

BAB III

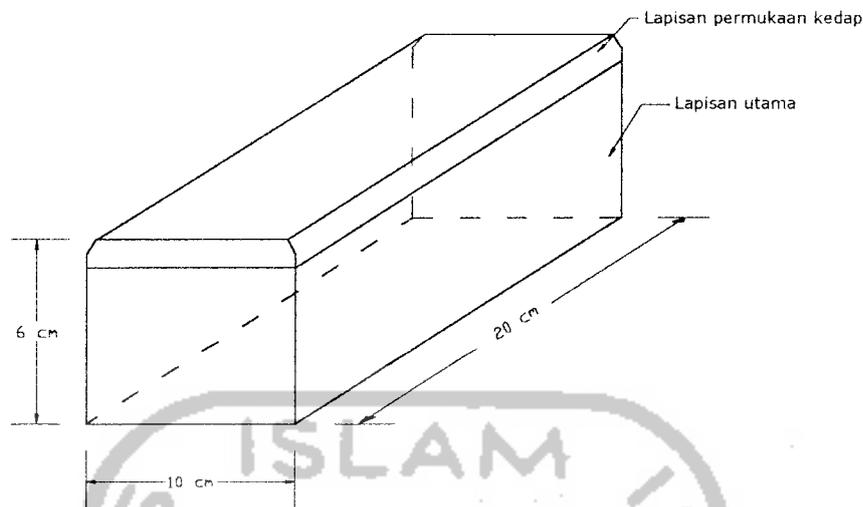
LANDASAN TEORI

3.1 *Pavingblock*

Pavingblock adalah adukan kering yang dibuat dengan cara pemadatan dan tersusun dari campuran pasir dan semen *portland*. (H. Frick, Ch. Koesmartadi, 1999).

SII 0819-88 mendefinisikan *pavingblock* sebagai suatu komposisi bahan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu *pavingblock* tersebut.

Bentuk *pavingblock* bermacam-macam, diantaranya segi empat (*holand*), *uni*, *trihek* dan segi enam. Bentuk *pavingblock* yang paling banyak dipakai dan disukai di Indonesia adalah *pavingblock* berbentuk segi empat. Hal ini karena keterkaitan dengan bentuk yang sederhana, menarik dan kekuatan desaknya. Berdasarkan beberapa penelitian dinyatakan bahwa *pavingblock* yang berbentuk segi empat ini mempunyai kuat desak yang lebih kuat dibanding bentuk lainnya sehingga direkomendasikan untuk dipakai pada pekerjaan konstruksi yang membutuhkan kekuatan desak yang tinggi. *Pavingblock* bentuk segi empat ini mempunyai ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm seperti terlihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 *Pavingblock* Segi Empat (Holand)

Bentuk dan mutu *pavingblock* yang beragam, menjadikan *pavingblock* banyak dipakai pada berbagai pekerjaan konstruksi antara lain sebagai perkerasan jalan baik jalan raya maupun jalan lingkungan, trotoar, carport dan lainnya. Hal ini membuat *pavingblock* menjadi salah satu produk konstruksi yang paling diminati banyak pihak sehingga *pavingblock* diproduksi dalam jumlah besar (massal) dan melibatkan banyak tenaga kerja. Kelebihan-kelebihan *pavingblock* lainnya pun memberikan kontribusi pada pemanfaatannya secara luas oleh masyarakat. Adapun kelebihan-kelebihan *pavingblock* adalah sebagai berikut ini (Haning, 1993).

1. Biaya pemeliharaan yang ringan dan mudah untuk perbaikannya sehingga gangguan operasional dapat ditekan serendah mungkin. Hal ini sangat penting bagi jalan yang melayani jalur perekonomian, dimana gangguan terhadap kelancaran lalu lintas tidak dapat ditolerir.
2. *Pavingblock* dengan mudah dibongkar kembali tanpa menghilangkan kemampuan *pavingblock* dalam memikul beban, maka perbaikan dari perkerasan yang mengalami penurunan cukup besar menjadi lebih mudah.

3. Perkerasan *pavingblock* sangat tahan terhadap beban vertikal dan gaya horizontal yang disebabkan oleh pengereman, perlambatan atau percepatan dari kendaraan, serta pada tempat penumpukan peti kemas.
4. Mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap bahan bakar minyak atau oli yang tumpah.
5. Perkerasan *pavingblock* dapat segera dibuka untuk lalu lintas setelah pemasangannya selesai.
6. *Pavingblock* juga dapat diangkat bilamana diadakan penggalian pada badan jalan (seperti galian untuk pipa-pipa dan kabel listrik) untuk kemudian dipasang kembali dengan biaya murah. Hal ini sangat berguna untuk daerah-daerah perkotaan.
7. Bentuk yang beragam menjadikan perkerasan yang menggunakan *pavingblock* mempunyai banyak pilihan bentuk sehingga estetis perkerasan dapat diperlihatkan.

Pavingblock tersusun dari semen, agregat dan air. Pada umumnya agregat yang dipakai adalah agregat halus (pasir) apa adanya tanpa pengolahan. Kadang pemakaian bahan tambah dengan maksud untuk menggantikan bahan susun yang lebih mahal harganya. Semua bahan susun diaduk dan dicampur dengan air pada suatu tempat atau wadah. Setelah pengadukan merata di seluruh campuran, dilakukan pembuatan *pavingblock* dengan cara memadatkan campuran dalam cetakan *pavingblock* yang terbuat dari baja. Dikenal dua cara pemadatan campuran *pavingblock* yaitu pemadatan mekanis yang menggunakan peralatan mesin hidrolis dan pemadatan manual atau pemadatan “geblukan” yang dilakukan dengan cara memukul keras-keras campuran pada cetakan dengan plat baja.

3.1.1 Bahan Susun *Pavingblock*

3.1.1.1 Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen *portland* (*portland cement*) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan *gips* sebagai bahan tambah (PUBI, 1982). Fungsi semen ialah merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Juga berfungsi untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

Semen *portland* diperoleh dengan cara mencampur dan membakar bahan dasar semen yaitu kapur, silika dan alumina pada suhu 1550°C dan menjadi klinker. Setelah itu dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Biasanya ditambahkan *gips* atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2 – 4 % sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995)

Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air. Reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Walaupun demikian pada dasarnya dapat disebutkan empat unsur yang paling penting yaitu :

- a. Trikalsium Silikat (C_3S) atau 3CaO SiO_2

Sifatnya hampir sama dengan sifat semen pada umumnya yaitu apabila ditambah air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton/*pavingblock* pada awal umurnya, terutama dalam 14 hari pertama. Kandungan C_3S pada semen *portland* rata-rata 45 % dan menimbulkan panas hidrasi ± 500 joule/gram.

b. Dikalsium Silikat (C_2S) atau $2 CaO SiO_2$

Pembentukan senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas 250 joule/gram. Senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 sampai dengan 28 hari dan seterusnya. Proporsi yang banyak dalam semen menyebabkan semen mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap agresi kimia yang relatif tinggi, penyusutan kering relatif rendah.

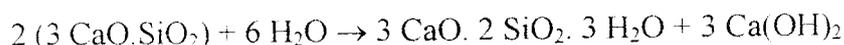
c. Trikalsium Aluminat (C_3A) atau $3 CaO Al_2O_3$

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat dan menimbulkan panas hidrasi yang yaitu 850 joule/gram, menyebabkan pengerasan awal satu sampai dua hari, tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan *holands*. Kurang tahan terhadap agresi kimiawi. Paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah dan tendensinya sangat besar untuk retak oleh perubahan volume. Kandungan senyawa ini pada semen *portland* bervariasi antara 7 sampai dengan 15 %.

d. Tetrakalsium Aluminoferit (C_4AF) atau $4 CaO Al_2O_3 Fe_2O_3$

Senyawa ini tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lainnya. C_4AF menimbulkan panas hidrasi sebesar 420 joule/gram dengan kandungan rata-rata 8 %.

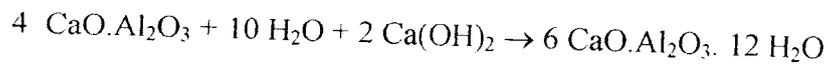
Semen *portland* dengan air akan terhidrat dan membentuk beton atau *pavingblock* yang keras. Proses pengerasan semen *portland* setelah berhubungan dengan air berjalan sebagai berikut :



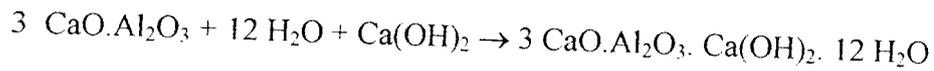
(*Turbumoit*)



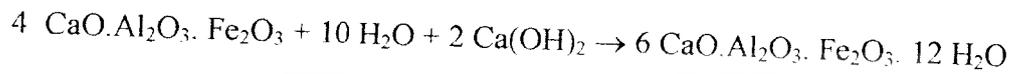
(*Turbumoit*)



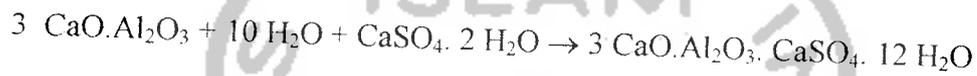
(Kalsium Alumino Ferrit Hidrat)



(Tetra Kalsium Aluminat Hidrat)



(Kalsium Alumino Ferrit Hidrat)



(Kalsium Monosulfat Aluminat)

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat senyawa di atas dapat menghasilkan beberapa jenis semen dengan tujuan pemakaiannya. Jenis semen yang dimaksud adalah (PUBI, 1982) :

- a. Jenis I : Semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus.
- b. Jenis II : Semen untuk beton tahan sulfat dan mempunyai panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III : Semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
- d. Jenis IV : Semen untuk beton yang memerlukan panas dihidrasi rendah.
- e. Jenis V : Semen untuk beton yang sangat tahan sulfat.

Bilamana semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung dalam arah ke luar dan ke dalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya kecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2 – 5 jam (yang disebut periode induksi atau tak aktif) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah. (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995)

Pada tahapan hidrasi berikutnya, fase semen terdiri dari gel (suatu butiran sangat halus hasil hidrasi, memiliki luas permukaan yang amat besar) dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida Ca(OH)_2 , dan air, dan beberapa senyawa yang lain. Kristal-kristal dari beberapa senyawa yang dihasilkan membentuk suatu rangkaian tiga dimensi yang saling melekat secara random dan kemudian sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang mula-mula ditempati air, lalu menjadi kaku dan muncullah suatu kekuatan yang selanjutnya mengeras menjadi benda yang padat dan kuat. Dengan demikian paste semen yang telah mengeras memiliki struktur yang berpori, dengan ukuran pori yang bervariasi dari yang sangat kecil (4×10^{-7} mm) sampai yang lebih besar. Pori-pori ini disebut pori-pori gel. Pori-pori gel ini mempengaruhi kuat desak pasta semen (juga *pavingblock*-nya). Kelebihan air akan mengakibatkan pasta semen berpori lebih banyak sehingga hasilnya kurang kuat dan juga lebih porus (berpori lebih banyak).

3.1.1.2 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (beton). Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar (beton). Walaupun namanya sebagai pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar / betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan mortar / beton. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995)

Agregat berdasarkan besar butiran dibedakan menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran maksimum 4,75mm

(lolos saringan no. 4), sedangkan agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari 4,75mm. Agregat halus berupa pasir sedangkan agregat kasar dapat berupa kerikil atau batu pecah. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995)

Maksud dari penggunaan agregat dalam campuran *pavingblock* adalah menghemat penggunaan semen, menghasilkan kekuatan desak yang besar, mengurangi susut pengerasan *pavingblock*, mencapai susunan pampat *pavingblock*-nya dengan gradasi yang baik dari butirannya. Penggunaan agregat juga ditujukan untuk mengontrol sifat dapat dikerjakan (*workability*) campuran *pavingblock* dengan gradasi baik dan menurunkan biaya bahan baku karena penggunaan agregat akan menghemat penggunaan semen.

Dalam perancangan campuran faktor kelembaban (*humidity*) agregat memegang peranan yang cukup penting, dalam hal ini berkaitan dengan faktor air semen (*fas*) yang terjadi khususnya pada *pavingblock*.

Kondisi kelembaban suatu agregat dapat dibagi antara lain sebagai berikut :

1. *Oven dry* (kering tungku). Kondisi ini biasanya dapat dicapai melalui proses pemanasan pada tungku, sehingga agregat mencapai kekeringan total.
2. *Air dry* (kering udara). Pada kondisi ini agregat masih mengandung air sebagian (tidak jenuh).
3. *Saturated surface dry* (jenuh kering muka). Pada kondisi ini agregat jenuh air tetapi permukaannya kering dan tidak menyerap air serta tidak menambah kandungan air pada campuran yang ada.
4. *Damp / wet* (lembab / basah). Pada kondisi ini agregat sudah melampaui keadaan jenuhnya sehingga pada permukaan agregat terlihat mengalami basah.

Bentuk agregat dapat bulat, bulat sebagian, bersudut tajam, panjang dan pipih. Rongga udara yang terdapat dalam agregat normal berkisar antara 33% sampai 40%. Besarnya rongga udara dalam adukan mortar akan menentukan kekuatan mortar. Oleh karena itu dalam campuran mortar rongga udara seharusnya dibuat serendah mungkin. Pada umumnya pasir dengan rongga udara yang kecil lebih disukai karena hanya memerlukan pasta semen yang sedikit untuk mendapatkan mortar dengan kekuatan tinggi. Pasir yang memiliki bentuk bulat ikatan antar butir-butirnya relatif lebih kecil dibandingkan dengan pasir yang berbentuk tajam dan bersudut (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996).

Faktor yang mempengaruhi kekuatan *pavingblock* adalah adanya udara yang terjebak dalam suatu butiran agregat, maka akan terbentuklah lubang atau lubang kecil dalam agregat itu yang umumnya disebut pori. Pori ini mempunyai ukuran yang bervariasi dan tersebar diseluruh badan butiran. Karena agregat menempati sampai 75% volume *pavingblock*, maka porositas agregat memberikan kontribusi pada porositas *pavingblock* secara keseluruhan. Porositas atau kepadatan inilah yang sangat berpengaruh sekali terhadap kekuatan agregatnya dan juga kekuatan *pavingblock*.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap kekuatan *pavingblock* adalah distribusi ukuran butiran agregat atau biasa disebut gradasi agregat. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memiliki ukuran butiran yang beragam karena akan menghasilkan volume pori yang kecil. Hal ini disebabkan butiran yang kecil mampu mengisi pori-pori diantara butiran yang lebih besar sehingga kemampatannya tinggi.

Menurut PUBLI-82 pasir harus memenuhi persyaratan sebagai berikut ini.

- a. Kadar lumpur tidak lebih dari 5%.

- b. Pasir beton harus bersih. Bila diuji memakai larutan pencuci khusus, tinggi endapan pasir yang kelihatan dibandingkan dengan tinggi seluruh endapan tidak kurang dari 70%.
- c. Modulus halus butir berkisar antara 2,2 – 3,2.
- d. Pasir tidak boleh mengandung zat organik yang dapat mengurangi mutu beton. Untuk itu bila direndam dalam larutan NaOH, cairan endapan diatas tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
- e. Kekekalan terhadap larutan Na_2SO_4 , fraksi yang hancur tidak lebih dari 12% berat dan kekekalan terhadap larutan MgSO_4 , fraksi yang hancur tidak lebih dari 10% berat.

3.1.1.3 Air

Air merupakan bahan dasar penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan untuk bahan pelumas antara agregat, agar dapat dengan mudah beton dikerjakan dan dipadatkan. (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995)

Air yang dipergunakan dalam pembuatan beton harus bebas dari bahan-bahan yang merugikan seperti lumpur, tanah liat, bahan organik dan asam organik, alkali dan garam-garam lainnya. Tidak ada batasan khusus yang harus dapat diberikan untuk garam-garam terlarut, tetapi bila air jernih tidak terasa asin atau payau, maka air dapat digunakan dengan aman. (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995)

Secara umum air yang dapat dipakai untuk bahan campuran *pavingblock* ialah air yang apabila dipakai akan menghasilkan *pavingblock* dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan *pavingblock* yang memakai air suling.

Kekuatan *pavingblock* akan berkurang jika air yang dipakai untuk bereaksi hidrasi dengan semen berlebihan. Perlu dicatat tambahan air sebagai pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan *pavingblock* akan menjadi rendah serta menjadi porous.

3.1.2 Syarat Mutu

Adapun syarat mutu *pavingblock* yang ditetapkan oleh SII 0819-88 adalah sebagai berikut ini.

a. Sifat Tampak

Holand beton untuk lantai harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

b. Bentuk dan Ukuran

Bentuk dan ukuran *holand* beton untuk lantai dapat tergantung dari persetujuan antara pemakai dan produsen. Setiap produsen harus memberikan penjelasan tertulis dalam pamflet mengenai bentuk, ukuran dan konstruksi pemasangan *holand* beton untuk lantai. Penyimpangan tebal *holand* beton untuk lantai diperkenankan ± 3 mm.

c. Sifat Fisik

Holand beton untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisik sebagaimana yang terlihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Kekuatan Fisik *Holand* Beton Untuk Lantai

Mutu	Kuat Tekan (kg/cm ²)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Daya Serap Air Rata-Rata (%)
	Rata-Rata	Terendah	Rata-Rata	Terendah	
I	400	340	0,090	0,103	3
II	300	255	0,130	0,149	5
III	200	170	0,160	0,184	7

Sumber : SII 0819-88

3.1.3 Kuat Desak *Pavingblock*

Kuat desak *pavingblock* adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji *pavingblock* hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu.

Pada dasarnya *pavingblock* yang baik adalah *pavingblock* yang memiliki kuat desak, daya serap air rendah, susut berat kecil, tahan aus, tahan terhadap cuaca dan juga tahan terhadap zat kimia yang akan merusak mutu *pavingblock*. Apabila kuat desak tinggi, maka sifat dan karakteristik lainnya cenderung baik.

Kuat desak *pavingblock* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain sebagai berikut ini.

1. Kuat ikat pasta semen, ditentukan oleh mutu bahan ikat dan kualitas air. Dengan digunakannya mutu ikat yang tinggi dan kualitas air yang memenuhi syarat, maka akan dihasilkan *pavingblock* dengan kuat desak yang tinggi.
2. Homoginitas campuran dalam adukan *pavingblock*, yaitu saling mengisi antara bahan-bahan penyusun *pavingblock* secara merata sehingga diperoleh adukan yang merata, mampat dan tidak terjadi pengelompokan bahan penyusun *pavingblock* yang dapat mengakibatkan terbentuknya rongga-rongga.

3. Perbandingan jumlah bahan penyusun secara proporsional, jumlah bahan-bahan penyusun dengan perbandingan yang proporsional akan menjadikan bahan-bahan saling mengisi dan dapat menghasilkan *pavingblock* yang lebih padat dan homogen.
4. Kepadatan dan cara pemadatan *pavingblock*, dapat dipengaruhi oleh penggunaan jumlah bahan penyusun secara proporsional dan pengadukan yang merata sehingga terbentuk campuran yang baik dan homogen. Semakin padat *pavingblock* maka semakin sedikit rongga yang terbentuk sehingga kuat desak semakin tinggi. Pemadatan secara manual yaitu memukul kuat-kuat pada campuran yang akan dicetak (geblukan) akan menghasilkan *pavingblock* yang kurang padat (mampat) dibanding dengan pemadatan secara mekanis yang menggunakan mesin hidrolis, sehingga *pavingblock* dengan pemadatan cara manual lebih rendah kuat desaknya daripada *pavingblock* dengan pemadatan mekanis.

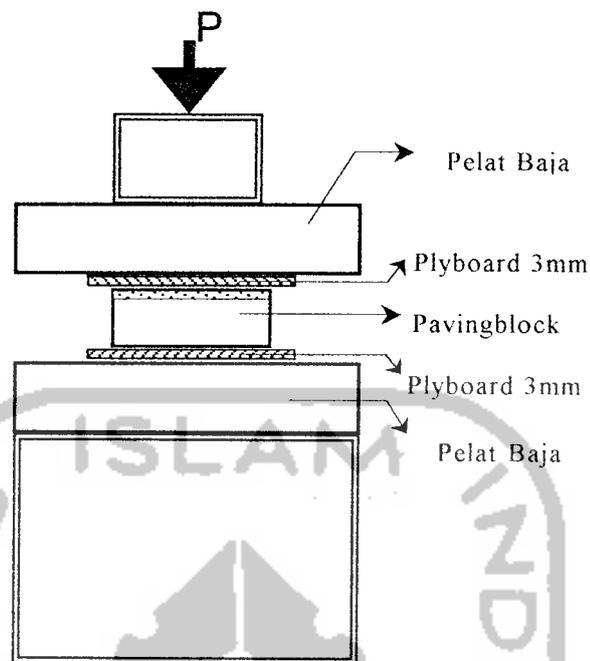
Selain faktor-faktor diatas diatas, kuat desak *pavingblock* dipengaruhi pula oleh faktor lainnya antara lain seperti di bawah ini.

1. Jenis semen dan kualitasnya sangat mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat *holands pavingblock*.
2. Jenis dan bentuk bidang permukaan agregat, pada kenyataannya penggunaan agregat dengan permukaan yang kasar akan menghasilkan *pavingblock* dengan kuat desak yang lebih besar daripada penggunaan agregat dengan permukaan yang halus.

3. Efisiensi perawatan (*curing*), kehilangan kekuatan sampai sekitar 40% dapat terjadi apabila pengeringan diadakan sebelum waktunya, sehingga dibutuhkan perawatan yang cukup besar agar proses hidrasi semen dan air berlangsung sempurna terhadap evolusi pembebanan panas pada suhu dalam *pavingblock*.
4. Faktor umur, pada keadaan yang normal kekuatan *pavingblock* bertambah sesuai dengan umurnya. Pengerasan berlangsung terus menerus secara lambat sampai beberapa tahun.
5. Mutu agregat, pada kenyataannya kekuatan atau ketahanan aus (abrasi) agregat besar pengaruhnya terhadap kekuatan desak *pavingblock*.
6. Faktor suhu, kekuatan *pavingblock* setelah umur beberapa hari bertambah bila suhu selama perawatannya bertambah.

Pengujian kuat desak *pavingblock* dilakukan terhadap benda uji *pavingblock*. Ada beberapa metode pengujian kuat desak *pavingblock* yang dilakukan di beberapa negara seperti di Kanada dan Afrika Selatan. Di Indonesia sendiri belum ada standar pengujian kuat desak *pavingblock* yang baku sehingga untuk melakukan pengujian kuat desak *pavingblock* dapat menerapkan metode pengujian kuat desak *pavingblock* Afrika Selatan.

Metode uji kuat desak *pavingblock* Afrika Selatan ini mensyaratkan *pavingblock* diletakkan di antara dua lapis triplek ukuran 3 mm. Pada triplek atas diberi beban desak secara bertahap sampai *pavingblock* mengalami kehancuran. Kekuatannya berdasarkan pada area luasan *pavingblock* yang digunakan. Tidak ada penyesuaian yang dibuat untuk kekuatan yang didapat untuk memperhitungkan ketebalan *pavingblock*. Untuk lebih jelas, dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Pengujian Kuat Desak *Pavingblock* Cara Afrika Selatan

Pengujian kuat desak *pavingblock* berdasarkan atas benda uji umur 7, 14 dan 28 hari. Kekuatan desak *pavingblock* dihitung menggunakan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dimana : $f'c$ = kuat desak *pavingblock* (kg/cm^2)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm^2)

Hasil pengujian pada *pavingblock* perlu diperiksa perkiraan kuat desak dari keseluruhan benda uji *pavingblock* yang telah diuji. Pada penelitian ini standar deviasi untuk keseluruhan benda uji dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (f'cn - f'cb)^2}{(n-1)}}^{0.5}$$

dimana : Sd = standar deviasi (kg/cm^2)

f'_{cn} = kuat desak *pavingblock* yang didapat dari masing-masing benda uji (kg/cm^2)

f'_{cb} = kuat desak *pavingblock* rata-rata (kg/cm^2)

Sedangkan nilai kuat desak rata-rata (*mean*) *pavingblock* dihitung dengan perhitungan sebagai berikut ini.

$$f'_{cb} = \frac{\sum f'_{cn}}{n}$$

dimana : f'_{cb} = kuat desak *pavingblock* rata-rata (kg/cm^2)

f'_{cn} = kuat desak *pavingblock* yang didapat dari masing-masing benda uji (kg/cm^2).

n = jumlah seluruh nilai hasil pengujian.

Dalam pengumpulan data uji yang diperoleh selama satu periode, dikerjakan dengan mengambil rata-rata dengan menunjukkan nilai maksimum dan minimum. Namun gambaran semacam ini kurang memberi petunjuk yang berarti karena kerap kali hasilnya menyimpang dari rata-rata. Oleh karena itu petunjuk yang memberikan gambaran besarnya penyimpangan terhadap nilai rata-ratanya biasa disebut dengan “indeks standar deviasi” atau “koefisien variasi” yang dinyatakan dalam persentase terhadap rata-rata. Koefisien variasi secara matematis adalah sebagai berikut :

$$kv = \frac{Sd}{f'_{cb}} \times 100\%$$

dimana : kv = koefisien variasi (%)

Sd = standar deviasi (kg/cm^2)

f'_{cb} = kuat desak *pavingblock* rata-rata (kg/cm^2)

3.1.4 Daya Serap Air

Penyusun *pavingblock* terbesar adalah agregat, dimana pada umumnya agregat yang dipakai adalah agregat halus (pasir). Oleh karena itu sifat-sifat agregat dalam hal menyerap air akan sangat mempengaruhi daya serap air *pavingblock*.

Adanya udara yang terjebak dalam agregat ketika pembentukannya atau karena dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca, maka terbentuklah lubang atau rongga kecil di dalam butiran agregat itu, yang umumnya disebut dengan pori (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995). Pori-pori tersebar di seluruh *pavingblock*, beberapa merupakan pori-pori yang tertutup dalam materi, beberapa yang lainnya terbuka terhadap permukaan butiran.

Karena agregat menempati sampai dengan 75% volume *pavingblock* maka porositas agregat memberikan kontribusi pada porositas *pavingblock* secara keseluruhan.

Pada saat pencetakan, pemadatan pada campuran *pavingblock* yang akan dicetak kerap kurang keras tekanannya. Kurang kerasnya pemadatan ini terlebih pada pemadatan secara manual (geblukan) akan menimbulkan adanya rongga-rongga pada *pavingblock* yang juga disebut dengan pori *pavingblock*. Pori-pori ini tersebar di seluruh *pavingblock* baik terlihat pada permukaan maupun yang berada di dalam *pavingblock*.

Pori-pori pada agregat dan *pavingblock* ini memungkinkan menjadi tempat bersemayamnya air bebas (*water reservoir*). Persentase berat air yang mampu diserap oleh *pavingblock* jika direndam dalam air disebut dengan daya serap air *pavingblock*.

Untuk mengetahui kemampuan menyerap air pada *pavingblock* perlu dilakukan pengujian daya serap air di laboratorium. Pelaksanaan pengujian daya serap air dimulai dengan penimbangan berat basah setelah sebelumnya dilakukan perendaman di dalam air. *Pavingblock* dikeringkan dalam tungku pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam dan kemudian ditimbang untuk mengetahui berat kering *pavingblock*.

Setelah diketahui berat basah dan berat kering *pavingblock*, dilakukan penghitungan daya serap air dengan perhitungan :

$$\text{Daya serap air} = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\%$$

dimana : W_b = Berat *pavingblock* basah (gram)

W_k = Berat *pavingblock* kering (gram)

3.1.5 Berat Satuan

Berat satuan *pavingblock* adalah berat *pavingblock* dalam satu satuan volume *pavingblock* yang meliputi volume padat (termasuk pori tertutup) dan volume pori terbuka.

Cara pemadatan saat pencetakan *pavingblock* mempengaruhi pada terbentuknya rongga-rongga udara (pori) yang akan menyebabkan kepadatan dan kemampuan *pavingblock*. Pemadatan secara mekanis menghasilkan campuran yang dicetak sangat memadat sehingga pori-pori yang terbentuk sedikit. Sebaliknya pada pemadatan secara manual akan menghasilkan campuran yang dicetak kurang padat dan pori-pori yang terbentuk relatif banyak. Pori-pori tersebut tersebar di dalam *pavingblock*. Pori-pori ini yang menyebabkan terjadinya porositas dan kemampuan *pavingblock* dan mempengaruhi berat satuan *pavingblock*.

Dengan demikian maka secara matematis berat satuan *pavingblock* adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat Satuan} = \frac{W}{V_t}$$

Dimana : W = berat *pavingblock* (gram)

V_t = Volume total (cm³)

3.1.6 *Pavingblock* yang Memanfaatkan Limbah Padat Industri Tekstil

Kemungkinan pemakaian benda padat limbah seperti abu terbang (*fly ash*), serat, robekan-robekan kaleng bekas, barang-barang bekas bongkaran bangunan, limbah, gelas, plastik, *plasticizer*, *superplasticizer*, *silica fume* dan lainnya untuk dipakai sebagai pengganti bahan ikat semen maupun sebagai pengganti semen atau pengganti agregat sering digunakan untuk meningkatkan kuat desak dan untuk memperbaiki kuat tarik.

Sebelum barang-barang bekas/buangan tersebut dipakai, maka perlu dipertimbangkan dulu hal-hal sebagai berikut (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995):

1. tinjauan ekonomi, apakah tidak lebih mahal daripada agregat aslinya, dan
2. tinjauan sifat teknis pada betonnya.

Pemanfaatan *sludge* pada *pavingblock* dapat menggantikan fungsi semen sebagai bahan ikat dan menggantikan agregat sebagai pengisi *pavingblock*. Untuk mendapatkannya, *sludge* dapat diambil secara cuma-cuma di pabrik tekstil. Biaya yang dikeluarkan adalah biaya transportasi untuk pengangkutan *sludge* dari kawasan pabrik ke tempat pembuatan *pavingblock*. Apabila lokasi pembuatan *pavingblock*

tidak terlalu jauh dari kawasan pabrik tekstil, biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan *sludge* jauh lebih murah daripada harga agregat maupun harga semen sehingga secara ekonomi dikategorikan menguntungkan.

Pada proses hidrasi semen terlihat bahwa setelah bercampur dengan air, maka air masuk ke dalam hablur/kristal sehingga reaksi ini hanya berjalan searah (Ismoyo, 1996). *Pavingblock* yang memanfaatkan limbah padat industri tekstil (*sludge*) sebagai pengganti semen juga terjadi reaksi seperti itu, karena unsur-unsur yang ada di dalam *sludge* sudah ada semua di kandungan semen *portland*, maka diharapkan dari bahan tambah *sludge* juga terjadi oksidasi magnesium (MgO), kapur (CaO) dan besi (Fe₂O₃).

Sludge mempunyai bentuk fisik padatan halus menyerupai pasir. Oleh karena itu *sludge* diharapkan dapat menggantikan pasir sebagai pengisi utama *pavingblock*.

Pada penelitian ini, pemanfaatan *sludge* pada *pavingblock* didasarkan pada berat masing-masing bahan yang diganti. Untuk mengetahui komposisi berat *sludge* dihitung dengan rumus berikut ini.

$$W_{sludge} = P\% \times W_{pc} \text{ atau } psr$$

Dimana W_{sludge} = berat *sludge* yang dibutuhkan (kg)

$P\%$ = prosentase penggantian semen atau pasir (%)

$W_{pc} \text{ atau } psr$ = berat semen atau pasir (kg)

3.2 Perancangan Campuran *Pavingblock*

Perancangan campuran *pavingblock* pada penelitian ini memakai metode “DREUX”. Pada metode ini kekuatan *pavingblock* tidak mutlak ditentukan oleh

banyaknya jumlah semen saja, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya, yaitu perbandingan berat air, perbandingan berat semen dan kekompakan butiran (faktor *granulair*). Dengan demikian, terdapat korelasi antara nilai kekuatan *pavingblock*, kekuatan semen, kekompakan butiran jumlah air dan jumlah semen yang dipakai.

Urutan perencanaan campuran *pavingblock* dengan metode "DREUX" adalah sebagai berikut :

1. Menghitung berat jenis semua bahan dengan dasar data dari hasil pengujian laboratorium, yaitu antara lain:
 - A. berat jenis pasir (SSD),
 - B. berat jenis kerikil (SSD),
 - C. berat jenis semen (data dari pabrik semen yang dipakai),
 - D. diameter maksimum agregat, dan
 - E. kekuatan semen ($f_c = 500 \text{ kg/m}^2$) dari Balai Penyelidikan Bahan atau data dari pabrik.
2. Menentukan tegangan rata-rata benda uji umur 7, 14 dan 28 hari, rumus yang dipakai :

$$f_{cb} = G \times f'_c \times \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

dimana :

- G = faktor kekompakan butiran (faktor *granulair*), yaitu angka yang menunjukkan bagian volume yang diisi oleh butiran kasar. Angka yang umum dipakai 0,5 (lihat tabel 3.3).

f_{ce} = kekuatan semen dari pabrik semen yang dipakai atau informasi dari lembaga penelitian bahan (kg/cm^2).

C = berat semen per m^3 *pavingblock* (kg).

E = berat air per m^3 *pavingblock* (liter).

f'_{cb} = kuat desak *pavingblock* rata-rata pada umur 7, 14 dan 28 hari berdasarkan benda uji *pavingblock* ukuran $20 \times 10 \times 6 \text{ cm}^3$.

Dari rumus diatas f'_{cb} merupakan kekuatan desak rata-rata, sedangkan yang direncanakan adalah kekuatan *pavingblock* karakteristik (f'_{cr}). Korelasi antara f'_{cb} dengan f'_{cr} adalah sebagai berikut :

$$f'_{cr} = f'_{cb} - 1,64 Sd \quad \text{dimana : } Sd = \text{standar deviasi } (\text{kg}/\text{cm}^2).$$

Standar deviasi digunakan untuk mengukur mutu pelaksanaan pekerjaan sesuai dengan PBI - 1971 pasal 4.5. ayat (1), seperti terlihat dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai Standar Deviasi

Volume Pekerjaan (m^3)	Mutu Pelaksanaan		
	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil < 1000	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 65$	$65 < s \leq 85$
Sedang 1000 – 3.000	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 75$
Besar > 3.000	$25 < s \leq 35$	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 65$

Sumber : PBI-1971. NI-2

Untuk merancang suatu komposisi campuran beton (mortar) dengan kuat desak tertentu sehingga dihasilkan beton yang memenuhi kuat desak yang disyaratkan, maka perlu dilakukan koreksi terhadap standar deviasi sesuai dengan jumlah sampel pengujian, seperti yang tercantum dalam tabel 3.3. Perhitungan kuat desak karakteristik setelah dikoreksi menjadi :

$$f'_{cr} = f'_{cb} - 1,64 \cdot k \cdot Sd \quad \text{dengan : } k = \text{Faktor koreksi}$$

Tabel 3.3 Faktor Koreksi Standar Deviasi

Jumlah Sampel Pengujian	Faktor Koreksi
5	1,45
10	1,28
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥30	1,00

Sumber : Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton, Lab. Struktur dan Bahan, FTSP-ITB-1993

Tabel 3.4 Faktor Kekompakkan Butiran (Faktor *Granulair*)

Kualitas Butiran	Ukuran Diameter Butiran		
	Kecil (D ≤ 16mm)	Sedang (25 ≤ D ≤ 40mm)	Besar (D ≤ 63mm)
Baik	0,55	0,60	0,64
Cukup	0,45	0,50	0,55
Buruk	0,35	0,40	0,45

Sumber : Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton, Lab. Struktur dan Bahan, FTSP-ITB-1993

3. Menentukan berat semen (C) untuk tiap m³ pavingblock.

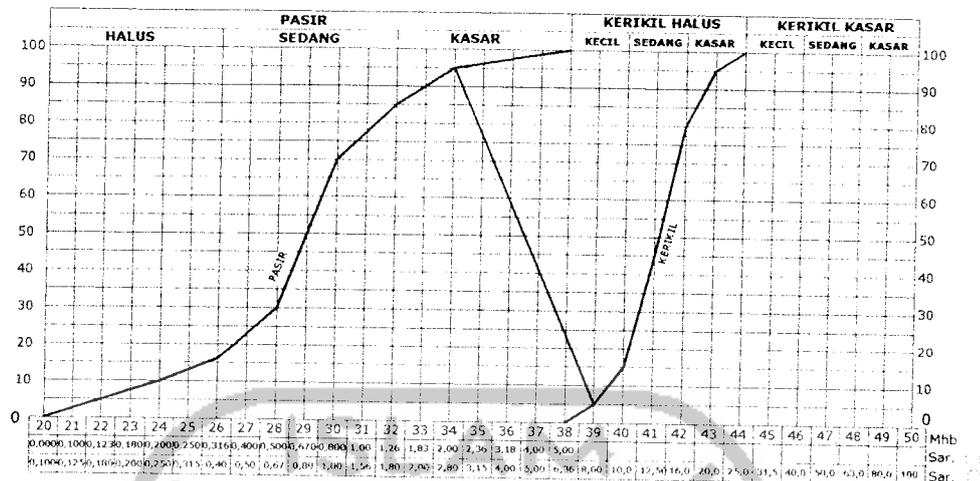
$$f'_{cb} = G \times f_{ce} \times \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$\frac{C}{E} = \left(\frac{f'_{cb}}{G \times f_{ce}} \right) + 0,5$$

Agar suatu campuran dapat dikerjakan (*workable*) dan jumlah semen tidak boleh kurang dari harga minimum, maka rumus diatas berlaku untuk :

- Harga C/E berkisar antara 1,5 sampai 2,5.
- Jumlah semen (C) ≥ 300kg/m³ pavingblock.

Setelah harga C/E diketahui dan nilai slump ditetapkan dengan melihat dan menyesuaikan gambar 3.3 didapat dosis semen dalam kg/m³, maka dosis airpun didapat.



Gambar 3.4 Kurva *Granulometri* (Saringan) dari Butiran Agregat

Sumber : Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton, Lab. Struktur dan Bahan, FTSP-ITB-1993

5. Menentukan koefisien kekompakan (γ).

Koefisien koreksi proporsi pasir dan kerikil (γ) dapat dilihat pada tabel 3.5.

Angka-angka yang terdapat dalam tabel untuk pasir dan kerikil alam, serta untuk jumlah semen adalah sama dengan 350kg/m^3 pavingblock.

Tabel 3.6 Harga-Harga Koefisien Kekompakan γ

Ketebalan Beton	Cara Pematatan	Koefisien kekompakan						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=40	D=63	D=100
Lembek	Tusukan	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Pematatan lemah	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Pematatan normal	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastis	Tusukan	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Pematatan lemah	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Pematatan normal	0,770	0,800	0,815	0,820	0,825	0,830	0,835
	Pematatan kuat	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Kental	Pematatan lemah	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Pematatan norma	0,780	0,810	0,825	0,840	0,840	0,845	0,850
	Pematatan kuat	0,785	0,810	0,830	0,845	0,845	0,850	0,855

a. Harga-harga diatas berlaku untuk butiran alam, jika tidak γ dikoreksi:
 - 0,01 untuk pasir alam dan batu pecah
 - 0,03 untuk butiran dari batu pecah
 b. butiran ringan: dikurangi dengan 0,03
 c. untuk $C \neq 350\text{kg/m}^3$, koreksi dengan $(C - 350) / 5000$

Sumber : Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton, Lab. Struktur dan Bahan, FTSP-ITB-1993