

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Pemanfaatan teknologi pracetak terutama *paving block* dihubungkan dengan sarana transportasi, keuntungan dari penggunaan *paving block* ini adalah dari segi waktu yang lebih cepat, biaya pelaksanaanya yang murah dan perawatan yang relatif lebih mudah dibandingkan aspal.

Paving block ialah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air dan agregat dengan atau tanpa bahan penambah yang tidak mengurangi mutu beton itu (SNI 03-0691-1996)

3.1.1 Paving Block

Menurut Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar, Puslitbang Permukiman, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, menyebutkan bahwa keuntungan dari *paving block* adalah :

1. Daya serap terhadap air cukup baik, karena pemasangan antar satu dengan yang lainnya tidak menggunakan perekat/adukan semen.
2. Daya pantul sinar matahari cukup rendah.
3. Daya tahan terhadap tekanan beban cukup baik.
4. Tidak mudah pecah/lepas.
5. Pemasangannya mudah dikerjakan.
6. Proses percetakannya tidak merusak lingkungan/pencemaran.
7. Harga jadi setelah dipasang relative murah karena tidak menggunakan adukan semen, kecuali pada tepi/akhir pemasangan.
8. Pemeliharaan mudah bila terjadi kerusakan.

3.1.2 Mortar

Mortar merupakan bahan yang biasa dipakai sebagai perekat antar batu bata atau antar batu kali dalam pembuatan dinding maupun pondasi. Namun mortar juga dapat dipakai sebagai pembuat genteng beton, *paving block*, dan batako. Pada pembuatan mortar hal terpenting yang harus diperhatikan adalah kelecakan mortar. Kelecakan mortar dapat diketahui dengan menggunakan meja sebar. Berdasarkan ASTM C270-02 nilai konsistensi mortar diisyaratkan adalah 75% - 115%. Pemeriksaan nilai sebar berkaitan dengan tingkat kemudahan pengerjaan. Kelecakan mortar ini dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan dalam campuran, jumlah air yang digunakan dalam satu campuran dapat diketahui besarnya nilai factor air semen. Sifat sifat mortar yang perlu diketahui adalah kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, daya serap air, rembesan dan berat jenisnya (Tjokrodimuljo 2007).

3.1.3 Beton Serat

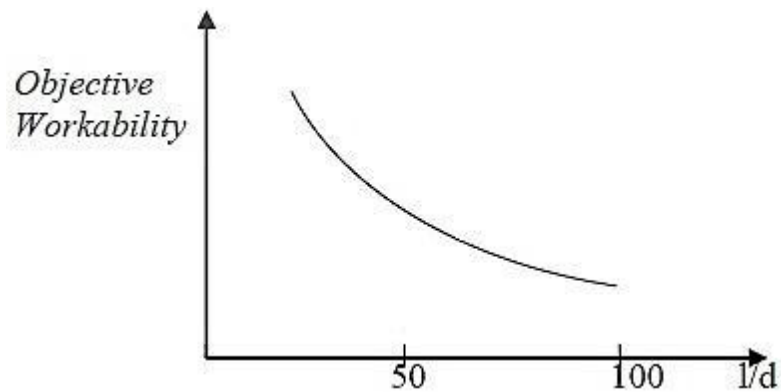
Beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat daricampuran semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah serat / *fibre*. Bahan-bahan serat yang dapat digunakan untuk perbaikan sifat beton serat antara lain baja, plastik, karbon serta serat alami. (American Concrete Institute, 2002).

Dalam pembuatan beton *fiber* ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, antara lain :

1. Aspek rasio

Aspek rasio adalah tingkat kelangsingan *fiber*. Secara empirisnya merupakan nilai perbandingan antara panjang *fiber* dengan diameter *fiber*. Semakin besar nilai aspek rasio akan semakin mengurangi kelecakan beton. Briggs (1974) meneliti bahwa batas maksimal yang masih memungkinkan untuk dilakukan pengadukan dengan mudah pada adukan beton serat adalah penggunaan serat dengan aspek rasio ($l/d < 100$). Pembatasan nilai l/d tersebut didukung dengan usaha-usaha untuk meningkatkan kuat lekat serat dengan membuat serat dari berbagai macam konfigurasi, seperti bentuk spiral, berkait, bertakik – takik atau bentuk-bentuk yang lain untuk meningkatkan kuat lekat

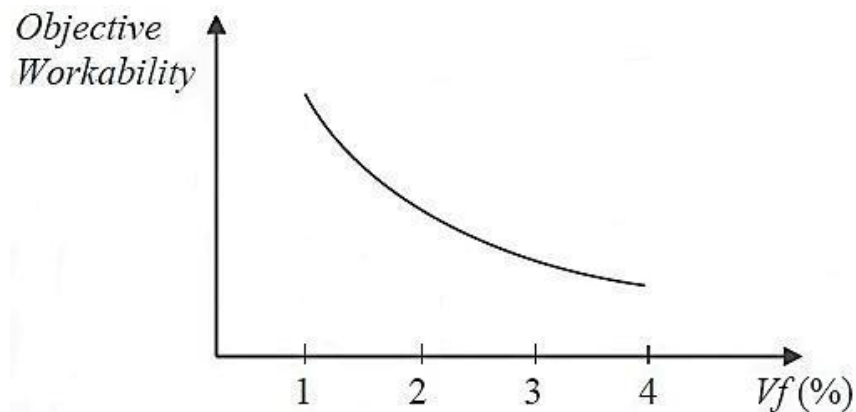
serat. Dari penelitian terdahulu (Sudarmoko,1993) penggunaan aspek rasio serat yang tinggi akan mengakibatkan terjadi *balling effect*, yaitu penggumpalan serat membentuk suatu bola serat dimana serat tidak tersebar merata. Oleh karena itu disarankan penggunaan serat dengan aspek rasio rendah ($l/d < 50$), tetapi bila panjang fiber terlalu pendek pengaruh fiber akan kurang signifikan. Pengaruh aspek rasio terhadap *workability* dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Pengaruh Aspek Rasio Terhadap *Workability*

2. Volume fraksi

Volume fraksi adalah presentase volume *fiber* yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. Semakin tinggi volume fraksi yang ditambahkan ke dalam campuran beton, maka kelecakan adukan beton akan semakin rendah. Grafik mengenai pengaruh penggunaan volume fraksi campuran beton *fiber* dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengaruh Volume Fraksi Terhadap *Workability*

3.2 Material Penyusun Paving Block

Bahan-bahan pokok penyusun *paving block* adalah semen, pasir dan air dalam proporsi tertentu. akan tetapi dalam tujuan tertentu proses pembuatannya memakai bahan tambahan misalnya kapur, abu sekam padi, serbuk kaca dan lain-lain.

3.2.1 Semen Portland

Bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain teraktanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit (SNI 15-7064-2004)

Semen portland mengandung unsur kalsium dan alumunium silika yang dibuat dari bahan utama *limestone* yang mengandung kalsium oksida(CaO), dan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO₂) serta alimunium oksida (Al₂O₃). Semen portlan mengandung unsur utama kapur, silika, alumina danoksida besi. Unsir-unsir tersebut kemudian berinteraksi satu sama lain selama proses peleburan. Presentase unsur kimia semen portland menurut (Tjokrodimulyo, 2007), dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Unsur-Unsur Dalam Semen

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

(sumber: Tjokrodimuljo, 2007)

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat menjadi satu padat. Semen bila di campur dengan air membentuk adukan pasta, dicampur dengan pasir dan air akan menjadi mortar semen. Kemudian akan terjadi proses hidrasi dimana mortar akan mengeras seiring bertambahnya umur mortar beton, beton dikatakan mengeras sempurna pada usia 28 hari, dikatakan demikian sebab beton pada usia 1 – 28 hari terjadi peningkatan yang signifikan dan setelah lebih dari 28 hari tetap terjadi peningkatan akan tetapi peningkatan yang terjadi sangatlah kecil.

Jenis portland semen di Indonesia menurut SK SNI S-04-1989-F di bedakan menjadi beberapa jenis diantaranya sebagai berikut :

- Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum tanpa memerlukan persyaratan khusus.
- Jenis II : Semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap silfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.

Jenis IV : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

Jenis V : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

3.2.2 Air

Air dalam campuran beton diperlukan untuk reaksi semen, serta menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang digunakan dalam pembuaan beton harus bebas dari bahan-bahan merugikan seperti lumpur, tanah liat, bahan organik dan asam organik, alkali dan bahan-bahan lainnya, sedangkan persyaratan air yang digunakan untuk campuran beton adalah :

1. Tidak mengandung lumpur, minyak atau benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang merusak beton (asam dan zat organik) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan khlorida (Cl) tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 ppm sebagai SO_3 .
3. Air harus bersih.
4. Tingkat keasaman (pH) normal
5. Jika dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang memakai air suling, penurunan kekuatan adukan yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Semua air yang mutunya meragukan dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaian.

Jumlah air akan mempengaruhi sifat mudah dikerjakan (*workability*) beton segar, kualitas beton segar dan kekuatan beton. Jumlah air ini ditentukan oleh perbandingan berat terhadap berat semen atau faktor air semen (fas) dan tingkat kemudahan pekerjaan. Nilai fas kurang dari 0,35 meyebabkan beton segar sulit untuk dikerjakan tanpa bahan tambah. Kelebihan air berdasarkan fas dari yang dibutuhkan untuk reaksi kimia dengan semen dipakai sebagai pelumas.

Penambahan air dari jumlah air berdasarkan fas dengan tujuan meningkatkan kemudahan pengerjaan akan mengakibatkan kualitas beton menurun.

Hubungan antara faktor air semen (fas) dan kuat tekan beton, secara umum ditulis dengan rumus sebagai berikut :

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5x}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

- $f'c$ = kuat tekan beton
- x = f.a.s (yang semula dalam proporsi volume)
- A, B = konstanta

Walaupun menurut rumus tersebut, semakin rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, tetapi karena kesulitan pemadatan bila dipakai fas $\pm 0,40$ kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena beton kurang padat akibat pemadatan yang sulit. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum.

3.2.3 Pasir

Dalam susunan beton, agregat mempunyai volume paling besar yaitu anatra 60-80 % dari volume beton, dengan demikian sifat agregat yang dipakai sangat mempengaruhi kualitas beton. Untuk itu diperlukan data yang jelas mengenai agregat yang akan digunakan dalam campuran beton, sehingga komposisi campuran dapat direncanakan dengan tepat, sesuai dengan kualitas beton yang diinginkan (Tjokrodinuljo 2007). Penggunaan agregat dalam adukan beton bertujuan sebagai berikut :

1. Menghemat penggunaan semen
2. Menghasilkan kuat tekan beton yang besar
3. Memperoleh kepadatan beton optimal dengan memanfaatkan gradasi agregat yang baik.
4. Menjadikan sifat dapat dikerjakan pada adukan beton dengan memakai gradasi agregat yang baik.

Sesuai dengan (SK SNI-S-04-1989-F:28) tentang Spesifikasi Agregat sebagai Bahan Bangunan, maka agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras.
2. Butiran-butiran pasir harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau mudah hancur akibat pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.
3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat pembanding). Yang dimaksud lumpur adalah bagian dari benda uji yang lolos ayakan 0.063 mm. Apabila kandungan lebih dari 5% maka pasir harus dicuci/
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *abrams-Harder* (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat dipakai asal kuat tekan adukan pada umur 7 hari dan 28 hari adalah tidak kurang dari 95% kekuatan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci dengan air hingga bersih lagi pada umur yang sama.
5. Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 s/d 3,8 dan terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut daerah I, II, III atau IV (lihat Tabel 3. Dan Gambar 3.3) dan memenuhi syarat-syarat :
 - a. Sisa di atas ayakan 4.8 mm, minimal 2% berat.
 - b. Sisa di atas ayakan 1,2 mm, minimal 10% berat.
 - c. Sisa di atas ayakan 0,30 mm, minimal 15% berat.
6. Untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
7. Pasir larut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pengujian bahan yang diakui.
8. Agregat halus yang digunakan untuk spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan agregat untuk pasir pasangan.

3.2.3 Kadar Air Pasir

Kadar air pasir dihitung berdasarkan perbandingan berat pasir dalam kondisi jenuh kering muka SSD (*saturated surface dry*) dikurangi berat pasir kondisi kering tungku. Pasir dalam kondisi jenuh kering muka(SSD) adalah pasir yang permukaannya kering. Tetapi butir-butirannya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran-butiran agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah air bila dipakai dalam campuran adukan beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Menurut (Soetjipto dalam Komarudin 2004, dalam Andi 2017) kadar air pasir ditentukan dengan rumus:

$$W = \frac{(a-b)}{b} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Dengan :

- a = Berat pasir yang dihitung kadar airnya (gram)
- b = Berat pasir setelah kering tungku (gram)
- W = Kadar air (dalam %)

3.2.4 Serat Ijuk

Menurut Perumalsamy N Belaguru dan Surendra P. Shah dalam *Fiber-Reinforced Cement Composites* menjelaskan bahwa banyak sekali yang bisa digunakan sebagai suatu serat untuk perkerasan, baik bersifat buatan dan alam.

Serat yang bersifat buatan atau olahan anatra lain :

1. *Acrylic*
2. *Nylon*
3. *Polyster*
4. *Polyethylene*
5. *Carbon*
6. *Glass*

Serat yang bersifat alami antara lain :

1. Bambu

2. Serat sabut kelapa
3. *Flax and Vegetable*
4. Kayu

Didalam buku tersebut telah dipaparkan berbagai macam jenis fiber. Serat ijuk merupakan jenis wood yang akan digunakan. Serat ijuk didapat helaian benang-benang dari pohon aren.

Serat ijuk banyak dan mudah didapat dipasaran pada umumnya. Serat ijuk mempunyai sifat kaku, ulet, tidak mudah busuk. Serat ijuk juga tahan terhadap genangan air yang asam termasuk air laut. Serat ijuk mempunyai dimensi diameter $< 0,5$ mm dan panjang relative. Rasio (l/d) serat ijuk yang baik antara 50-100. Dengan begitu serat ijuk ini diharapkan mampu memberi efek yang positif yang digunakan sebagai serat dalam pembuatan *paving block*.

3.2.5 Silica fume

Silica fume adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi silica lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silicon. *Silica fume* mempunyai warna yang bervariasi dari kelabu muda sampai kelabu tua. Dengan kadar *silicon dioxide* sebesar 85-95% kandungan silika pada *silica fume* akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada semen yang tidak habis bereaksi dengan air.

Salah satu yang mengandung silika adalah kaca yang dijelaskan dalam tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Gelas

Jenis Kaca	Clear Glass (%)	Amber Glass (%)	Green Glass (%)	Pyrex Glass (%)
SiO ₂	73,2-72,4	71-72,4	71,27	81
Al ₂ O ₃	11,7-1,9	1,7-1,8	2,22	2
Na ₂ O+K ₂ N	13,6-14,1	13,8-14,4	13,06	4
CaN+MgO	10,7-10,8	11,6	12,17	-
Mineral lain	0,24-0,29	0,4-0,45	1,28	15,72-16,72

(sumber : Setiawan, 2006)

3.3 Kuat Tekan *Paving Block*

Kuat tekan *paving block* adalah beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji *paving block* hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Salah satu karakteristik kualitas yang harus dimiliki *paving block* adalah kekuatan tekan. Kualitas *paving block* semakin baik jika memiliki kuat tekan yang tinggi.

Kuat tekan satu benda uji dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\sigma'b = P/A \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan :

$\sigma'b$ = Tegangan kuat tekan benda uji

P = Beban tekan *ultimate*

A = Luas permukaan

Sedangkan untuk menghitung kuat tekan rata-rata dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma'bm = \frac{\sum \sigma'ib}{n} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan :

$\sigma'bm$ = Kuat tekan rata-rata

$\Sigma\sigma'b$ = Jumlah total tegangan kuat tekan

n = Jumlah benda uji

3.4 Daya Serap Air

Bahan penyusun dalam *paving block* yang terbesar adalah agregat, pada umumnya agregat yang dipakai adalah agregat halus/pasir. Oleh karena itu sifat-sifat agregat dalam menyerap air akan mempengaruhi daya serap air pada *paving block*.

Penyerapan air pada *paving block* perlu dilakukan dengan pengujian daya serap air di laboratorium. Pelaksanaan pengujian daya serap air dimulai dengan penimbangan berat basah. *Paving block* dikeringkan di dalam oven pada suhu kurang lebih 105° C selama 24 jam. *Paving block* kemudian ditimbang untuk mengetahui berat kering.

Daya serapan air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Daya serap air} = \frac{wb-wk}{wk} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan :

wb = Berat benda uji basah

wk = Berat benda uji kering

3.5 Kuat Tarik *Paving Block*

Paving block secara struktural mempunyai kuat tekan yang tinggi, tapi *paving block* mempunyai kuat tarik yang rendah dan bersifat getas. *Paving block* mudah retak atau hancur akibat dari fungsi *paving block* yang hanya untuk menahan kuat tekan. Oleh karena itu untuk meningkatkan kekuatan dan kualitas dalam menahan gaya tarik dapat dilakukan dengan memerikan bahan tambah.

Pada *British Standard* EN 1338 2003 pengujian tarik belah dilakukan dengan standar seperti rumus dibawah ini:

$$T = 0.637 \frac{P}{S} k \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan :

T = Kuat tarik *paving block* (Mpa)

P = Besar beban saat benda uji pecah (N)

S = Luas bidang kerusakan (mm)

k = Faktor koreksi

Tabel 3.3 Faktor Koreksi Untuk Ketebalan *Paving Block*

Tebal (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

(sumber : *British Standard* EN 1338 2003)

3.6 Ketahanan Aus

Ketahanan aus merupakan sebuah parameter yang penting bagi material yang sering bergesekan dengan benda lain, karena tingkat keausan menentukan umur pakai material tersebut. Indikasi yang menunjukkan bahwa material tersebut tahan aus adalah kecilnya pengurangan massa akibat pergesekan.

Menurut SNI 03-0691-1996 ketahanan aus dihitung dengan rumus:

$$D = 1,26 G \times 0,0246 \dots \dots \dots (3.7)$$

Dengan :

D = Ketahanan Aus (mm/detik)

G = Kehilangan Berat/Lama Pengausan (gr/menit)