BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Konstruksi

Menurut kebutuhan pekerja konstruksi, bahan bangunan adalah sumber daya yang digunakan sekali selama pelaksanaan pekerjaan konstruksi untuk menghasilkan barang setengah jadi atau barang jadi. Bahan bangunan yang diperlukan untuk proyek konstruksi, mulai dari perencanaan dan pembelian hingga transportasi, penerimaan, dan penyimpanan, merupakan salah satu aspek terpenting dalam melakukan pekerjaan konstruksi. Menurut Gavilan, bahan yang digunakan dalam proyek konstruksi dipisahkan menjadi dua kategori. (Gavilan, 1994) yaitu:

1. *Consumable* material ialah bagian utama material pada proses pelaksanaan konstruksi. Peran material ini pada proses Pembangunan konstruksi sebagai struktur fisik pada bangunan. Semen, pasir, baja tulangan, beton, dan krikil termasuk material dalam bahan habis pakai.
2. *Non-consumable* material ialah bagian yang berfungsi sebagai penopang dalam proses pekerjaan proyek konstruksi. bekisting, perancah, penahan dinding sementara termasuk material yang bersifat sementara pada proses Pembangunan konstruksi.

2.2 *Paving Block*

Kombinasi agregat, air, dan semen Portland, bersama dengan beberapa bahan tambahan lain yang tidak berpengaruh pada kualitas bata beton, digunakan untuk membuat *paving block* (Sulistiyono & 2018, 1996). Bata beton dapat diwarnai baik secara alami maupun buatan selama proses pembuatannya, sesuai dengan SNI 03-0691-1989. Inilah sebabnya mengapa bata beton biasanya digunakan di halaman, baik di dalam maupun di luar struktur. Tujuan utama dan sekunder *paving block* adalah dua fungsi yang berbeda. Tujuan utama *paving block* sebagai bahan bangunan pengganti adalah untuk menutupi atau mengeraskan

permukaan tanah. Tujuan sekunder *paving block* adalah untuk membuat taman kota, jalan, dan halaman menjadi lebih indah secara estetika.

2.2.1 Syarat Mutu *Paving Block*

Menurut SNI 03 - 0691 - 1989 *paving block* memiliki syarat mutu yang harus memenuhi, sebagai berikut:

a. Sifat Tampak

Paving block yang memenuhi syarat sifat tampak ialah *paving block* yang permukaannya rata, tidak retak, dan memiliki cacat.

b. Ukuran

Paving block harus memiliki ukuran minimum tebal 60 mm dengan toleransi + 8%.

c. Sifat Fisika

Paving block harus memenuhi syarat fisika kuat tekan dan ketahanan air seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 1 Syarat Mutu *Paving Block*

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Beban tekan (mm/menit)		Penyerapan air rata - rata max
	Rata - rata	Minimal	Rata - rata	Minimal	%
A	40	35	0,090	0,013	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

(Sumber: SNI 03 - 0691 – 1989)

d. Tidak boleh cacat

Sesuai dengan ketentuan SNI bahwa *paving block* tidak boleh cacat dan diperkenankan kehilangan berat maksimum hanya 1% pada ketahanan natrium sulfat jika diuji dengan cara pada butir.

2.2.2 Klasifikasi *Paving Block*

Menurut SNI 03-0691-1996 *paving block* memiliki beberapa kategori klasifikasi sebagai berikut:

a. *Paving block* mutu A pada umumnya digunakan untuk jalan.
b. *Paving block* mutu B pada umumnya digunakan untuk lahan parkir.
c. *Paving block* mutu C pada umumnya digunakan sebagai trotoar.
d. *Paving block* mutu D pada umumnya digunakan untuk taman.

Selain itu, menurut SNI T-04-1990-F *paving block* memiliki klasifikasi berdasarkan bentuk dan berdasarkan ketebalan yaitu sebagai berikut:

1. Klasifikasi *paving block* berdasarkan bentuk; secara garis besar *paving block* memiliki 2 macam bentuk, yaitu:
   a. *Paving block* bentuk segi-empat.
   b. *Paving block* bentuk segi – banyak.
2. Klasifikasi *Paving Block* Berdasarkan Ketebalan
   Paving block memiliki klasifikasi tersendiri untuk bermacam – macam kebutuhan, berikut ini daftar klasifikasi berdasarkan ketebalan

Tabel 2. 2 Klasifikasi *Paving Block*

NO.	Penggunaan	Kombinasi	
		Tebal (mm)	Pola
1.	Trotoar dan Pertamanan	60	SN, AT, TI
2.	Tempat Parkir & Garasi	60	SB, AT, TI
3.	Jalan Lingkaran	60/80	TI
4.	Terminal Bus	80	TI
5.	Container Yard, Taxy Way	100	TI

(Sumber: SNI T-04-1990-F)

Dalam pemilihan ketebalan dan bentuk pada penggunaan *paving block* harus sesuai dengan kebutuhan, hal ini kuat tekan *paving block* sangat berpengaruh pada penggunaan.

3. Klasifikasi Berdasarkan Warna

   Pada dasarnya *paving block* memiliki 2 macam warna, yaitu warna alami dan warna buatan. Warna alami pada *paving block* pada umumnya adalah hitam dan abu - abu, sedangkan warna buatan terdiri dari warna merah dan biru yang mana digunakan untuk menambah keindahan atau menambah nilai *artistic* pada jalan.

2.3 Material Campuran *Paving Block*

Paving block adalah elemen perkerasan yang dibuat dari campuran material beton kering dengan bahan tambahan, dicetak dalam berbagai bentuk dan ukuran, lalu dipadatkan menggunakan tekanan tinggi. Mutu dan kekuatan *paving block* sangat dipengaruhi oleh kualitas dan proporsi material campuran yang digunakan.

2.3.1 Semen *Portland*

Semen portland adalah semen yang terdiri dari kapur (CaO), silika (SiO2), alumina (Al2O3), dan oksida besi (Fe203). Bahan utamanya adalah kalsium silikat hidrolik, bubuk abu-abu gelap. Kombinasi komponen kalsium silikat dan mineral lainnya membentuk semen Portland, yang biasa disebut sebagai semen hidrolik (SNI 15-2049-2004, 2004). Karena tulang sapi memiliki kandungan kalsium oksida (CaO) yang tinggi (79%), salah satu komposisi semen Portland, tulang sapi dapat digunakan sebagai pengganti semen karena memiliki tujuan yang sama yaitu mempercepat pengerasan dan mengisi rongga-rongga pada partikel agregat dengan cara dipadatkan ke dalam partikel agregat.

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah salah satu material yang digunakan dalam bangunan. Pasir yang diproduksi oleh industri pemecah batu atau pasir yang diperoleh dari integrasi batuan alami dikenal sebagai agregat halus (Mulyono, 2003). Material halus kurang dari 5 mm tertahan pada saringan nomor 200 setelah melewati

saringan nomor 4. Semen dan agregat halus biasanya digunakan untuk membuat perekat. Mempertimbangkan berdasarkan (SNI 03-2847-2002, 2002) salah satu syarat umum agregat halus sebagai berikut:

a. Tekstur butiran yang tajam dan keras. Bersifat kekal yang mana tidak mudah pecah atau hancur oleh cuaca.
b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% , bila melebihi 5% maka harus dicuci.
c. Untuk modulus kehalusan atau fineness modulus (FM) yang berada pada kisaran 1,5 sampai dengan 3,8.
d. Agregat halus memiliki berbagai macam ukuran butiran yang berbeda.

2.3.3 Air

Komponen utama yang digunakan untuk membuat *paving block* adalah air, yang juga berfungsi sebagai campuran pasir dan semen untuk memudahkan pembentukan dan pengolahan *paving block*. Berikut ini parameter air yang diperlukan yang dapat digunakan sesuai dengan SNI S-04-1989 F:

a. Tidak mengandung kadar lumpur lebih dari 2 gram/ liter.
b. Mengandung kadar garam perusak beton tidak lebih dari 15 gram/ liter.
c. Air harus bersih.
d. Tidak mengandung endapan lumpur minyak atau endapan yang teramati.
e. Tidak mengandung senyama sulfat lebih dari 1 gram/liter, dan
f. Tidak mengandung kandungan chlorifa (Cl) lebih dari 5 gram/liter.

2.3.4 Tulang Sapi

Tulang hewan adalah salah satu jaring terikat yang kaku dan kuat sebagai penyanggah yang membentuk rangkah tubuh hewan. Tulang adalah salah satu material yang terdapat dalam tubuh hewan. Tulang hewan memiliki fungsi sebagai rangka yang berperan dalam memberi bentuk tubuh pada hewan, tulang tersusun atas sel yang memiliki matriks ekstraseluler (Safitri, 2019).

Salah satu limbah anorganik yang digunakan dalam banyak formulasi semen adalah tulang sapi, yang memiliki kandungan kalsium oksida sebesar 79%. Beton mengeras lebih cepat berkat aksi kalsium oksida (Ulhaq &

Andaryati, 2023). Ketika dikombinasikan dengan air, kalsium oksida dalam tulang sapi berfungsi untuk melakukan proses hidrasi. Dengan memperkuat daya rekat agregat, kalsium oksida dapat mengurangi ukuran pori-pori beton. Hasil uji kimia menunjukkan bahwa oksida logam yang menyusun serbuk tulang sapi antara lain 42,39% P2O5, 55,82% CaO, 0,09% SiO2, 0,06% Al2O3, 1,40% MgO, 0,08% Fe2O3, dan 0,43% CO2.

Serbuk tulang sapi memiliki kemampuan untuk menjadi adsorben, atau zat padat, yang dapat menyerap partikel cairan dan juga sering digunakan sebagai dehidrator karena konsentrasi kalsium oksida (CaO) yang tinggi dari tulang sapi (Perwitasari, 2008). Tulang hewan kaya akan protein dan garam, sedangkan tulang sapi berlimpah akan kalsium. Garam mineral termasuk kalsium fosfat 58,3%, kalsium karbonat 1,0%, kalsium florida 1,9%, magnesium fosfat 2,1%, dan protein 30,6%. Sekitar 15% tulang adalah sumsum merah dan kuning, dan 50% adalah air.

2.3.5 Sampah Plastik

Indonesia menghasilkan lebih dari 5,4 juta ton sampah plastik setiap tahunnya. Sampah plastik menyumbang 14% dari semua sampah yang dihasilkan di Indonesia, menurut statistik sampah. (Widodo et al., 2018). Saat ini, jika masyarakat tidak peduli dengan lingkungan, jumlah sampah plastik yang dihasilkan akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Salah satu strategi untuk mengurangi jumlah sampah plastik adalah dengan memilah dan mendaur ulang sampah yang ada (Cahyono & Budi, 2021).

Salah satu penyebab utama yang paling banyak berkontribusi terhadap masalah pencemaran lingkungan adalah sampah plastik. Karena distribusinya yang luas dan penguraiannya yang sulit, sampah plastik menjadi masalah terbesar. Pembuangan sampah plastik secara sembarangan saat ini menjadi penyebab utama kerusakan lingkungan.

Senyawa polimer alkena yang ditemukan dalam sampah plastik sangat berbahaya dan membutuhkan waktu yang lama untuk terurai karena molekulnya yang besar. Di Indonesia, hal ini menyebabkan masalah pencemaran lingkungan. Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 menyatakan bahwa pengelolaan

sampah, yang meliputi pengolahan dan penguraian sampah, merupakan kegiatan yang metodis, menyeluruh, dan berkelanjutan.

Sampah yang terbuat dari plastik PET biasanya digunakan untuk membuat botol plastik yang jernih, tembus pandang, dan transparan, seperti yang digunakan untuk air mineral. Karena sampah plastik PET dapat menyebabkan kanker, maka tidak disarankan untuk sering menggunakannya (PP, 2012). Sifat-sifat plastik PET meliputi kekakuan, kekuatan, daya tahan, ketebalan, ringan, dan ketahanan sobek yang luar biasa. Untuk meningkatkan kuat tekan *paving block*, limbah plastik PET dapat ditambahkan sebagai bahan tambahan.

Oleh karena itu, diperlukan prosedur dan pekerjaan untuk mengubah sampah plastik PET menjadi barang yang dapat digunakan kembali. Mendaur ulang sampah plastik menjadi campuran untuk menggantikan agregat halus pada *paving block* adalah salah satu metode untuk mengurangi plastik.

2.4 Pengujian Material

Metode pengujian material ini dilakukan untuk melakukan persiapan sebelum dilakukannya pembuatan benda uji *paving block*, agar material yang digunakan sesuai dengan standar (SNI 03-0691-1996, n.d.).

2.4.1 Uji *Sieve Shaker*

Modulus kehalusan agregat halus yang dihasilkan dipastikan dengan menggunakan metode uji *shaker*. Metode uji *shaker*, yang melibatkan penyiapan pasir yang telah dikeringkan dalam oven selama kurang lebih delapan jam, digunakan untuk melakukan pengujian ini. Saringan yang telah diposisikan dari diameter terbesar hingga terkecil kemudian harus diisi dengan pasir. Setelah itu, luangkan waktu 10 - 15 menit di dalam *sieve shaker*, yaitu saringan yang telah disiapkan di dalam mesin pengayak.

2.4.2 Uji Kadar Lumpur

Tujuan dari metode uji kandungan lumpur ini adalah untuk memastikan berapa banyak lumpur yang ada dalam pasir. Untuk melakukan tes ini, pasir kering yang telah dipanggang dalam oven ditempatkan dalam gelas ukur setinggi 130 cc. Air kemudian ditambahkan ke dalam gelas ukur hingga mencapai kapasitas

250 cc. Setelah 30 menit mengocok gelas yang sudah berisi air, gelas tersebut didiamkan selama kurang lebih 5 jam.

2.4.3 Uji Penetapan Konsistensi Normal

Menyesuaikan benda uji untuk ikat awal semen dan mencari tahu berapa banyak udara yang dibutuhkan untuk mencapai konsistensi normal dilakukan dengan menggunakan prosedur uji ikatan standar. Pengujian ikatan normal dilakukan sesuai dengan pedoman SNI 03-1974-1990. Sekitar 300 gram semen ditimbang dalam wadah porselin, dan jumlah udara yang ditemukan kemudian diukur. Adonan tersebut kemudian diaduk hingga rata hingga terbentuk semen pasta. Pasta semen yang telah terbentuk kemudian dipegang dengan kedua tangan sebanyak enam kali dari satu tangan ke tangan yang lain, kemudian digabungkan hingga membentuk bola. Selanjutnya, masukkan bola pasta ke dalam cincin vicat lalu ratakan dan haluskan pasta semen. Tepatkan di tengah – tengah pasta dalam cincin vicat dibawah batang peluncur. Kemudian tempelkan batang peluncur pada permukaan pasta dan kunci sekrup dan lepaskan batang peluncur dengan cara membuka sekrup selama 30 detik. Konsistensi normal pasta tercapai apabila batang peluncur menembus sampai batas (10 ± 1) mm di bawah permukaan pasta dalam waktu 30 detik setelah dilepaskan.

2.4.4 Uji Ikatan Semen

Tujuan dari metode uji ikatan semen adalah untuk menentukan pengikatan permulaan dari semen yang digunakan. Studi ikatan semen dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-1973-1990. Metode ini melibatkan penimbangan sekitar 300 gram semen ke dalam mangkuk porselin, lalu memasukkan presentase air yang telah diperoleh dari penetapan konsistensi normal. Selanjutnya, aduk menggunakan spatula hingga rata, lalu bentuk menjadi bola dengan melemparkan pasta semen yang berbentuk bola ke kedua tangan sebanyak enam kali dari satu tangan ke tangan lainnya. Terakhir, masukkan bola pasta ke dalam cincin vicat lalu ratakan. Pasta semen ditepatkan di tengah-tengah cincin vicat di bawah jarum. Setelah mengunci sekrup dan menempatkan jarum peluncur pada permukaan pasta, buka sekrup selama 30 detik untuk mengeluarkan batang peluncur. Setelah mencatat pembacaan skala, lalu lakukan penetrasi dengan

jarum berdiameter 1 mm dan lakukan setiap 15 menit sampai jarum mencapai penetrasi 25 ± 1 mm.

2.4.5 Uji Berat Jenis

Untuk memastikan berat jenis agregat halus yang akan digunakan pada saat pengujian, agregat halus dalam kondisi SSD dan serbuk tulang sapi dilakukan pengujian berat jenis. Untuk menghitung desain campuran kerja campuran *paving block*, berat jenis agregat halus dan bahan pengganti yang akan digunakan harus diuji. Agregat halus direndam selama 24 jam kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan sebagai bagian dari pengujian berat jenis, sesuai dengan SNI 1970-2008. Selanjutnya, periksa kondisi SSD agregat halus. Timbang 500 gram pasir SSD. kemudian isi piknometer dengan 500 gram pasir dan tambahkan dengan aquades sampai batas pikonometer. Terakhir, kocok hingga homogen dan oven agregat halus dan serbuk tulang sapi kemudian timbang hasil akhir untuk mengetahui hasil berat jenis dari agregat halus dan serbuk tulang sapi.

2.5 Pengujian Benda Uji

Paving block harus melewati beberapa pengujian untuk memenuhi Standar Nasional Indonesia untuk *paving block* (SNI 03-0349-1996). Pengujian ini termasuk mengevaluasi karakteristik fisik dan pengukuran *paving block*, menentukan kekuatan tekannya, dan menilai daya serap airnya. Sampel *paving block* dibuat dalam satuan bulat untuk setiap pengujian.

2.5.1 Uji Sifat Fisik dan Ukuran *Paving Block*

Melakukan pengamatan visual terhadap wujud *paving* untuk mengukur ukuran ini akan dilakukan dengan alat meteran dan untuk ketebalan dilakukan pengukuran menggunakan jangka sorong.

2.5.2 Uji Kuat Tekan

Siapkan sampel *paving block* untuk dilakukan pengujian uji tekan, penampang dipotong berbentuk kubus atau sesuai dengan bentuk sampel yang akan diuji. Setelah sampel sudah siap, selanjutnya di tekan menggunakan mesin *Compression Testing Machine* selama satu atau 2 menit hingga sampel *paving block* hancur. Selanjutnya uji kuat tekan dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L}$$

Keterangan:

P = Beban yang diterima oleh benda uji (N)

L = Luas permukaan bidang tekan (mm2)

2.5.3 Uji Daya Resap Air

a. Siapkan sampel *paving block* uji serap air, lalu direndam selama 24 jam hingga air menjadi keruh.
b. Setelah 24 jam direndam, ditimbang dalam keadaan basah.
c. Setelah ditimbnag keringkan dengan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam.
d. Dalam proses pengeringan akan ditimbang 2x yang memiliki selisih tidak lebih dari 0,2% dari penimbangan sebelumnya.
e. Selanjutnya uji daya resap air dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \text{ x } 100\%$$

Keterangan:

A = Berat *Paving Block* Basah

B = Berat *Paving Block* Kering

2.6 *Literatur Review*

Berdasarkan beberapa hasil dari penelitian terdahulu mengenai subtitusi tulang sapi bisa digunakan sebagai bahan pengganti semen dikarenakan memiliki kandungan yang sama terhadap semen. Kandungan ini, yaitu kalsium oksida yang mana bisa membantu memperkuat daya lekat terhadap agregat dan bisa menambah nilai kuat tekan terhadapi *paving block*. Menurut Alfian, Andaryati, optimum penggunaan presentase serbuk tulang sapi dicapai pada nilai 20% (Ulhaq & Andaryati, 2023). Sedangkan untuk plastik PET sendiri karna memiliki sifat fisik yang tidak mudah terurai, sifat ini bisa digunakan sebagai bahan subtitusi pasir yang mana sifaf ini dapat digunakan sebagai bahan meningkatkan kekuatan pada *paving block*. Menurut (Difo Alfindo & Rita Nasmirayanti, 2022) didapatkan nilai optimum penggunaan plastik PET adalah 5 %. Dari hasil

penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa tulang sapi dan plastik PET dapat digunakan sebagai bahan subtitusi dari pembuatan *paving block* karna kandungan dan sifat yang dimiliki dari tulang sapi dan plastik PET ini bisa menambah nilai kuat tekan pada *paving block*, tetapi ada batas optimum penambahan presentase kedua bahan tersebut. Apabila presentase subtitusi yang digunakan semakin tinggi maka akan menurunkan nilai kuat tekan terhadap *paving block* itu sendiri. Dapat dilihat pada tabel 2.3 mengenai tinjauan penelitian terlebih dahulu.

Tabel 2. 3 Tinjauan Penelitian Terlebih Dahulu

Sitasi	Material yang digunakan	Presentase	Analisis	Mutu
Alfian, Andaryati, 2023	Tulang sapi	0% 10% 20%	22,53 MPa 23,25 MPa 23,96 MPa	B B B
Agung Nusantoro dan Nur Fadhilah Ramadhani, 2021	Tulang sapi	0% 2,5% 5% 7,5%	19,09 MPa 21,17 MPa 21,76 MPa 21,53 MPa	-
Desi Putri, 2022	Abu sekam + Limbah Plastik	0% 10% + 5% 10% + 10% 10 + 15% 20% + 15%	20,08 MPa 26,417 MPa 30,666 MPa 22,166 MPa 16,083 MPa	B B B B C
Difo Alfindo, Rita Nasmirayanti, 2022	Limbah plastik	0% 5% 10%	9,879 MPa 11,098 MPa 17,834 MPa	C C C
Siti Nurul Hijah, Dkk, 2022	Limbah plastik : Pasir	0% 80% : 20% 70% : 30% 60% : 40% 50% : 50%	8,3 MPa 3,7 MPa 4,3 MPa 4,8 MPa 4,6 MPa	D D D D D
Rasheed Abdulwab, Dkk, 2025	*Cow Bone*	0% 5% 10% 20%	24,79 MPa 24,2 MPa 24,93 MPa 25,32 MPa	B B B B

Sitasi	Material yang digunakan	Presentase	Analisis	Mutu
J. O. Aweda, Dkk, 2018	*Cow Bone*	10% 20% 30%	5,05 MPa 2,42 MPa 5,05 MPa	-
Fauzan, Dkk, 2023	PET *Plastic*	0% 5% 10% 15%	19.32 MPa 12,72 MPa 9,23 MPa 8,40 MPa	C C D D