

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Umum

Beton sebagai bahan bangunan yang dapat diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air dan agregat pada perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah. Reaksi yang terjadi antara semen dan air akan membentuk suatu pasta pengikat, pada jangka waktu tertentu akan mengeras, seperti batuan yang memiliki kekuatan desak tinggi. Oleh karena itu beton banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan.

Peningkatan kemampuan atau mutu beton sejalan dengan pengurangan fas. Usaha lain meningkatkan kekuatan beton adalah dengan pemanfaatan fenomena bahwa semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori-pori yang ada maka semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan. Pada mortar beton, semen dan air yang berupa pasta akan mengikat agregat halus dan kasar yang masih menyisakan rongga atau pori-pori yang tidak dapat terisi oleh butiran semen. Ruang yang tidak ditempati butiran semen merupakan rongga berisi udara dan air yang saling berhubungan disebut kapiler. Kapiler yang terbentuk akan tetap tinggal ketika beton telah mengeras, akibatnya akan dapat berpengaruh terhadap turunnya kekuatan beton (Antono, A., 1993). Terbentuknya kapiler ini dapat diantisipasi dengan penggunaan bahan tambah. Bahan tambah ini merupakan bahan khusus yang ditambahkan dalam

mortar sebagai pengisi dan pada umumnya bubuk mineral aktif (Murdock dan Brook, 1979). Salah satu bahan tambah yang dipakai adalah dengan menambahkan *filler* marmer yang bertujuan untuk mengurangi porositas.

## 3.2 Material Penyusun Beton

### 3.2.1 Semen Portland

Menurut SK SNI T – 15 – 1990 – 03 (DPU, 1990).

Semen Portland adalah suatu bahan pengikat hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak semen menjadi bubuk semen Portland.

Bahan baku pembentuk semen adalah kapur ( $\text{CaO}$ ) dari batu kapur, silica ( $\text{SiO}_2$ ) dari lempung dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari lempung. (E.G Nawy, 1995).

Semen merupakan unsur terpenting dalam pembuatan beton karena semen berfungsi sebagai bahan pengikat untuk mempersatukan bahan agregat halus dan agregat kasar menjadi masa yang kompak dalam arti menjadi satu dan padat. Semen akan berfungsi sebagai pengikat apabila diberi air, sehingga semen tergolong bahan pengikat hidrolis.

Reaksi kimia antara semen portland dengan air menghasilkan senyawa yang disertai 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 ke keadaan keras, sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai.

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. Menurut **Murdock, (1979)**, ada 4 (empat) oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa kimia yaitu :

1. Trikalsium Silikat ( $C_3S$ ) atau  $3CaO \cdot SiO_2$

Merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen. Bila semen terkena air unsur ini akan segera terhidrasi dan menghasilkan panas serta berpengaruh besar terhadap pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari.

2. Dikalsium Silikat ( $C_2S$ ) atau  $2CaO \cdot SiO_2$

Pada penambahan air reaksi lebih lambat daripada  $C_3S$  sehingga berpengaruh pada pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir serta membuat semen tahan terhadap serangan kimia juga mengurangi besar susutan pengeringan.

3. Trikalsium Aluminat ( $C_3A$ ) atau  $3CaO \cdot Al_2O_3$

Dengan air bereaksi menimbulkan panas hidrasi yang tinggi dan bereaksi sangat cepat memberikan kekuatan sesudah 24 jam tetapi kekuatannya sangat rendah.

4. Tetrakalsium Aluminat ( $C_4A$ ) atau  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$

Kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau kekuatan beton, warna abu-abu pada semen disebabkan oleh senyawa ini.

Jika semen Portland dicampur dengan air, maka komponen kapur dilepaskan dari senyawa. Banyaknya kapur yang dilepaskan sekitar 20 % dari berat semen. Kondisi terburuknya adalah mungkin terjadi pemisahan struktur yang disebabkan oleh lepasnya kapur dari semen. Situasi ini harus dicegah dengan menambahkan

pada semen suatu mineral silica. Mineral yang ditambahkan ini bereaksi dengan kapur bila ada uap air membentuk bahan yang kuat yaitu kalsium silikat. (E.G Nawy, 1985).

### Jenis-jenis Semen

Menurut PUBI – 1982 semen portland di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis yaitu :

- Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak menggunakan persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis lain.
- Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
- Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

### 3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 persen volume beton, yang berpengaruh terhadap sifat-sifat beton sehingga agregat merupakan suatu bagian dalam beton.

Penggunaan agregat dalam adukan beton dimaksudkan untuk penghematan penggunaan semen portland, menghasilkan kekuatan desak yang besar, mengurangi susut pengerasan, mencapai susunan pampat dan mengontrol kemudahan adukan beton.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya yaitu :

a. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7 , biasanya berasal dari agregat granit, basalt atau kuarsa. Beton yang dihasilkan berberat jenis 2,3 dengan kuat tekan antara 15 Mpa sampai 40 Mpa.

b. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 misalnya magnetik, barytes atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan berberat jenis tinggi, sampai 5, yang efektif sebagai pelindung sinar radiasi.

c. Agregat ringan

Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 biasanya dibuat untuk beton non struktural. Kebaikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga berat strukturnya ringan dan pondasinya lebih kecil, selain itu mempunyai sifat tahan api. Contohnya diotomite, pumice dan volcanic sinder untuk yang alami, sedang untuk yang buatan tanah bakar, abu terbang dan busa terak tanur tinggi.

### 3.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk pembuatan pasta semen yang berpengaruh pada sifat yang dikerjakan adukan beton, kekuatan, susut dan keawetannya. Air juga

berfungsi sebagai kelangsungan reaksi dengan semen portland sehingga dihasilkan kekerasan selang beberapa waktu.

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 30% terhadap berat semennya. Dalam kenyataannya nilai  $f_{as}$  yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air yang dipakai dapat digunakan sebagai pelumas, tetapi perlu dicatat tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak. Kelebihan air akan berakibat kekuatan beton rendah, beton berporos dan akan terjadi bleeding kemudian menjadi buih dan membentuk lapisan tipis yang akan mengurangi lekatan antara lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah.

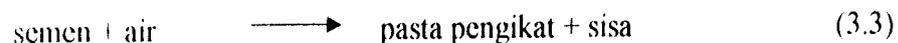
### 3.3 Bahan Tambah *Pozzolan*

Bahan tambah mineral berupa *pozzolan* adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina.

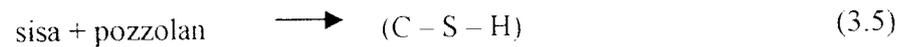
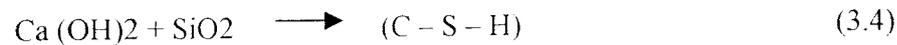
*Pozzolan* yang ditambahkan pada campuran adukan beton sampai batas tertentu dapat menggantikan semen untuk memperbaiki kekecekan dan menambah ketahanan beton dari serangan kimiawi (Swami, 1986). Penambahan bahan *pozzolan* juga dapat meningkatkan kekuatan beton. Hal ini terjadi karena pengikatan kapur bebas, sisa proses hidrasi semen dan air.

Dengan bahan *pozzolan* ini, sisa reaksi hidrasi semen dapat menghasilkan gel yang berfungsi sebagai bahan perekat, yang dapat diilustrasikan sebagai berikut :

reaksi hidrasi semen



reaksi pozzolanik



### 3.4 Tinjauan Limbah Marmer Tulungagung sebagai *Pozzolan*

Dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Yogyakarta, limbah marmer Tulungagung didominasi oleh Silika,  $\text{SiO}_2$  sebesar 0,08562 % sehingga bahan ini termasuk *pozzolan*.

Menurut **Kardiyono, (1989)**, reaksi hidrasi semen ketika semen bersentuhan dengan air, reaksinya sebagai berikut :



Persamaan (3.6) dan (3.7) menghasilkan gel,  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  atau  $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$  dan sisa reaksinya adalah kapur bebas,  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Jika limbah marmer Tulungagung yang mengandung 0,08562 % silika,  $\text{SiO}_2$ , dimasukkan dalam adukan beton, maka akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Persamaan (3.8) menghasilkan gel,  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  atau  $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ .

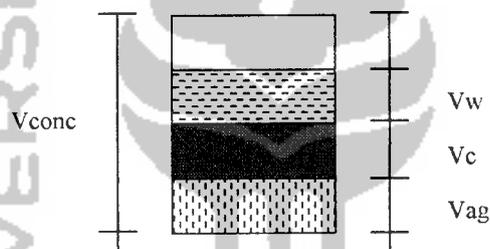
### 3.5 Tinjauan Limbah Marmer Tulungagung sebagai *Filler*

*Filler* adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butiran pengisi pada pembuatan campuran beton. *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral

yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) berupa debu kapur, debu dolomit atau semen portland, sehingga bahan ini diharapkan dapat mengisi/mengurangi porositas yang terjadi pada adukan beton. *Filler* harus dalam keadaan kering (kadar air maks 1%).

*Filler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah industri marmer yakni efek samping dari proses penggergajian dan penghalusan batu marmer.

Menurut **Popovic, (1998)**, porositas terbentuk pada saat hidrasi semen berlangsung. Komposisi volume udara, air, agregat dan semen pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti tampak pada gambar 3.1.

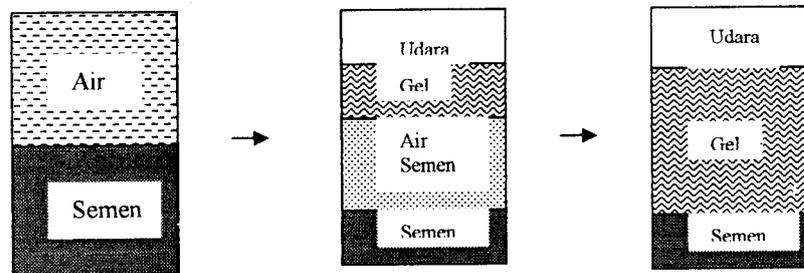


Gambar 3.1 Skema Komposisi Beton

Dari gambar 3.1 hubungan antara volume beton ( $V_{conc}$ ), volume udara ( $V_a$ ), volume air ( $V_w$ ), volume semen ( $V_c$ ) dan volume agregat ( $V_{ag}$ ) dapat didekati dengan persamaan :

$$V_{conc} = V_a + V_w + V_c + V_{ag} \quad (3.9)$$

Proses pembentukan porositas pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti tampak pada gambar 3.2.

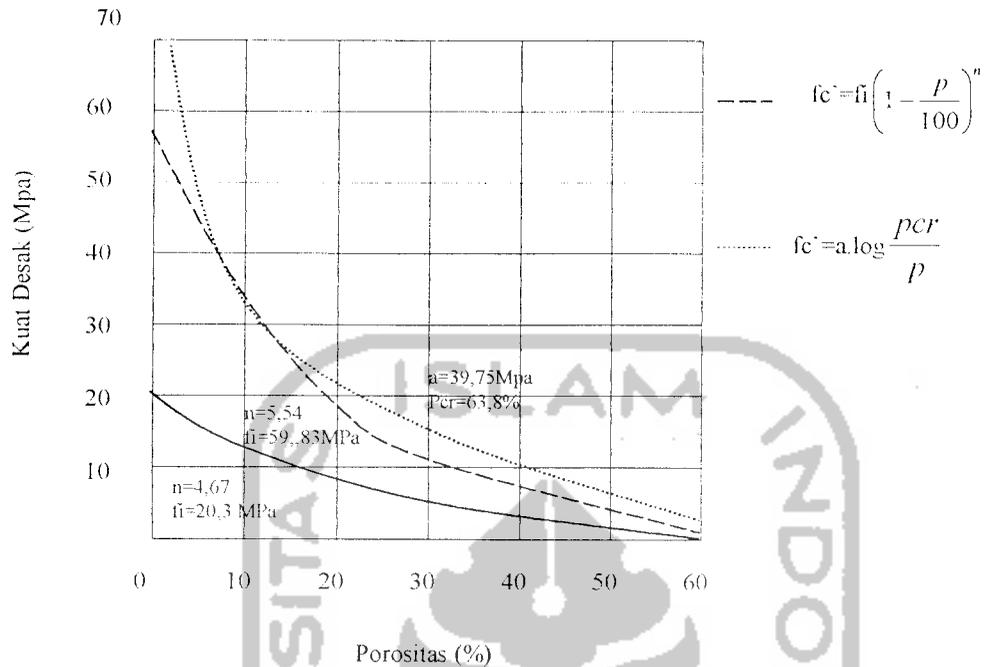


Gambar 3.2 Skema Hidrasi Semen

Dari gambar 3.2 pada saat hidrasi semen berlangsung, proses pencampuran antara air dan semen menghasilkan gel yang diikuti dengan naiknya air semen ke permukaan (*bleeding*) melalui pori kapiler. Jumlah pori kapiler yang terbentuk dalam hidrasi semen dihitung dalam persen yang didekati dengan persamaan :

$$P = \frac{V_w + V_a + V_p - V_g}{V} \quad (3.10)$$

Porositas merupakan fungsi dari kuat desak beton, hubungan dua parameter tersebut dapat digambarkan dalam bentuk kurva seperti tampak pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hubungan Kuat Desak Beton dan Porositas (sumber : Popovic, 1998)

Mengacu dari gambar 3.3 hubungan kuat desak beton dan porositas didekati dengan persamaan :

$$f_c' = f_i \left(1 - \frac{p}{100}\right)^n \quad (3.11)$$

$$f_c' = a \log \frac{pcr}{p} \quad (3.12)$$

Dari dua persamaan diatas tampak bahwa semakin besar porositas ( $p$ ), kuat desak beton ( $f_c'$ ) makin berkurang. Oleh karena itu untuk memperoleh kualitas beton yang baik, pori pada beton harus dikurangi dengan memberikan bahan pengisi (*filler*) yang berukuran kecil. Bahan pengisi tersebut dapat berupa limbah marmer.

### 3.6 Perencanaan Campuran Beton

Tujuan dari perhitungan rencana campuran adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar dan air tiap 1 m<sup>3</sup>, sehingga dapat diperoleh mutu beton sesuai dengan rencana.

Pada penelitian ini menggunakan peraturan ACI (*American Concrete Institute*) sebagai perancangan dasar campuran. Salah satu tujuan yang hendak dicapai dengan perancangan campuran ACI adalah menghasilkan beton yang mudah dikerjakan.

Langkah-langkah perencanaan menurut metode ACI adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kuat desak rata-rata beton, berdasarkan kuat desak yang diisyaratkan dan nilai margin.

$$f_{cr} = f_c + m$$

Dengan :  $f_{cr}$  = kuat desak rata-rata (Mpa)

$f_c$  = kuat desak yang diisyaratkan (Mpa)

$m$  = nilai margin (Mpa)

Nilai margin tergantung pada tingkat pengawasan mutu dan didefinisikan sebagai :  $m = k \cdot sd$ , dengan  $k = 1,64$  (pelaksana tidak mempunyai pengalaman) dan  $sd$  adalah nilai deviasi standar yang diambil dari tabel 3.1.

Tabel 3.1. Nilai Deviasi Standar (kg/cm<sup>2</sup>)  
(sumber : Kardiyono, 1989)

volume pekerjaan M <sup>3</sup>	mutu pekerjaan		
	baik sekali	baik	cukup
kecil < 1000	45<sd<55	55<sd<65	65<sd<85
sedang 1000sd3000	35<sd<45	45<sd<55	55<sd<75
besar > 3000	25<sd<35	35<sd<45	45<sd<65

2. Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat desak rata-rata pada umur beton yang dikehendaki tertera pada tabel 3.2 dan keawetan berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan tertera pada tabel 3.3 dari keduanya dipilih yang paling rendah.

Tabel 3.2. Hubungan faktor air semen dengan kuat desak beton silinder pada umur 28 hari. (sumber : Kardiyono, 1989)

faktor air semen	perkiraan kuat desak rata-rata (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 3.3. Faktor air semen maksimum (sumber : Kardiyono, 1989)

Kondisi elemen	Nilai f a s
Beton didalam ruang	
a. Keadaan keliling non korosif	0.60
b. Keadaan keliling korosif	0.52
Beton diluar ruang	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.60
Beton yang masuk kedalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0.52
Beton yang kontinu berhubungan dengan	
a. Air tawar	0.57
b. Air laut	0.52

3. Berdasarkan jenis strukturnya, ditetapkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat dari tabel 3.4.

Tabel 3.4. Nilai slump (cm). (sumber : Kardiyono, 1989)

Pemakaian jenis elemen	Maks (cm)	Min (cm)
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12.5	5.0
Pondasi telapak tidak bertulang, koison dan strukur dibawah tanah	9.0	2.5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15.0	7.5
Pengerasan jalan	7.5	5.0
Pembetonan massal	7.5	2.5

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan berdasarkan ukuran agregat dan nilai slump dari tabel 3.5.

Tabel 3.5. Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump.  
(sumber : Kardiyono, 1989)

Slump (mm)	Ukuran maks agregat (mm)		
	10	20	40
25 - 50	206	182	162
75 - 100	226	203	177
150 - 175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

5. Menghitung berat semen yang diperlukan, berdasarkan hasil dari langkah (2) dan (4)

$$B_s = \frac{B_a}{f_{as}} \quad (3.13)$$

$$V_s = \frac{B_s}{B_{js}} \quad (3.14)$$

Keterangan:

Bs = berat semen

Ba = berat air

Fas = factor air semen

Vs = volume semen

Bjs = berat jenis semen

6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan persatuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus halus agregat halusnya, dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6. Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maks agregat dan modulus halus pasir ( $m^3$ ).  
(sumber : Kardiyono, 1989)

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus halus butir			
	2.4	2.6	2.8	3.0
10	0.46	0.44	0.42	0.40
20	0.65	0.63	0.61	0.59
40	0.76	0.74	0.72	0.70
80	0.84	0.82	0.80	0.78
100	0.90	0.88	0.86	0.84

7. Menghitung volume agrerat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen dan agrerat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan (tabel 3.6), dengan cara hitungan volume absolute.

$$V_{ah} = 1 - (V_a + V_k + V_s + V_u) \quad (3.15)$$

$$B_p = V_{ah} \cdot B_{jp} \quad (3.16)$$

Keterangan :

$V_{ah}$  = volume agregat halus

$V_a$  = Volume air

$V_k$  = Volume kerikil

$V_s$  = Volume semen

$V_u$  = Volume udara terperangkap

$B_p$  = Berat pasir

$B_{jp}$  = Berat jenis semen

8. Hitung berat masing – masing bahan penyusun dengan menggunakan langkah (7).

