paving Block*

2.2.6.1 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 10 sampel uji, masing-masing berbentuk kubus, dengan memastikan rusuk-rusuknya 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 :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

P = Beban tekan (N)

L = Luas bidang tekan (mm²)

Menurut Maulana (2019) 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.

2.2.6.2 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 C. d., 2012).

Untuk mendapatkan nilai keausan *paving block*, digunakan rumus berikut ini (SK-SNI-03-0028-1987) :

$$\text{Ketahanan Aus} = \frac{A \times 10}{B.J. \times I \times w} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

A = Selisih berat benda uji sebelum dan sesudah diaus (gram)

B.J. = Berat jenis rata-rata lapisan kepala

I = Luas permukaan bidang aus (cm²)

w = Lamanya pengausan (menit)

2.2.7 Bahan Penyusun *Paving Block*

2.2.7.1 Pasir

Agregat halus (pasir) adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (adukan) dan beton. Agregat halus didefinisikan sebagai bahan yang digunakan sebagai pengisi, yang dipadukan dengan bahan perekat untuk membentuk massa yang padat dan keras yang disebut beton. Agregat halus biasanya membentuk bagian terbesar dari campuran beton, yaitu sekitar 60-80% dari volume total beton, sehingga jenis agregat yang digunakan memiliki peran penting dalam menentukan mutu beton. Oleh karena itu, data yang jelas mengenai agregat yang digunakan dalam campuran beton sangat penting untuk merencanakan komposisi campuran sesuai dengan kualitas beton yang diinginkan (Arfan hidayat, 2020). Agregat halus atau pasir memiliki berbagai jenis. Salah satunya adalah pasir alami yang diperoleh dari sungai atau pemecahan batu. Kualitas agregat halus sangat memengaruhi kualitas beton. Sifat-sifat yang penting pada agregat halus meliputi kadar air, penyerapan air, kepadatan, dan kandungan organik, yang semuanya memengaruhi kekuatan dan daya tahan mortar. Agregat halus didefinisikan sebagai agregat yang memiliki ukuran butir lebih kecil dari ayakan No. 4 (4,75 mm) dan lebih besar dari ayakan No. 200 (0,075 mm) menurut SNI 03-1968-1990.(Eka Widya, 2021). Mutu agregat halus sangat berpengaruh terhadap mutu *paving block* yang dihasilkan. Penggunaan agregat dalam campuran beton memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengurangi penggunaan air semen
2. Menciptakan beton dengan kuat tekan yang tinggi.
3. Mencapai kepadatan beton yang optimal dengan menggunakan gradasi agregat yang baik.
4. Meningkatkan sifat fungsional dalam campuran beton dengan menggunakan gradasi agregat yang baik.

Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus terdiri dari partikel dengan ukuran maksimum 4,76 mm, yang berasal dari bahan alam atau hasil alam, sementara agregat halus olahan dihasilkan dari penghancuran dan pemisahan partikel melalui penyaringan atau metode lain dari batuan atau terak tanur tinggi.

Syarat-syarat agregat halus menurut standar SK SNI S-04-1989-F antara lain sebagai berikut:

Butirannya tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.

- a. Agregat harus tahan lama dan tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca. Ketika diuji dengan larutan natrium sulfat, bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 12%, dan jika diuji dengan magnesium sulfat, tidak boleh lebih dari 18%.
- b. Tidak boleh mengandung lebih dari 5% lumpur (butiran yang lolos dari ayakan 0,06 mm). Tidak mengandung bahan organik yang berlebihan, yang dibuktikan dengan uji warna menggunakan larutan NaOH 3%. Warna cairan di atas endapan agregat tidak boleh lebih gelap dari warna standar atau pembanding.
- c. Modulus butir harus antara 1,50 dan 3,80, dengan variasi butir yang sesuai dengan gradasi standar.
- d. Agregat halus dari laut atau pantai diperbolehkan dengan persetujuan dari lembaga pemeriksaan bahan.

Menurut ASTM C33, agregat halus biasanya berupa pasir dengan ukuran butir yang lebih kecil dari 5 mm, atau yang lolos dari saringan No. 4 dan tertahan di saringan No. 200.

Tabel 2.3 Batasan Gradasi Untuk Agregat Halus

Ukuran Saringan ASTM	Presentase berat yang lolos pada tiap saringan
9,5 mm	100
4,76 mm	95 - 100
2,36 mm	80 - 100
1,19 mm	50 - 85
0,595 mm	25 - 60
0,300 mm	10 - 30
0,150 mm	2 - 10

(Sumber : ASTM C-3)

Gradasi agregat dan ukuran butir maksimum sangat terkait dengan luas permukaan agregat, jumlah air yang dibutuhkan, dan kandungan semen dalam beton. Gradasi yang tepat memberikan keseimbangan optimal untuk mencapai densitas dan kekuatan beton yang maksimal. Berbagai standar memberikan pedoman dan menetapkan batasan untuk distribusi ukuran butir yang ideal dalam beton.

Menurut BS dan SK.SNI T-15-1990-03, gradasi agregat halus dibagi sebagai berikut :

Kekasaran pasir dibagi menjadi 4 zona :

- a. Zona 1 : Pasir kasar
- b. Zona 2 : Pasir agak kasar
- c. Zona 3 : Pasir agak halus
- d. Zona 4 : Pasir halus.

Tabel 2.4 Persyaratan Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Tembus Kumulatif			
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
10	100	100	100	100
4,80	90 – 100	90 -100	90 -100	95 -100
2,40	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,20	30 – 70	55 – 100	75 – 100	90 – 100
0,60	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,30	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 - 10	0 – 10	0 - 10	0 - 15

(Sumber : SNI 03 – 2847 – 2002)

2.2.7.2 Semen Portland

Semen Portland, seperti yang didefinisikan dalam SNI 15-2049-2004, adalah jenis semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling terak semen Portland, yang sebagian besar terbuat dari kalsium silikat, bahan yang bersifat hidrolis. ini digiling bersama senyawa kalsium sulfat dan dapat ditambah dengan bahan tambahan lainnya. Unsur-unsur utama dalam senyawa kalsium silikat semen Portland adalah kalsium dan alumunium, yang berasal dari bahan baku seperti batu kapur (mengandung kalsium oksida, CaO) dan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO₂) dan alumunium oksida (Al₂O₃). Komponen utama semen Portland adalah kapur, silika, alumina, dan oksida besi, yang berinteraksi selama proses peleburan. Semen berfungsi sebagai bahan perekat yang dapat mengikat bahan lain seperti batu koral dan batu bata, menghasilkan struktur yang kuat. Secara umum, semen adalah bahan perekat yang mampu mengikat bahan padat menjadi massa yang kohesif dan kuat (Haikal et al., 2019). Berikut adalah komposisi semen portland :

Tabel 2.5 Unsur – Unsur Dalam Semen

Unsur kimia dalam semen	Presentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Oksida Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesium (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Soda/Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

(Sumber : Fres, 2022)

Fungsi semen adalah untuk mengikat butiran agregat menjadi massa padat. Ketika dicampur dengan air, semen membentuk pasta yang kemudian dicampurkan dengan pasir dan air untuk menghasilkan adukan. Berdasarkan SNI 15-2049-2004, jenis dan penggunaan semen portland di Indonesia dibedakan sebagai berikut :

1. Tipe I : Semen Portland untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus.
2. Tpe II : Semen Portland yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau menghasilkan panas hidrasi sedang saat digunakan.

3. Tipe III : Semen portland yang membutuhkan kekuatan tinggi pada tahap awal setelah pengikatan.
4. Tipe IV : Semen portland yang memerlukan panas hidrasi rendah saat digunakan.
5. Tipe V : Semen portland yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat saat digunakan.

2.2.7.3 Air

Air memiliki peran yang sangat penting dalam campuran atau pengolahan bahan bangunan. Air membuat campuran menjadi plastis, memudahkan pembuatan bentuk, serta membantu proses hidrasi pada senyawa kapur, proses hidrasi adalah reaksi kimia di mana suatu zat bereaksi dengan air. Karena reaksi yang terjadi antara semen dan air yang menyebabkan beton mengeras, proses ini sangat penting dalam pembuatan beton karena memberikan kekuatan struktur, air merupakan komponen penting dalam campuran.

Air memegang peranan penting dalam pencampuran dan pengolahan bahan bangunan. Air membuat campuran menjadi lebih mudah dikerjakan, memudahkan pembentukan, dan mendukung proses hidrasi senyawa kapur. Air yang digunakan harus bebas dari kontaminan seperti minyak, asam, alkali, garam, bahan organik, atau zat lain yang dapat merusak *paving block*. Selain itu, air juga tidak boleh mengandung ion klorida dalam konsentrasi yang berbahaya (SNI 03-2847-2002). Air diperlukan untuk memicu reaksi kimia dalam beton dengan bergabung dengan semen. Air juga membantu dalam proses penyerapan agregat. Seiring dengan meningkatnya Faktor Air Semen (FAS), maka jumlah air yang tersisa dalam campuran meningkat, Air akan mengisi ruang antar partikel sehingga membuat campuran lebih cair/encer. Hal ini meningkatkan kemudahan pengerjaan dan pemadatan. (Eka Widya, 2021). Air membantu dalam proses pengikatan semen dan berfungsi sebagai pelumas antar partikel agregat, yang meningkatkan kemudahan pengerjaan dan pemadatan. Untuk menjaga stabilitas dan kekuatan campuran beton, penting untuk memonitor atau menetapkan Faktor Air Semen (FAS) yang tepat dan digunakan dalam adukan.

Menurut Darwin (2017), air diperlukan dalam produksi beton untuk memicu reaksi kimia semen, membasahi agregat, dan mempermudah proses pencampuran. Terlalu banyak air dapat menyebabkan gelembung udara setelah hidrasi, sementara terlalu sedikit air akan menghambat proses hidrasi yang sempurna, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Secara umum, air yang dapat diminum dapat digunakan untuk pencampuran beton. Air yang digunakan harus memenuhi standar berikut :

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lebih dari 2 g/l lumpur, minyak, atau partikel mengapung lainnya.
3. Tidak mengandung garam yang dapat larut, asam, atau zat organik lebih dari 15 g/l.
4. Kandungan klorida (Cl) tidak boleh melebihi 0,5 g/l.
5. Senyawa sulfat tidak boleh melebihi 1 g/l.

2.2.8 Bahan Pengganti

Bahan pengganti (*substitusi*) *paving block* adalah bahan yang digunakan sebagai pengganti bahan utama dalam pembuatan *paving block*.

2.2.8.1 Kulit Kerang (*Cerastoderma sp.*)

Kerang adalah hewan berkulit lunak (*mollusca*) yang termasuk dalam kelas *pelecypoda* atau *bivalvia*. Tubuh kerang terdiri dari lima bagian utama: kepala, kaki, organ reproduksi, sistem pencernaan, selaput, dan cangkang. Cangkang kerang terdiri dari beberapa lapisan yang melindungi tubuhnya, yang juga dikenal sebagai kulit cangkang kerang. *Cerastoderma sp* adalah jenis moluska dwicangkerang dari keluarga *cardiidae* yang banyak dibudidayakan

sebagai bisnis sampingan oleh masyarakat di daerah pesisir. Pembudidayaan kerang relatif mudah, tidak memerlukan modal besar, dan dapat dipanen dalam waktu 6-7 bulan. Cangkang kerang memiliki tiga bukaan: ekshalent, inhalent, dan pedal, yang berfungsi untuk mengalirkan air dan mengeluarkan kakinya. Kerang menggunakan kakinya hanya untuk menggali lubang dan memakan plankton yang terbawa oleh aliran air masuk dan keluar. Kerang merupakan hemafrodit.

Berikut adalah beberapa jenis kerang yang banyak ditemukan di masyarakat.

1. Kerang Darah (*Anadara Granosa*)



Gambar 2.7 Kerang Darah (*Anadara Granosa*)

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

Kerang darah (*Anadara granosa*) adalah jenis kerang dari keluarga arcidae yang banyak ditemukan di kawasan Indo-Pasifik, termasuk India, Sri Lanka, Indonesia, Malaysia, Filipina, dan Thailand. Kerang ini dikenal karena mengandung hemoglobin dalam cairan merah yang dihasilkan, sehingga disebut "kerang darah." Secara fisik, kerang darah memiliki cangkang tebal dan bentuk bulat, dengan ukuran dewasa sekitar 5-6 inci panjang dan 4-5 inci lebar. Kandungan kimia kerang darah terdiri dari 83% air, 0,91% lemak, 10,33% protein, dan 1,84% abu. Setiap kerang dewasa dengan diameter 4 cm dapat mengandung 59 kalori, 8 gram protein, 1,1 gram lemak, 3,6 gram karbohidrat, 133 mg kalsium, 170 mg fosfor, 300 IU vitamin A, dan 0,01 mg vitamin B1. Kerang darah memiliki banyak kelebihan, seperti nilai ekonomi yang tinggi, mudah dibudidayakan, serta dapat diolah menjadi berbagai hidangan. Namun, kerang ini juga memiliki beberapa kekurangan, seperti risiko kontaminasi jika tidak diolah dengan benar, dan beberapa orang mungkin alergi atau tidak dapat mengonsumsinya.

2. Kerang Hijau (*Perna Viridis L.*)



Gambar 2.8 Kerang Hijau (*Perna Viridis L.*)

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

Kerang Hijau (*Perna Viridis L.*) adalah jenis moluska yang memiliki cangkang pipih dan berwarna hijau keperakan, yang dapat tumbuh hingga 7 cm panjangnya. Kerang ini banyak ditemukan di perairan pesisir Asia Tenggara, seperti Indonesia, Malaysia, dan Filipina. Cangkangnya berwarna cerah dengan bagian dalam berwarna putih keperakan. Kerang hijau kaya akan protein, lemak, dan mineral, termasuk kalsium dan fosfor, yang bermanfaat untuk

kesehatan. Kelebihan kerang hijau adalah kandungan gizinya yang tinggi dan kemampuannya untuk tumbuh dengan cepat, menjadikannya komoditas yang menguntungkan. Namun, kerang ini juga memiliki kekurangan, seperti rentan terhadap polusi air dan kerusakan akibat perubahan lingkungan. Selain itu, kerang hijau sering dipanen berlebihan, yang dapat mengancam keberlanjutannya.

3. Kerang Samping (*Placuna Placenta*)



Gambar 2.9 Kerang Samping (*Placuna Placenta*)
(Sumber : <https://bit.ly/Kerangsamping>, 2024)

Kerang Samping (*Placuna Placenta*) adalah jenis moluska dari keluarga pectinidae yang memiliki cangkang berbentuk kipas dengan warna yang bervariasi, biasanya merah, oranye, atau kuning. Kerang ini banyak ditemukan di perairan laut dangkal, terutama di kawasan Eropa, seperti Prancis dan Inggris, serta beberapa negara di Asia. Cangkangnya memiliki dua bagian yang simetris, dengan permukaan yang beralur dan tegas. Kerang samping kaya akan protein, rendah lemak, serta mengandung mineral penting seperti fosfor dan kalsium. Kelebihan kerang samping adalah rasanya yang lezat dan teksturnya yang kenyal, menjadikannya populer sebagai bahan makanan. Namun, kerang ini rentan terhadap polusi air dan perubahan suhu yang dapat mempengaruhi kualitasnya. Di sisi lain, kerang samping memerlukan perhatian khusus dalam pembudidayaannya karena habitatnya yang sensitif terhadap kerusakan lingkungan.

4. Kerang Tiram (*Genus Pinctada*)



Gambar 2.10 Kerang Tiram (*Genus Pinctada*)
(Sumber : <https://bit.ly/Kerangtiram>, 2024)

Kerang tiram, atau dikenal juga dengan nama ilmiahnya *Genus Pinctada*, adalah jenis moluska yang dikenal dengan cangkangnya yang tidak simetris dan kasar, dengan satu sisi datar dan sisi lainnya lebih cembung. Kerang ini ditemukan di perairan laut dangkal, terutama di kawasan Eropa, Amerika Utara, dan beberapa negara di Asia, termasuk Indonesia. Cangkang tiram mengandung zat kalsium karbonat yang kuat, memberikan perlindungan terhadap tubuh lembut di dalamnya. Kandungan kimia dalam tiram meliputi protein tinggi, asam lemak omega-3, serta mineral seperti zinc, magnesium, dan selenium yang bermanfaat bagi kesehatan.

Kelebihan dari kerang tiram adalah kandungan gizinya yang kaya, terutama untuk meningkatkan daya tahan tubuh dan kesehatan jantung. Namun, kerang ini rentan terhadap polusi air dan dapat mengandung kontaminan jika habitatnya tercemar. Oleh karena itu, pembudidayaan tiram membutuhkan pengawasan kualitas air yang ketat.

Kerangka terluar dari kerang disebut cangkang kerang. Cangkang ini mengeluarkan zat-zat dan terbentuk oleh epitel mantel atau sel cangkang. Cangkang terdiri dari beberapa lapisan, termasuk periostrakum, yang berwarna hitam dan terbuat dari konchiolin. Ada juga lapisan prisma, yang terbuat dari kristal kalsium karbonat yang tersusun dalam bentuk prisma. Selanjutnya, ada lapisan nacre atau mutiara yang terdiri dari kristal-kristal kalsium karbonat yang tersusun rapat (kapur dalam bentuk prisma dengan susunan yang lebih padat). Engsel cangkang terdiri dari ligamen atau jaringan penghubung. Terdapat dua adduktor, satu di kompartemen anterior dan satu lagi di kompartemen posterior. Di antara berbagai jenis kerang, kerang mutiara dikenal menghasilkan mutiara berkualitas tinggi dengan harga yang terjangkau. Kerang mutiara tidak hanya digunakan untuk perhiasan, tetapi juga dalam kosmetik. Karena meningkatnya permintaan pasar untuk mutiara alami, budidaya kerang mutiara menjadi sangat penting. Akibatnya, pasokan mutiara alami semakin terbatas, sehingga sulit untuk mendapatkan mutiara yang diinginkan. Karena kekerasan cangkangnya, cangkang kerang mengandung lebih banyak CaCO_3 dibandingkan dengan batu kapur, kulit telur, keramik, atau bahan lainnya. Ketika dipanaskan, CaCO_3 pada cangkang kerang akan berubah menjadi CaO dan melepaskan CO_2 ke udara, sementara CaO dan Si merupakan bahan utama dalam produksi semen, bersama dengan Fe_2O_3 dan Al (Supriani et al., 2019) seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 2.6 Komposisi Kimia Serbuk Cangkang Kerang

Komposisi Kimia Cangkang Kerang	Kandungan (%)
Kalsium Oksida (CaO)	66,70
Silika Oksida (SiO_2)	7,88
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	1,25
Besi Oksida (Fe_2O_3)	0,03
Magnesium Oksida (MgO)	22,28

(Sumber : Supriani et al., 2019)

2.2.9 Perencanaan Campuran *Paving block*

Saat ini, belum ada standar spesifik yang mengatur *mix design* untuk *paving block*. Oleh karena itu, *mix design* untuk *paving block* dapat ditentukan berdasarkan rasio semen terhadap agregat untuk mencapai kualitas yang diinginkan. Pendekatan ini sering digunakan dalam praktik desain campuran beton, termasuk untuk *paving block*.

Menurut (Nugroho, 2003) berdasarkan penelitian yang digunakan standar di Amerika Serikat, untuk *paving block* dengan ketebalan 60 mm, digunakan rasio campuran 1 : 6, sedangkan untuk ketebalan 80 mm, digunakan rasio campuran 1 : 5,5. Faktor air-semen yang digunakan adalah 0,35 dari berat semen, yang lebih rendah dibandingkan dengan yang digunakan dalam *mix design* beton pada umumnya. Sementara itu, faktor pemadatan untuk mesin hidrolik yang digunakan adalah 1,3. Komposisi kebutuhan campuran *paving block* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

Kebutuhan Pasir 1:

$$Paving\ block = \frac{6}{7} \times \text{Berat isi pasir} \times V\ Paving\ block \times 1,3 \dots\dots\dots (2.5)$$

Kebutuhan Semen 1 :

$$Paving\ block = \frac{\text{kebutuhan pasir}}{6} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- V *Paving block* = Volume *Paving block* (cm³)
- 1,3 = Faktor pemadatan mesin hidrolis

Kualitas dan mutu *paving block* dipengaruhi oleh bahan baku, bahan tambahan, proses pembuatan, dan peralatan yang digunakan. Bahan utama untuk *paving block* adalah semen, pasir, dan air dalam proporsi tertentu. Selain itu, beberapa *paving block* mengandung bahan tambahan seperti kapur, abu batu, abu vulkanik, abu sekam padi, dan lain-lain. Perbandingan campuran semen ke pasir untuk *paving block* biasanya berkisar antara 1 : 4 hingga 1 : 8, sementara perbandingan air semen umumnya berada di antara 0,30 dan 0,40.

2.2.10 Metode Pembuatan *Paving Block*

Proses pembuatan *paving block* umumnya dibagi menjadi 2 metode, sebagai berikut :

a. Metode Mekanis

Metode mekanis sering disebut sebagai metode press. Metode mekanis menggunakan mesin *hydraulic pressure* yang dilengkapi dengan sistem hidrolik. Menurut Mansur (2013) dalam Rizal (2017), sistem hidrolik adalah metode transfer energi dengan menggunakan fluida cair. Fluida ini diberi tekanan oleh pompa dan kemudian dialirkan ke silinder kerja melalui pipa dan katup. Tekanan dalam silinder menyebabkan batang piston bergerak secara translasi, yang memungkinkan gerakan horizontal dan vertikal, tergantung pada orientasi silinder. Metode ini masih jarang digunakan karena biaya peralatan yang dibutuhkan harganya relative mahal. Metode ini umumnya digunakan oleh pabrik dengan skala industri menengah hingga besar. Contoh mesin *hydraulic pressure* dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 Mesin *Hydraulic Pressure*
(Sumber : <https://bit.ly/MesinHydraulicPressure>, 2024)

b. Metode Konvensional

Metode ini adalah yang paling sering digunakan oleh masyarakat, yang biasa disebut dengan metode "gablokan". Metode ini melibatkan pembuatan *paving block* menggunakan tongkat penumbuk dan sistem pemadatan manual yang mengandalkan tenaga manusia. Semakin besar tenaga yang diberikan selama pembuatan *paving block* maka akan semakin kuat dan padat hasil *paving block* yang dihasilkan. Proses pencetakan *paving block* secara konvensional dapat dilihat pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Pencetakan Metode Konvensional
(Sumber : <https://bit.ly/cetakanpavingblock>, 2024)

Dari kedua metode yang disebutkan di atas memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing, yang dijelaskan dalam tabel 2.7 di bawah ini.

Tabel 2.7 Kelebihan dan Kekurangan Metode Mekanis dan Konvensional

Metode	Keuntungan	Kerugian
Mekanis	<ul style="list-style-type: none"> a. Kekuatan tekan yang dihasilkan relatif stabil dan sesuai dengan <i>mix design</i> b. Dalam sekali cetak, bisa menghasilkan lebih dari satu <i>paving block</i>, tergantung jumlah cetakan c. Dapat memproduksi dalam skala besar 	<ul style="list-style-type: none"> a. Hanya dapat dilakukan oleh pemodal besar b. Alat cetak relatif mahal c. Tidak dapat dilakukan di sembarang tempat (<i>home industry</i>)
Konvensional	<ul style="list-style-type: none"> a. Dapat dilakukan oleh pemodal kecil b. Alat cetak relatif murah c. Dapat dilakukan di mana saja dan oleh siapa saja (cocok untuk industry rumahan) 	<ul style="list-style-type: none"> a. Kekuatan tekan umumnya lebih rendah dan tidak konsisten atau stabil b. Dalam sekali cetak hanya dapat menghasilkan satu <i>paving block</i> c. Tidak dapat diproduksi secara massal

(Sumber : Studi Lapangan, 2023)