

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Paving Block*

Definisi *Paving Block*

Paving block (bata beton) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *Portland* atau bahan perekat hidrolis atau sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996).

Persyaratan bentuk dan dimensi *paving block*

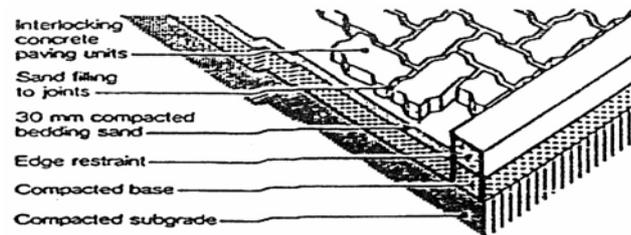
Paving block banyak ditemui di pasaran dengan beraneka bentuk dan ketebalan. Biasanya *paving* dibuat dengan panjang 200-250 mm, lebar 100-112 mm dan ketebalan berkisar antara 60, 80, 100, 120 mm, dan seterusnya. Secara umum terdapat beberapa bentuk *paving block*, yaitu *horizontally interlocking blocks*, *vertically interlocking blocks* dan *grass stones and grids*. Namun yang sering digunakan adalah tipe *horizontally interlocking blocks*, karena relatif sederhana dan murah untuk produksi serta mudah dalam pemasangannya. Adapun bentuk-bentuk *paving block* yang sering dijumpai di pasaran dapat dilihat pada gambar 2.1.

CATEGORY A	 A (1)	 B (1)	 C (1)	 D (1)	 E (1)	 F (1)
CATEGORY B	 G (2)	 H (2)	 I (2)	 J (2)	 K (2)	 L (2)
	 M (2)	 N (2)	 O (2)	 P (2)	 Q (2)	 R (1)
CATEGORY C	 S (2)	 T (2)	 U (1)	 V (2)		
NOTES	(1) Suitable for a variety of bonds including herringbone		(2) Suitable only for stretcher bond		 Blocks known to have had load-distribution studies or traffic tests	

Gambar 2.1. Klasifikasi bentuk *paving block*

Sumber: Shackel (1990, p. 18)

Di dalam perkerasan *paving block*, bagian bagian penting yang harus dimiliki adalah seperti terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2. Bagian-bagian terpenting perkerasan *paving block*

Sumber: Shackel (1990, p. 19)

2.2. Persyaratan *Paving* di Indonesia

Persyaratan tentang *paving block* di Indonesia diatur dalam SNI 03-0691-1996 yang diterbitkan oleh Dewan Standarisasi Nasional (DSN). Mengacu pada peraturan tersebut, mutu *paving block* diklasifikasikan menjadi:

paving mutu A, digunakan untuk jalan

paving mutu B, digunakan untuk pelataran parkir (pada area perumahan)

paving mutu C, digunakan untuk pejalan kaki

paving mutu D, digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

Persyaratan mutu *paving block* menurut SNI-03-0691-1996 sebagai berikut :

Sifat fisis

Bata beton untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisis seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1. Sifat-Sifat Fisik *Paving Block*

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks %
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	
A	40	35	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

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (1996, p. 4)

2.3. Persyaratan *Paving* di Australia

Untuk pemilihan tipe *block* dan ketebalan dari *paving* harus ditinjau dari klasifikasi lalu-lintas daerah masing masing :

- Tipe T1, digunakan untuk tempat parkir, halaman rumah serta daerah yang hanya dilewati sekitar 0-15 kendaraan (yang mempunyai berat kotor 3 ton) per harinya.
- Tipe T2, digunakan untuk daerah perumahan serta daerah yang hanya dilewati sekitar 15-45 kendaraan (yang mempunyai berat kotor 3 ton) per harinya.
- Tipe T3, digunakan untuk daerah perumahan dan mall serta daerah yang hanya dilewati sekitar 45-150 kendaraan (yang mempunyai berat kotor 3 ton) per harinya.
- Tipe T4, digunakan untuk jalan kecil, daerah perkotaan dengan kecepatan minimum kendaraan 60 km/jam, daerah industri serta daerah yang hanya dilewati sekitar 150-450 kendaraan (yang mempunyai berat kotor 3 ton) per harinya.
- Tipe T5, digunakan untuk jalan besar, daerah perkotaan dengan kecepatan minimum kendaraan 60 km/jam, jalan bus, daerah industri, jalan yang dilewati truk serta daerah yang hanya dilewati sekitar 450-1500 kendaraan (yang mempunyai berat kotor 3 ton) per harinya.

Sedangkan untuk bentuk *paving* block dapat dilihat pada gambar 2.1. Untuk persyaratan pemilihan tipe *block*, ketebalan dan *laying pattern* dapat dilihat secara lengkap pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Pilihan Tipe *Block*, Ketebalan dan *Laying Pattern*.

<i>Anticipated Traffic Loading</i>				<i>Required Paving units</i>			
<i>Traffic Classification</i>	<i>No. of vehicles Per day >3t gross</i>	<i>Tot Equivalent standard axle repetitions after 20 years service</i>	<i>Example of usage</i>	<i>Shape Type</i>	<i>Minimum Thickness</i>	<i>Laying Pattern</i>	<i>Strenght Grade (MPa)</i>
T1	0 -15	0-4.5x10 ⁴	<i>Multi dwelling driveways, car parks, cul-de-sacs. Mall not accepting delivery vehicles</i>	A	60 mm	H/S	35
				B	60 mm	S	35
				C	75 mm	H/S	35
T2	15 -45	4.5x10 ⁴ -1.4x10 ⁵	<i>Minor residential streets subject to garbage vehicles commercial carparks</i>	A	60 mm	H/S	35
				B	80mm	S	35
				C	80 mm	H	35

(sambungan : Tabel 2.2. Pilihan Tipe *Block*, Ketebalan dan *Laying Pattern*)

<i>Anticipated Traffic Loading</i>				<i>Required Paving units</i>			
<i>Traffic Classification</i>	<i>No. of vehicles Per day >3t gross</i>	<i>Tot Equivalent standard axle repetitions after 20 years service</i>	<i>Example of usage</i>	<i>Shape Type</i>	<i>Minimum Thickness</i>	<i>Laying Pattern</i>	<i>Strenght Grade (MPa)</i>
T3	45 -150	$1.4 \times 10^5 - 4.5 \times 10^5$	<i>Residential streets, malls accepting vehicular traffic</i>	A B C	60 mm 80 mm 100 mm	H S H	35 35 35
T4	150 – 450	$4.5 \times 10^5 - 1.4 \times 10^6$	<i>Minor through roads etc. in urban areas with 60 km/h limit. Industrial Hardstanding</i>	A	80 mm	H	45
<i>Anticipated Traffic Loading</i>				<i>Required Paving units</i>			
<i>Traffic Classification</i>	<i>No. of vehicles Per day >3t gross</i>	<i>Tot Equivalent standard axle repetitions after 20 years service</i>	<i>Example of usage</i>	<i>Shape Type</i>	<i>Minimum Thickness</i>	<i>Laying Pattern</i>	<i>Strenght Grade (MPa)</i>
T5	450– 1500	$1.4 \times 10^6 - 4.5 \times 10^6$	<i>Major through roads in urban areas within 60 km/h limit. City streets, bus interchanges. Industrial Hardstandings subject To truck traffic only</i>	A	80 mm	H	45

Notes:

1. H = Herringbone
S = Stretcher bond or basket weave
2. 80mm units may be required to cope with high point loads associated with fire lighting equipment, etc.
3. For malls laid over sound existing pavements 75mm cobblestones or 60mm Type B units may be suitable.
4. Excluding areas where straddle carries shipping containers are in use.

Sumber: Shackel (1990, p. 23)

2.4. Porous Concrete Systems

Definisi *Porous Concrete*

Menurut *Portland Cement Asociation* (2004), *porous* atau *pervious concrete* adalah tipe beton dengan porositas tinggi. Digunakan dalam aplikasi

pekerjaan konstruksi dengan permukaan datar (*flatwork*) yang memungkinkan air dari hujan maupun sumber lainnya dapat meresap menembus beton, yang mana dapat mengurangi *runoff* dari suatu lokasi dan meningkatkan pengisian kembali air tanah.

Tingginya porositas akan dicapai oleh karena berhubungan dengan tingginya kandungan rongga di dalam beton. *Pervious* atau *porous concrete* dibuat tanpa menggunakan pasir. Jika menggunakan pasir maka dipakai dalam jumlah yang sangat sedikit. *Porous concrete* dibentuk dengan pasta semen yang bersifat untuk melekatkan partikel-partikel agregat kasar satu dengan yang lainnya sehingga dapat menjaga hubungan antar rongga.



Gambar 2.3. Contoh *porous concrete*

Sumber: Portland Cement Association (Desember 2004, p. 3)

Manfaat, aplikasi, serta batasan penggunaan *porous concrete*

Menurut *New York State Stormwater Management Design Manual* (2004), manfaat dari *porous concrete* adalah sebagai berikut :

- Pengisian kembali air tanah (*groundwater recharge*).
- Mengurangi *runoff* (aliran air permukaan).
- Efektif dalam *treatment* terhadap *pollutant* baik dalam bentuk padat, logam (*metals*), dan *hydrocarbons*. Sebagai contoh, berdasarkan studi untuk sistem *porous pavement* yang dilakukan di jalan *Rockville, MD*, dan *Prince William, VA*, mengindikasikan efisiensi tinggi terhadap pengurangan *pollutant* yaitu *nitrogen*

80-85%, *phosphorus* 65%, *suspended solids* 82-95%. Di jalan *Rockville* dilaporkan terjadi pengurangan *pollutant* untuk *zinc* (99%), dan *chemical oxygen demand* (82%).

Di Australia, Amerika maupun Eropa, *porous concrete* telah diaplikasikan dalam perkerasan jalan. Area yang menggunakan *porous concrete* sebagai lapisan perkerasan jalan yaitu :

- Area dengan tingkat lalu lintas yang rendah, pedestrian, maupun *residential*.
- *Porous pavement* dapat diaplikasikan pada *highways*, dimana *porous concrete* digunakan sebagai material permukaan yang berperan untuk mengurangi *hydroplaning* (lapisan air antara roda kendaraan dengan permukaan jalan).
- *Porous pavement* dapat diaplikasikan di banyak wilayah, tetapi dalam tiap-tiap pelaksanaan memiliki tantangan yang unik karena berhubungan dengan faktor lingkungan seperti cuaca dingin.



Gambar 2.4. *Porous pavement* di Finley Stadium *parking lot*, *Chattanooga, TN*

Sumber: Portland Cement Association (Desember 2004)

Namun, *porous concrete* juga memiliki batasan-batasan didalam penggunaannya yaitu :

- Tidak ideal untuk area lalu lintas tinggi, oleh karena memungkinkan terjadinya penyumbatan.
- Tidak diperkenankan untuk digunakan di wilayah berlimbah yang dapat menyerap ke dalam tanah dan mencemari air tanah.

2.5. Mix Design Dan Material Penyusun Porous Concrete

Material yang dibutuhkan untuk membuat *porous concrete* sama dengan membuat beton *conventional*. Perbedaannya adalah *porous concrete* tidak membutuhkan *fine aggregate* (jika dipakai dalam jumlah yang sangat sedikit), dan distribusi ukuran (gradasi) *coarse aggregate* dibuat rapat dengan mempertimbangkan butiran-butiran agregat yang dipakai relatif kecil. Jenis perkerasan ini memang memberi manfaat, tetapi juga mengakibatkan suatu campuran yang memerlukan pertimbangan berbeda di dalam *mix, placing, compaction*, dan *curing*. Dibutuhkan kontrol yang serius di dalam *batch* material agar dapat menghasilkan *porous concrete* yang diinginkan. ACI 211.3 memberikan Proporsi material untuk *porous concrete* (ditunjukkan dalam tabel 2.3).

Tabel 2.3. Typical Ranges of Materials Proportions in Porous Concrete

	Proportions, lb/yd ³	Proportions kg/m ³
<i>Cementitious materials</i>	450-700	270 – 415
<i>Aggregate</i>	2000-2500	1190 – 1480
<i>Water : cement ratio (by mass)</i>	(0.27-0.34) : 1	-----
<i>Aggregate : cement ratio (by mass)</i>	(4 - 4,5) : 1	-----
<i>Fine aggregate : coarse aggregate ratio (by mass)</i>	0 : 1	-----

Sumber: *Portland Cement Association* (Desember 2004, p. 3)

- Nilai perbandingan ini diberikan hanya sebagai informasi. Keberhasilan *mix design* akan tergantung pada material yang digunakan dimana harus di tes dalam beberapa percobaan untuk menentukan proporsi yang tepat dan dapat menentukan mutu *porous concrete* yang diharapkan.
- *Admixtures* dapat digunakan dalam *porous concrete* seperti *fly ash* dan *slag*.
- Ratio yang tinggi dapat digunakan untuk air dan agregat, tetapi dapat mengurangi *strength* dan *durability* dari *porous concrete* yang dihasilkan secara signifikan.
- Penambahan *fine aggregate* akan menurunkan kandungan rongga dan meningkatkan kekuatan dari *porous concrete*.

2.5.1. Material Semen

Semen yang digunakan untuk *porous concrete* sama dengan semen yang digunakan dalam *traditional concreting* yaitu *portland cement* (ASTM C 150, C 1157) dan semen campuran (ASTM C 595, C 1157).

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling terak semen Portland dengan yang terutama terdiri dari kalsium silikat hidrat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat.

Presentasi dari oksida-oksida yang terkandung di dalam semen Portland adalah sebagai berikut :

Kapur (CaO)	: 60-66 %
Alumina (Al ₂ O ₃)	: 3-8 %
Silica (SiO ₂)	: 16-25 %
Besi	: 1-5 %

Kekuatan semen ditentukan oleh komponen-komponen C₃S dan C₂S. Kedua bahan ini merupakan 70% dari seluruh bahan semen (Husin, 2007).

2.5.2. Agregat

Fine aggregate dibatasi penggunaannya (sangat sedikit) dan *coarse aggregate* digunakan dalam ukuran yang relatif kecil sehingga dapat menjaga kerapatan gradasi karena merupakan karakteristik penting untuk *porous concrete*. Berdasarkan *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual* spesifikasi agregat yang digunakan dapat dilihat didalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.4. Spesifikasi Agregat yang Digunakan

U.S. Standard Sieve Size	Percent Passing
1/2 inch	100 %
3/8 inch	95 %
# 4	35%
# 8	15 %
# 16	10%

Sumber : New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual (2004)

Single-sized aggregate 1 inchi (25 mm) juga dapat digunakan. Tetapi, semakin besar ukuran agregat maka permukaan *porous concrete* semakin kasar. Di Florida, agregat kasar dengan ukuran 9.5 mm (*top size*) telah digunakan digunakan secara ekstensif untuk arena parkir dan aplikasi pejalan kaki atau trotoar.

2.5.3. Air

Perbandingan antara air dan semen yang digunakan adalah antara 0.27-0.30 (jika menggunakan *admixtures* perbandingan air dengan semen 0.34-0.40) telah berhasil dilakukan dalam percobaan. Hubungan antara kekuatan dan perbandingan *water*-semen tidak dapat diprediksi untuk *porous concrete*, sebab tidak sama dengan beton konvensional, dimana kandungan pasta kurang dari kandungan *voids* diantara agregat. Oleh karena itu, membuat pasta yang lebih kuat tidak harus selalu bertujuan untuk meningkatkan kekuatan keseluruhan. Kandungan air harus dikontrol dengan ketat.

2.6. Porositas

Porositas adalah nilai perbandingan dari volume pori dengan volume total suatu specimen yang dinyatakan dalam persen.

Perhitungan *void ratio* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A = \left\{ 1 - \left(\frac{(W_2 - W_1) / \rho_w}{V_1} \right) \right\} \times 100 (\%) \quad (2.1)$$

Dimana :

A = Total *void ratio porous concrete* (%)

$W_{1,2}$ = Berat specimen dalam air dan kering (kg)

V_1 = Volume specimen (mm^3)

ρ_w = Berat jenis air (kg/mm^3)

(Park, Mang, 2003)

2.7. Permeabilitas

Permeabilitas dimaksudkan untuk mengukur kemampuan dari *porous concrete* dilewati oleh air melalui pori-porinya. Permeabilitas di laboratorium dapat

ditentukan dengan dua cara yaitu pengukuran dalam tegangan tetap (*constant head*) dan pengukuran dalam tegangan berubah (*variable/falling head*). Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah ukuran butir agregat, sifat dari cairan, kadar pori, maupun susunan struktur partikel. Besarnya nilai permeabilitas dihitung dengan menggunakan rumus:

$$k = 2,303 \times (aL/At) \times \log (h_1 / h_2) \quad (2.2)$$

dimana :

k = koefisien permeabilitas (cm/detik)

a = luas pipa (cm²)

L = tinggi sampel (cm)

A = luas penampang melintang sampel (cm²)

t = jangka waktu (detik)

h₁, h₂ = ketinggian pada batas pertama dan kedua (cm)

(Sunggono, 1984).

Berdasarkan *Portland Cement Association* Sifat sifat daripada *porous concrete* dapat dilihat dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5. Sifat-Sifat Fisik dari *Porous Concrete*

	Nilai
Berat jenis	1600 – 2000 kg/m ³
<i>Porosity</i>	15 % - 25%
Kuat tekan (<i>compressive strength</i>)	3.5 MPa – 28 MPa
Permeabilitas (<i>flow-rate</i>)	120 L/m ² /min – 320 L/m ² /min (0.2 cm/detik – 0.533 cm/detik)

sumber: Portland Cement Association (Desember 2004, p. 4)

2.8. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Beton

Beton baik dalam menahan tegangan tekan daripada jenis tegangan yang lain, dan umumnya pada perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karenanya kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam banyak kasus. Faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan beton dari material

penyusunnya ditentukan antara lain oleh faktor air-semen, porositas dan faktor intrinsik lainnya (Nugraha, Antoni, 2008).

2.8.1. Faktor-faktor Intrinsik

Kekuatan beton tergantung pada:

- Kekuatan agregat, khususnya agregat kasar

Di Indonesia, agregat kasar pada umumnya baik kekuatannya (batu granit, dsb) untuk mutu beton rendah (K 175-225). Mengingat bahwa kekuatan semen sudah tertentu dan dijaga ketat dalam pembuatannya maka biasanya kekuatan beton sangat tergantung pada ikatan/lekatan (*bond*) antara semen dan agregat.

- Kekuatan pasta semen
- Kekuatan ikatan/lekatan antara semen dengan agregat.

Prioritas utama untuk kekokohan adalah ikatan. Untuk itu perlu diperhatikan jumlah semen (yang dibutuhkan untuk mengikat), kebersihan agregat (agar tidak ada kotoran yang menghalangi atau mengganggu ikatan), bentuk agregat (bentuk yang kasar ikatannya lebih baik), dan lain sebagainya.

Kekuatan pasta semen yang sesungguhnya ternyata jauh lebih kecil dari kekokohan secara teoritis, yang diperkirakan dari kohesi molekulernya. Ini disebabkan oleh adanya berbagai cacat (*flaws*). Kehancuran terjadi pada lokasi dari cacat-cacat tersebut, yaitu bagian yang terlemah. Jadi cacat dari bagian yang paling lemah akan menentukan kekuatan secara keseluruhan. Oleh karena itu bila volume semakin besar maka kekuatan semakin berkurang, sehingga kubus 20x20x20 cm³ kekuatannya akan lebih kecil dari kubus 15x15x15 cm³ dari campuran yang sama (Nugraha, Antoni, 2008).