

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan kedalam campuran beton sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan campuran tambahan tersebut adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi.

Bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) adalah bahan tambah yang dicampurkan ke dalam adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang sedikit berbeda pada beton segar atau beton yang dihasilkan, sebagai contoh sifat pengerjaan yang lebih mudah, sifat pengikatan yang lebih cepat dan laju kenaikan kekuatan yang lebih cepat.

Dalam pemilihan dan pemakaian bahan kimia tersebut perlu diperhatikan masalah yang dapat mempengaruhi kakuatan beton, misalnya korosi pada tulangan di dalam beton, ketahanan terhadap agresi sulfat dan sifat sensitif pada komposisi kimia dari semen (**Murdock dan Brook, 1986**).

3.2 Material Penyusun *Paving Block*

Ditinjau dari susunan bahan pembuatannya, *paving block* dapat dikategorikan sebagai beton. Material pembentuk *paving block* terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air.

3.2.1 Semen *Portland*

Secara umum semen dapat dikatakan sebagai material sangat halus yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif dan dapat mengikat butiran-butiran agregat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Semen yang dipakai di dalam pembuatan beton dapat terbentuk dan mengeras dalam air melalui reaksi kimia, sehingga disebut semen hidrolis.

Kardiyono Tjokrodimuldjo, (1992), mengemukakan bahwa reaksi hidrasi semen terjadi ketika semen bersentuhan dengan air, reaksinya adalah sebagai berikut :



Persamaan tersebut menghasilkan $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, berupa gel dan sisa reaksinya adalah kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Semen *portland* merupakan semen hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang mengandung kapur, silika, alumina dan kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah yang dibakar dengan suhu 1550°C (**Kardiyono Tjokrodimuldjo, 1992**).

Reaksi kimia antara semen *portland* dengan air menghasilkan senyawa-senyawa yang disertai dengan pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan kering beton dan kecenderungan retak pada beton. Reaksi semen dengan air dibedakan menjadi dua yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Pengikatan merupakan peralihan dari keadaan plastis menjadi keadaan keras, sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah proses pengikatan selesai.

Semen *portland* sebagai penyusun beton mempunyai sifat sebagai berikut :

1. Susunan kimia

Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan terjadinya proses ikatan dan pengerasan. Ada empat unsur utama pada semen yang akan membentuk senyawa-senyawa kimia yaitu, sebagai berikut :

a. Trikalsium Silikat, 3CaO SiO_2 (C_3S)

Sifatnya hampir sama dengan sifat semen umumnya yaitu apabila ditambah dengan air senyawa ini akan mengeras dengan melepaskan panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umumnya, terutama dalam 14 hari pertama.

b. Dikalsium Silikat, 2CaO SiO_2 (C_2S)

Senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, yang terjadi dari 14 sampai 28 hari dan seterusnya. Proporsi yang banyak dalam semen akan menyebabkan semen

mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap agresi kimia yang relatif tinggi dan penyusutan kering yang relatif rendah.

c. Trikalsium Aluminat, $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai dengan pelepasan panas yang besar menyebabkan pengerasan awal tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas, kurang ketahanan terhadap agresi kimiawi, paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah dan sangat besar untuk retak oleh perubahan volume.

d. Tetrakalsium Aluminoferrite, $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_3\text{O}_3$ (C_4AF)

Senyawa ini tidak tampak berpengaruh terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lain (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992).

Unsur-unsur utama penyusun semen tersebut di atas disajikan pada Tabel 3.1. Sedangkan prosentase dari komposisi unsur-unsur kimia penyusun semen *portland* disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Unsur-unsur utama penyusun semen

| Nama Unsur | Simbol | komposisi Kimia | Kandungan (%) |
|-----------------------------|-----------------------|---|---------------|
| Trikalsium Silikat | C_3S | 3 CaO SiO_2 | 50 |
| Dikalsium Silikat | C_2S | 2 CaO SiO_2 | 25 |
| Trikalsium Aluminat | C_3A | $3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$ | 12 |
| Tetrakalsium Aluminoferrite | C_4AF | $4 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_3\text{O}_3$ | 8 |

(Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992)

Tabel 3.2 Prosentasi komposisi unsur kimia semen *portland*

| Unsur | Kandungan (%) |
|--------------------------------|---------------|
| CaO | 63 |
| SiO ₂ | 20 |
| Al ₂ O ₃ | 6 |
| Fe ₂ O ₃ | 3 |
| NgO | 1.5 |
| SO ₃ | 2 |
| K ₂ O | 1 |
| Na ₂ O | 1 |

(Sumber : Neville dan Brook, 1986)

2. Hidrasi semen

Bilamana semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung, dalam arah keluar dan kedalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap dibagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2 - 5 jam (yang disebut periode induksi atau tak aktif) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah. Pada tahap hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel (suatu butiran sangat halus hasil hidrasi yang memiliki luas permukaan amat besar) dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida Ca(OH)₂, air dan beberapa senyawa lain.

3. Kekuatan pasta semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk

proses hidrasi kurang lebih 25 % dari berat semen, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras.

4. Sifat fisik semen

Sifat fisik semen antara lain kehalusan butiran, waktu ikat dan berat jenis semen. Kehalusan butiran semen akan meningkatkan daya kohesi pada beton segar dan mengurangi *bleeding*, tetapi akan mempunyai sifat susut yang lebih besar dan retak mudah terjadi. Waktu ikat semen dan air dipengaruhi oleh jumlah air, kehalusan semen, temperatur dan penambahan zat kimia tertentu. Waktu ikat ini penting sebagai pertimbangan waktu pengangkutan, penuangan, pemadatan dan perataan muka. Berat jenis semen berkisar pada 3,15. Berat jenis bukan merupakan petunjuk dari kualitas semen, nilai ini hanya digunakan dalam hitungan perbandingan campuran saja.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen *portland* di Indonesia menurut PUBLI 1982, dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut :

Jenis I : semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan – persyaratan khusus.

Jenis II: semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jenis III : semen *portland* untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)

Jenis IV : semen *portland* untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.

Jenis V : semen *portland* untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat

Agregat (yang tidak bereaksi) adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh perekat semen. Sifat-sifat yang paling penting dari suatu agregat adalah kekuatan hancur, dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatan dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap perubahan musim, agresi zat kimia dan penyusutan.

Maksud dari penggunaan agregat dalam adukan beton adalah menghasilkan kuat desak yang besar pada beton, mengurangi susut pengerasan pada beton, mencapai susunan pampat betonnya dengan gradasi yang baik dari butiran itu, memberikan kekerasan sehingga mampu menahan beban, goresan dan cuaca. Cara pemilihan agregat tergantung dari syarat-syarat yang ditentukan beton, persediaan lokasi pembuatan beton dan perbandingan yang telah ditentukan antara biaya dan mutu. Pengaruh kekuatan agregat terhadap kekuatan beton sebenarnya tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi daripada pastanya. Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Oleh karena itu kekasaran permukaan ini berpengaruh terhadap bentuk kurva tegangan-regangan tekan beton, dan terhadap kekuatan betonnya.

Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai akan berakibat semakin tinggi kekuatan betonnya. Hal ini karena pada pemakaian butir agregat besar

menyebabkan pemakaian pasta yang lebih sedikit berarti porinya sedikit pula. Namun karena butir-butirnya besar mengakibatkan luas permukaannya lebih sempit, dan ini berakibat lekatan antara pasta semen dan agregatnya kurang kuat. Lagi pula karena butirannya besar menghalangi susutan pasta, dan ini berakibat retakan-retakan kecil pada pasta di sekitar butirannya. Kedua hal terakhir tersebut memperlemah kekuatan beton.

Pada umumnya agregat dibedakan menjadi dua, agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar, dan agregat dengan butiran kecil disebut agregat halus.

3.2.3 Air

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

Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus bebas dari bahan-bahan yang merugikan seperti lumpur, bahan organik, asam organik, alkali dan garam-garam lainnya. Tidak ada batasan khusus yang harus dapat diberikan untuk garam-garam terlarut, tetapi bila air jenuh tidak terasa asin atau payau, maka air dapat digunakan (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992).

Menurut PUBLI 1982, dalam pemakaian untuk adukan beton sebaiknya air memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

Menurut PUBI 1982, bahan kimia tambahan dapat dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut :

1. bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan demikian bahan ini diperoleh adukan dengan factor air semen lebih rendah pada nilai slump yang sama (*water reducing admixture*),
2. bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton (*retarder*),
3. bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton (*accelerating admixture*),
4. bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton,
5. bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Pada penelitian ini digunakan bahan kimia tambahan *spent catalyst* hasil proses dari RCC (*Residue Catalitic Cracking*). Limbah katalis yang digunakan pada RCC ini adalah jenis Zeolit Kristalin yang mengandung unsur-unsur oksida, silika dan alumina. Sebagian besar unsur-unsur penyusun dari Zeolit Kristalin merupakan bahan dasar bangunan (semen) seperti: alumina, silika dan kalsium.

Dengan adanya kesamaan antara unsur-unsur penyusun *spent catalyst* dengan unsur-unsur penyusun semen, maka *spent catalyst* dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen pada adukan beton.

3.4 Kajian Limbah Katalis

Spent catalyst merupakan limbah hasil proses dari RCC (*Residue Catalitic Cracking*). *Spent catalyst* yang dihasilkan oleh RCC (*Residue Catalitic Cracking*) ini adalah jenis Zeolit Kristalin yang mengandung unsur-unsur oksida, silika dan alumina. Selain itu, didalamnya juga mengandung unsur-unsur kecil lainnya, seperti : sodium, kalsium, magnesium dan *rare earth family (lanthanum cerium)*. Adapun rumus kimia yang menyusun limbah katalis jenis Zeolit Kristalin adalah $\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan struktur reguler yang merupakan hasil proses dari RCC (*Residue Catalitic Cracking*). Sebagian besar unsur-unsur penyusun dari Zeolit Kristalin merupakan sebagai bahan dasar bangunan (semen) seperti alumina, silika dan kalsium. *Spent catalyst* ini mempunyai sifat fisik berbentuk bubuk halus, berwarna putih keabu-abuan, ringan dan memiliki unsur utama silika dan alumina

Menurut hasil penelitian yang dilakukan di Amerika dan Australia, (Majalah Konstruksi, No: 253 – Juni – B, 1997) limbah katalis bekas yang dihasilkan oleh RCC, tidak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Sedangkan menurut hasil analisis TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), limbah katalis memiliki logam di bawah baku mutu yang ditetapkan sehingga lebih aman untuk lingkungan. Berdasarkan hal tersebut katalis bekas tidak digolongkan dalam limbah B3. Adapun kandungan dari *spent catalyst* dan beberapa logam berat yang dikategorikan *toxic* yang terkandung di dalam limbah padat seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil pengukuran komposisi kimia *spent catalyst*

| Keterangan | | | 1996 | 1997 | 2000 | Metode |
|--------------------------------|--------|---------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| Parameter | Satuan | Limit deteksi | Spent Catalyst | Spent Catalyst | Spent Catalyst | |
| SiO ₂ | % | N/A | 62.7 | 67.09 | 47.13 | F-AAS |
| Al ₂ O ₃ | % | N/A | 32.45 | 29.38 | 45.34 | F-AAS |
| Fe ₂ O ₃ | % | 0.03 | 1.02 | 0.84 | 0.61 | F-AAS |
| CaO | % | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.16 | F-AAS |
| Cr | mm/kg | 0.05 | 68 | 68.42 | 165.5 | F-AAS |
| Cu | mm/kg | 0.02 | 167.5 | 200 | 21 | F-AAS |
| Pb | mm/kg | 0.1 | - | 900 | 67.5 | F-AAS |
| Zn | mm/kg | 0.005 | 28 | 500 | 105 | F-AAS |
| Ni | mm/kg | 0.04 | 8638 | 11000 | 14760 | F-AAS |

Keterangan : N/A : Data tidak tersedia

(Sumber : PERTAMINA – Lembaga Penelitian, UNPAD dan Data Primer, 2005)

3.5 Perencanaan Campuran *Paving Block*

Penelitian ini menggunakan metode “ *The British Mix Design Method* ” atau lebih dikenal di Indonesia dengan cara DOE (*Department of Environment*). Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Menetapkan kuat tekan *paving block* yang disyaratkan pada umur 28 hari (f'c). Kuat tekan beton ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat dilapangan.

2. Menetapkan nilai deviasi standar (sd)

Standar deviasi ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Jika pelaksana tidak mempunyai catatan / pengalaman hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa. Jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali, seperti tampak pada Tabel 3.4. Sedangkan nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Faktor pengali deviasi standar

| | | | | | |
|----------------|-----|------|------|------|-------------|
| Jumlah data | 30 | 25 | 20 | 15 | <15 |
| Faktor pengali | 1,0 | 1,03 | 1,08 | 1,16 | tidak boleh |

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII ,2004)

Tabel 3.5 Tingkat pengendalian pekerjaan

| Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan | Sd (Mpa) |
|-------------------------------------|----------|
| Memuaskan | 2,8 |
| Sangat baik | 3,5 |
| Baik | 4,2 |
| Cukup | 5,6 |
| Jelek | 7,0 |
| Tanpa kendali | 8,4 |

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII,2004)

3. Menghitung nilai tambah margin

$$M = K \cdot s_d$$

dimana : M = nilai tambah

$$K = 1,64$$

S_d = standar deviasi

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan. Kuat tekan rata-rata beton yang direncanakan diperoleh dengan menggunakan rumus.

Rumusnya:

$$F'_{cr} = f'_c + M$$

dimana : f'_{cr} = kuat tekan rata-rata

f'_c = kuat tekan yang disyaratkan

M = nilai tambah

5. Menetapkan jenis semen *portland*

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland di Indonesia menurut PUBI 1982, dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut :

Jenis I : semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan – persyaratan khusus.

Jenis II : semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jenis III : semen *portland* untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)

Jenis IV : semen *portland* untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.

Jenis V : semen *portland* untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat.

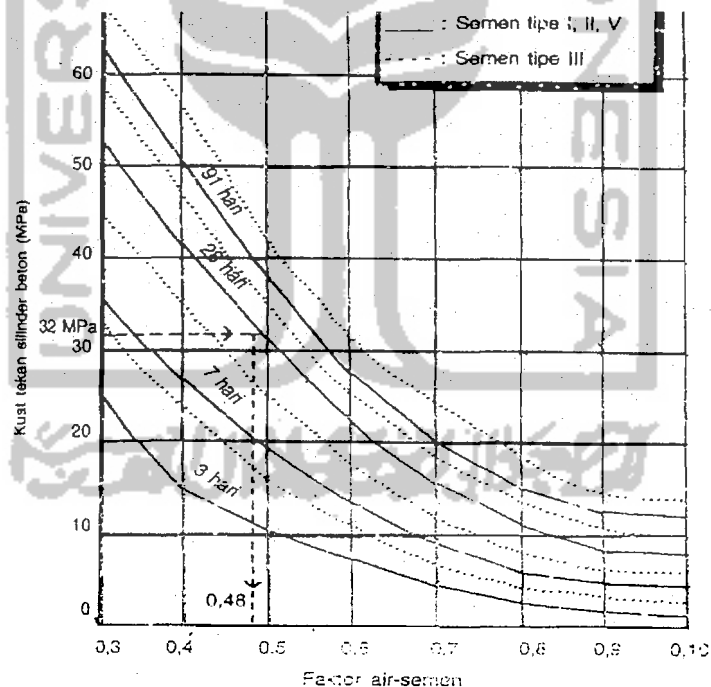
6. Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)

Berdasarkan jenis kekasarannya pasir dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu agregat kasar dan agregat halus. Adapun jenis agregat kasar (kerikil) dibedakan menjadi dua, yaitu kerikil alami dan kerikil batu pecah.

7. Menetapkan faktor air semen

Cara Pertama :

Berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan melihat Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Grafik untuk mendapatkan nilai faktor air semen

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

Untuk menentukan fas maka ditentukan kuat tekan beton rencana, kemudian dari nilai kuat tekan beton rencana tarik garis horizontal yang akan memotong kurva 28 hari dan tarik garis kebawah maka akan dapat ditentukan nilai fas.

Cara Kedua :

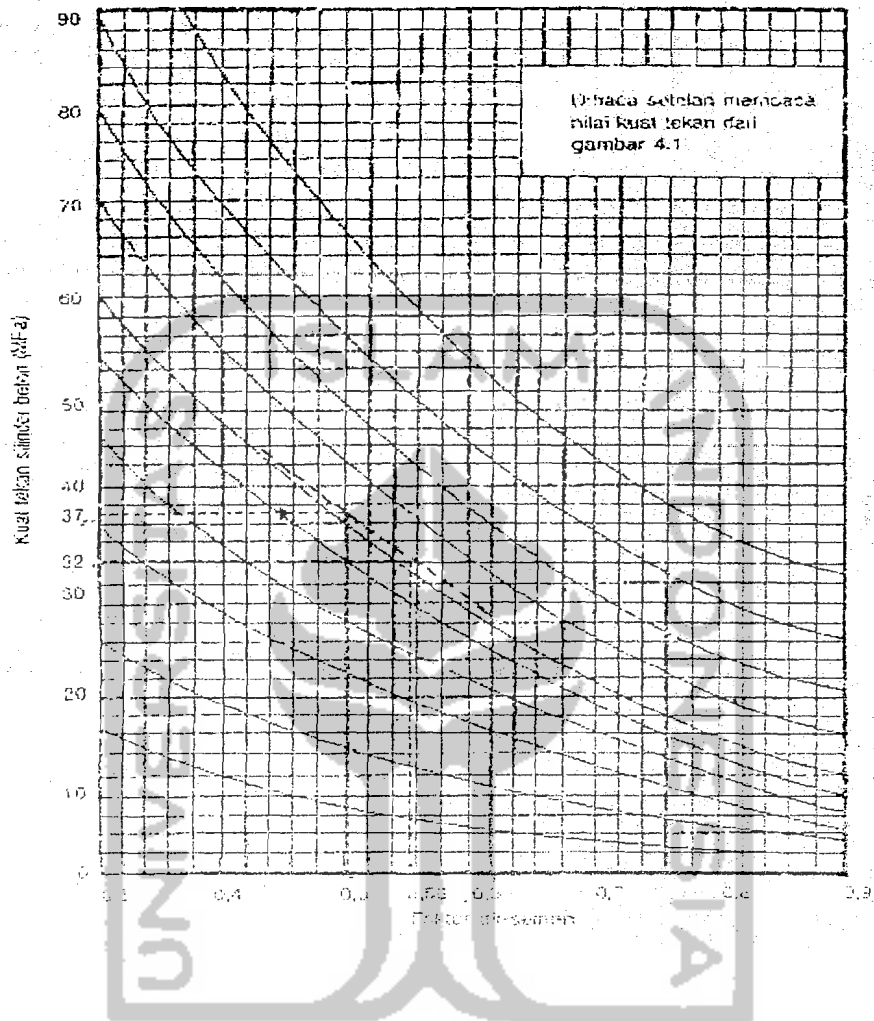
Apabila telah diketahui jenis semennya, jenis agregat, dan kuat tekan rerata pada umur 28 hari, maka nilai kuat tekan beton dapat dicari menggunakan Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Nilai kuat tekan beton

| Jenis Semen | Jenis Agregat Kasar | Umur Beton | | | |
|-------------|---------------------|------------|--------|---------|---------|
| | | 3 hari | 7 hari | 28 hari | 91 hari |
| | | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa |
| I, II, III | Alami | 17 | 23 | 33 | 40 |
| | Batu Pecah | 19 | 27 | 37 | 45 |
| IV | Alami | 21 | 28 | 38 | 44 |
| | Batu Pecah | 25 | 33 | 44 | 48 |

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

Dari tabel di atas diperoleh nilai kuat tekan beton, misalkan diperoleh nilai kuat tekan beton = 37 Mpa. Apabila diketahui jenis semen I, dan agregat berupa kerikil batu pecah, kemudian pada cara pertama diperoleh nilai kuat desak beton rencana = 32 Mpa (diperoleh faktor air semen = 0,5), maka untuk menentukan nilai faktor air semen pada cara kedua ini digunakan gambar 3.2. Caranya, tarik garis kekanan mendatar 37 Mpa, tarik garis ke atas 0,5 dan berpotongan pada titik A. Buat garis putus-putus dimulai dari titik A ke atas dan ke bawah melengkung seperti garis yang di atas dan di bawahnya.



Gambar 3.2 Grafik untuk mencari nilai factor air semen

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

Dengan melihat persyaratan untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus, beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat dan untuk beton bertulang terendam air dengan cara ini diperoleh :

- a. untuk pembetonan di dalam ruang bangunan dan keadaan keliling non korosif = 0,6,
 - b. untuk beton yang berhubungan dengan air tanah, dengan jenis semen tipe I tanpa pozolan maka fas yang diperoleh = 0,5 ,
 - c. untuk beton bertulang dalam air tawar dan tipe semen I yaitu factor air semennya = 0,5.
8. Menetapkan nilai *slump* (Khusus *paving block* nilai *slump* = 0)
 9. Menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum (kerikil)
 10. Menetapkan jumlah kebutuhan air

Untuk menetapkan kebutuhan air per meter kubik beton digunakan Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Kebutuhan air per meter kubik beton

| Besar ukuran maksimal kerikil (mm) | Jenis Batuan | Slump (mm) | | | |
|------------------------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| | | 0-10 liter | 30-60 liter | 30-60 liter | 60-180 liter |
| 10 | Alami | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | Batu Pecah | 180 | 205 | 230 | 250 |
| 20 | Alami | 135 | 160 | 180 | 195 |
| | Batu Pecah | 170 | 190 | 210 | 225 |
| 40 | Alami | 115 | 140 | 160 | 175 |
| | Batu Pecah | 155 | 175 | 190 | 205 |

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

11. Menetapkan kebutuhan semen

Berat semen per meter kubik dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{\text{jumlah air yang dibutuhkan (langkah 10)}}{\text{faktor air semen (langkah 7)}}$$

12. Menetapkan kebutuhan semen minimum

Kebutuhan semen minimum ditetapkan lewat tabel untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus. Misalnya lingkungan korosif, air payau dan air laut seperti tampak pada Tabel 3.8 s/d Tabel 3.10.

Tabel 3.8 Kandungan semen minimum untuk beton bertulang dalam air

| Berhubungan dengan | Tipe semen | Ukuran maksimum agregat | |
|--------------------|---|-------------------------|--------|
| | | 40 mm | 20 mm |
| | | (Kg/m) | (Kg/m) |
| Air tawar | Semua tipe I - V | 280 | 300 |
| Air payau | Tipe + pozolan (15-40%) atau S.P. pozolan | 340 | 380 |
| Air laut | Tipe II atau V | 290 | 330 |
| | Tipe II atau V | 330 | 370 |

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

Tabel 3.9 Kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

| Konsentrasi Sulfat (SO ₃) | | | Jenis Semen | Kandungan semen minimum (kg/m ³) Ukuran maks. Agregat (mm) | | |
|---------------------------------------|---|---------------------------------------|--|---|-----|-----|
| Dalam Tanah | | SO ₃ dalam air tanah (g/l) | | 40 | 20 | 10 |
| Total SO ₃ 3% | SO ₃ dalam campuran air: tanah 2:1 (g/l) | | | | | |
| <0,2 | <1,0 | <0,3 | Type I dengan atau tanpa pozolan (15 – 40%) | 200 | 300 | 350 |
| 0,2-0,5 | 1,0-1,9 | 0,3-1,2 | Type I tanpa pozolan Type I dengan pozolan (15-40%) atau semen Portland pozolan Type II atau V | 290 | 330 | 380 |
| 0,5-1,0 | 1,9-3,1 | 1,2-2,5 | Type I dengan pozolan (15-40%) atau semen Portland pozola Type II atau V | 250 | 290 | 430 |
| 1,0-2,0 | 3,1-5,6 | 2,5-5,0 | Type II atau V | 340 | 380 | 430 |
| 2,0 | >5,6 | >5,0 | Type II atau V dan lapisan pelindung | 290 | 330 | 380 |
| | | | | 330 | 370 | 420 |
| | | | | 330 | 370 | 420 |

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

Tabel 3.10 Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

| Jenis Pembetonan | Kandungan Semen (Kg/m ³) |
|--|--------------------------------------|
| Beton di dalam ruang bangunan : | |
| a. keadaan keliling non korosif | 275 |
| b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif | |
| Beton di luar ruang bangunan : | |
| a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 325 |
| b. terlindung dari terik matahari | 275 |
| Beton yang masuk ke dalam tanah : | |
| a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti | 325 |
| b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah | |
| Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut | |

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

Jika kebutuhan semen yang diperoleh dari langkah 10, lebih kecil daripada kebutuhan semen minimum, maka faktor air semen harus diganti. Jika mengetahui faktor air semen ditambah tetapi mutu beton tetap, *workability* nya tinggi dan tambah lecek. Jika faktor air semen dirubah maka mutu beton menurun dan *workability* nya rendah.

13. Menetapkan kebutuhan semen yang sesuai

Untuk menetapkan kebutuhan semen, lihat langkah 11, (kebutuhan semen dan kebutuhan semen minimumnya) maka yang dipakai harga terbesar di antara keduanya.

14. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen

Jika jumlah semen pada langkah 11 dan 12 berubah maka faktor air semen yang berubah ditetapkan dengan:

- a. jika akan menurunkan faktor air semen, maka faktor air semen dihitung lagi dengan cara jumlah air dibagi jumlah semen minimum,
- b. jika akan menaikkan jumlah air lakukan dengan cara jumlah semen minimum dikalikan faktor air semen.

15. Menentukan golongan pasir

Berdasarkan gradasinya pasir dibagi menjadi 4 golongan atau daerah, dapat dilihat dalam Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Gradasi pasir

| Lubang ayakan (mm) | Persen Butir Yang Lewat Ayakan | | | |
|--------------------|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,4 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,2 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,5 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |

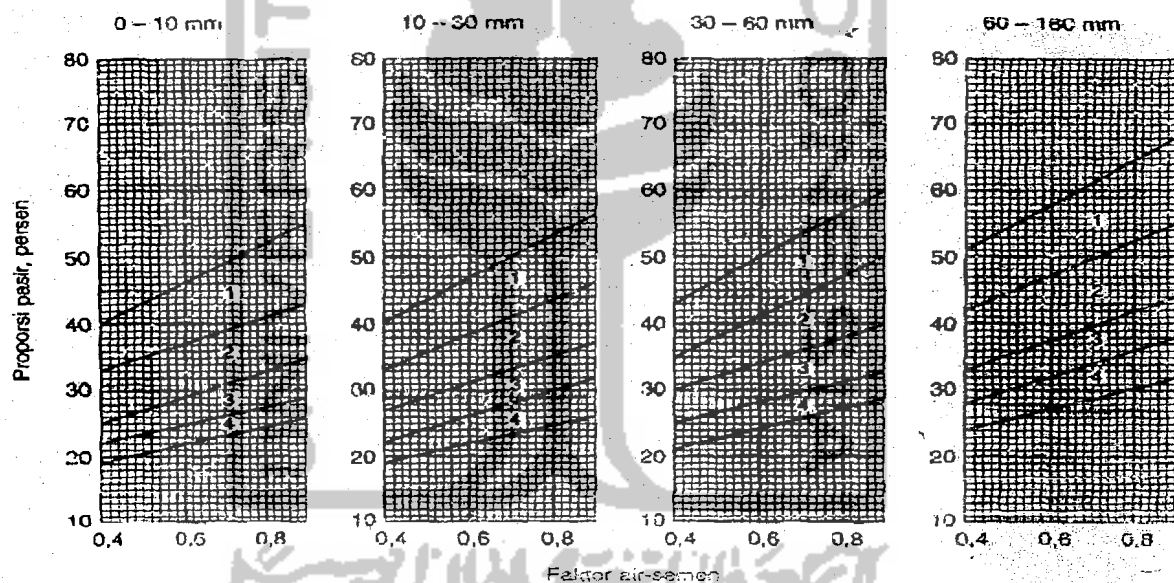
Lanjutan

| Lubang ayakan (mm) | Persen Butir Yang Lewat Ayakan | | | |
|--------------------|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 0,3 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004

16. Menentukan perbandingan pasir dan kerikil

Untuk menentukan pasir dan kerikil dicari dengan bantuan Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik untuk menentukan persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan.

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

17. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil

- jika tidak ada data, maka berat jenis pasir dan kerikil diambil 2,7 ,
- jika mempunyai data, dihitung dengan rumus :

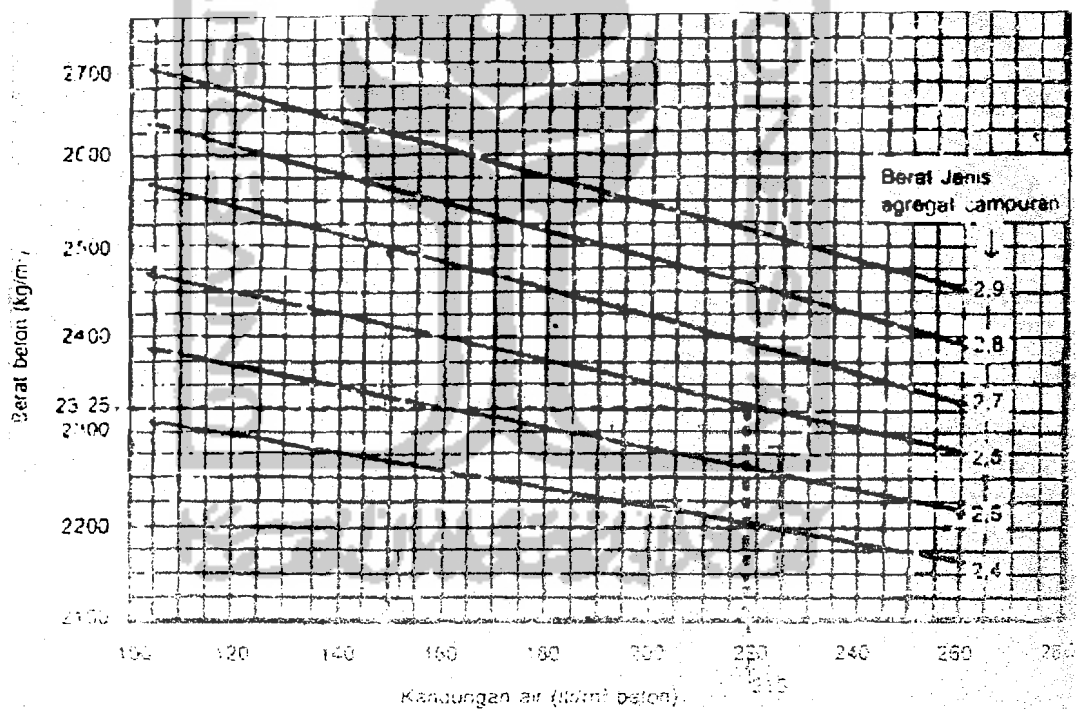
$$B_j \text{ campuran} = [(P/100) \times B_j \text{ Pasir}] + [(K/100) \times B_j \text{ Kerikil}]$$

dimana : P = persentase pasir terhadap agregat campuran

K = persentase kerikil terhadap agregat campuran

18. Menentukan berat beton

Untuk menentukan berat beton digunakan data berat jenis campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik, kemudian dimasukkan ke dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik hubungan kandungan air, berat jenis campuran dan berat beton

(Sumber : Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik UII, 2004)

19. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil

Berat pasir + berat kerikil = berat beton – kebutuhan air – kebutuhan semen

20. Menentukan kebutuhan pasir

Kebutuhan pasir = kebutuhan pasir dan kerikil x persentase berat pasir

21. Menentukan kebutuhan kerikil

Kebutuhan kerikil = kebutuhan pasir dan kerikil – kebutuhan pasir

3.6 Proses Pengolahan *Paving Block*

Beberapa langkah yang perlu diambil dalam pengolahan *paving block* adalah sebagai berikut :

1. pengadukan *paving block*, merupakan proses pencampuran bahan dasar *paving block* dalam perbandingan yang baik dan telah ditentukan sesuai dengan takaran, hingga terjadi persamaan campuran yang merata,
2. penuangan adukan *paving block*, campuran bahan susun dituangkan kedalam acuan (*formwork*) dan diratakan agar seluruh bagian acuan terisi padat agar diperoleh detail yang baik pada setiap sudut konstruksinya,
3. pemadatan adukan *paving block*, prinsip pemadatan adukan adalah usaha agar diperoleh *paving block* padat yang mampat tidak berongga yang dapat membantu reaksi antar unsure-unsur didalamnya dengan memberikan beban desak pada adukan *paving block* menggunakan mesin desak,
4. perawatan *paving block* (*curing*), perencanaan perawatan *paving block* ditujukan untuk mempertahankan *paving block* supaya terus menerus dalam keadaan

lembab selama periode beberapa hari atau bahkan beberapa minggu, termasuk pencegahan penguapan yang menyebabkan penyusutan kering terlalu awal dan cepat, yang berakibat timbulnya retak-retak pada *paving block*.

Dalam pelaksanaannya ada beberapa cara dalam perawatan *paving block*, yaitu :

1. menutupi permukaan *paving block* dengan hessian (kain / karung goni basah),
2. menutupi permukaan *paving block* dengan jerami,
3. penyiraman atau penyemprotan air secara periodik,
4. menggenangi permukaan *paving block* dengan cara merendamnya.

3.7 Kuat Desak *Paving Block*

Sebagai acuan kekuatan *paving block* dipakai kuat desak beton berumur 28 hari. Kuat desak *paving block* dapat dihitung dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan dari bagian yang tertekan. Kuat desak satu benda uji *paving block* dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\sigma'_{b_1} = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan :

σ'_{b_1} = tegangan kuat desak satu benda uji *paving block*

P = beban desak ultimit (kg)

A = luas permukaan (cm²)

3.8 Kuat Geser *Paving Block*

Pengujian kuat geser ini bertujuan untuk mengetahui tegangan geser maksimum dari *paving block*. Kalkulasi tegangan geser *paving block* adalah sebagai berikut :

$$\text{Tegangan geser (} Vu \text{)} = \frac{P \text{ max}}{2An}$$

dengan :

Vu = tegangan geser *paving block* (kg/cm^2)

$P \text{ max}$ = beban maksimum (kg)

An = luas permukaan (cm^2)

Hasil pengujian pada *paving block* perlu diperiksa perkiraan kuat desak dari keseluruhan benda uji yang telah diuji. Sehingga nilai kuat desak uji rata-rata dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$Vur = \frac{\sum Vu}{N} \dots \dots \dots (3.9)$$

dengan :

Vur = tegangan geser *paving block* rata-rata (kg/cm^2)

N = jumlah benda uji

$\sum Vu$ = jumlah tegangan geser total