

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan bahan bangunan yang digunakan dengan mencampurkan semen portland, air, dan agregat pada perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah. Reaksi yang terjadi antara semen dengan air akan membentuk suatu pasta pengikat yang dalam jangka waktu tertentu akan mengeras. Beton yang mengeras dapat dianggap sebagai batu tiruan yang tersusun dari agregat kasar (batu pecah atau kerikil) dan agregat halus (pasir), pasta semen.

Peningkatan kemampuan atau mutu beton dengan pengurangan *fas*, atau dengan anggapan bahwa semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori-pori yang ada maka semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan.

3.1.1 Semen

Semen yang sering digunakan untuk bahan beton adalah semen portland atau semen pozzolan. Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI, 1982).

Semen portland terutama mengandung kalsium dan aluminium silika. Dibuat dari oksida (CaO), dan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO₂) serat aluminium oksida (Al₂O₃). Pozzolan adalah bahan yang bereaksi dengan

kapur ikat bebas selama pengikatan semen, termasuk daya tahannya terhadap agresi sulfat, air kotor, dan sejenisnya. Pozzolan digunakan untuk penambah, atau untuk mengganti sampai dengan 70% semen. Kelemahan bahan ini adalah mereduksi kecepatan pengerasan beton, dengan kata lain semen pozzolan menghasilkan panas hidrasi lebih sedikit dari pada semen biasa. Kelebihan jenis semen ini adalah sifat ketahanan terhadap kotoran dalam air lebih baik, sehingga cocok sekali jika dipakai untuk bangunan di laut, bangunan pengairan, dan beton massa. Pozzolan dapat terjadi dalam bentuk alamiah, seperti contohnya abu vulkanis, *scoria*, dan batu apung (Murdock dan Brook, 1979).

Ditinjau dari tujuan pemakaiannya semen portland di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis (PUBI 1982)

- Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan-persyaratan awal yang tinggi.
- Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

3.1.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau adukan beton dengan volume sekitar 70% dari volume total.

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Gradasi agregat yang bervariasi bertujuan menaikkan kemampatan agregat dalam mortar yang akhirnya akan meningkatkan kekuatan beton.

Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, kekerasan pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya sebagaimana tampak pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Gradasi pasir menurut *British Standard*.

Lubang (mm)	Persen berat 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	60 - 95	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 5

Keterangan : Daerah I = pasir kasar,

Daerah II = pasir agak kasar

Daerah III = pasir agak halus,

Daerah IV = pasir halus.

Sedang untuk gradasi kerikil dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Gradasi kerikil menurut *British Standar*

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan		
	Besarnya butir maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12,5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Modulus halus butir (*fineness modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai sebagai ukuran butir-butir agregat yang diperoleh dari jumlah persen kumulatif butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan, dengan susunan ayakan: 38mm, 19mm, 9,6mm, 4,8mm, 2,4mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm dan 0,15mm. Nilai modulus halus butir dipakai untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil. Tabel 3.3 adalah nilai modulus halus butir berdasarkan beberapa percobaan yang telah dilakukan.

Tabel 3.3. Percobaan modulus halus butir

Agregat	Modulus halus butir
Pasir	1,5 – 3,8
Kerikil	5 – 8
Pasir + kerikil	5 – 6,5

$$M_{hb} = \frac{\% \text{ kumulatif berat tertinggal}}{100} \dots\dots\dots 3.2$$

Hubungan antara modulus halus butir pasir, modulus halus kerikil dan kerikil halus butir campurannya dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan : W = persentase berat pasir terhadap berat kerikil

K = modulus halus butir kerikil

P = modulus halus butir pasir

C = modulus halus butir campuran

3.1.3 Air

Air sebagai bahan beton diperlukan untuk pembuatan pasta semen yang akan mempengaruhi sifat adukan beton, kekuatan, kembang susut dan keawetan beton. Air juga berfungsi sebagai penjamin kelangsungan reaksi dengan semen portland hingga menghasilkan kekerasan pada selang waktu tertentu. Air yang digunakan diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia.

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 30% terhadap berat semennya. Dalam kenyataannya nilai fas yang dipakai jarang sekali kurang dari 30%. Kelebihan air yang dipakai dapat digunakan sebagai pelumas, namun air yang berfungsi sebagai pelumas secara berlebihan akan mengakibatkan penurunan kuat desak beton, *porous*, *bleeding*, *segresi*, dan akan membentuk lapisan tipis pada permukaan beton yang disebut *laintenance*.

3.2 Kadar Garam

Air laut mengandung bermacam-macam jenis garam, diantaranya Natrium Klorida (NaCl). NaCl ini sesuai dengan tinjauan pustaka mempunyai pengaruh besar terhadap penurunan kuat desak beton.

Garam dinyatakan dengan simbol NaCl (Natrium Klorida), yang mana pemeriksaan kadar garamnya dicari seberapa besar kandungan Na dan Cl dalam air laut tersebut. Dari hasil analisis kimia kemudian dikonversikan ke dalam reaksi pembentukan garam, yaitu :



Pada reaksi pembentukan garam yang terdiri dari satu Na^+ dan satu Cl^- , maka berat garam yang terjadi adalah penjumlahan dari berat Na^+ dan berat Cl^- , sehingga dengan mudah dapat dihitung persentase garam di dalam satu liter air laut dikalikan seratus persen.

Hasil penelitian kadar garam (NaCl) pada air laut Parangtritis yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Yogyakarta dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut :

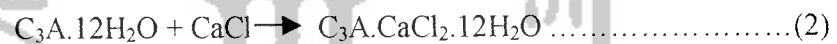
Tabel 3.4. Hasil pemeriksaan kandungan NaCl sampel air laut Parangtritis

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Keterangan
1	Na^+	mg/l	15923,913	
2	Cl^-	mg/l	19463,96	

3.3 Pengaruh Garam (NaCl) Air Laut Terhadap Semen

Pengalaman dan rekomendasi oleh sejumlah besar peneliti mengenai penggunaan air laut untuk pembuatan beton saling bertentangan, beberapa melaporkan hasil yang menyatakan akibat buruk, sedang yang lain menyatakan tidak ada pengaruh yang merugikan. Namun bilamana mungkin penggunaan air laut untuk pembuatan beton harus dihindari karena tidak disangsikan lagi dapat menyebabkan pengaruh “*efflorescence*” (mekar seperti bunga) yang tak terlihat, karena rambatan kadar air membawa garam yang terlarut kepermukaan.

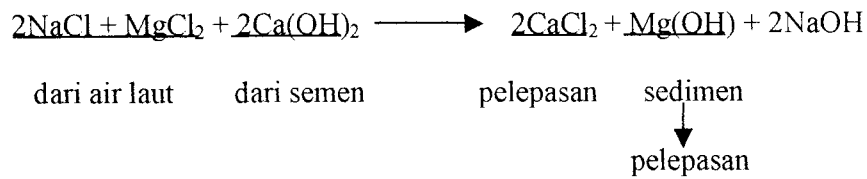
Pengaruh dari konsentrasi garam pada penguatan korosi ini berawal dari terkontaminasinya air tanah dan agregat pada saat terjadinya pencampuran bahan susun beton, atau bisa juga terjadi akibat keberadaan beton dalam lingkungan yang mempunyai konsentrasi garam yang tinggi sehingga terjadi penyerapan garam ke dalam beton. Kemungkinan reaksi NaCl dengan hidrasi semen adalah :



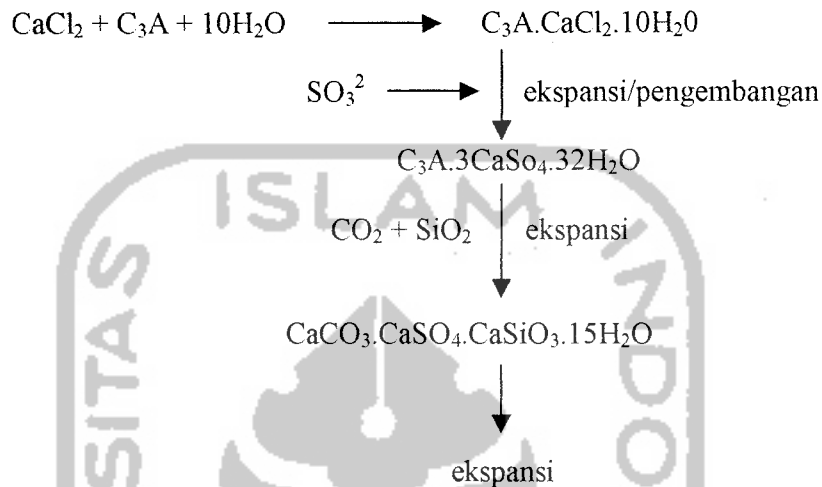
Persamaan reaksi antara sodium sulfat dengan hasil hidrasi semen yang dinyatakan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan C_3A menghasilkan Na^+ dapat dibuktikan. Oleh karena itu, sifat-sifat alkali yang terkontaminasi oleh klorida dan garam sulfat mempunyai konsentrasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang hanya terkontaminasi oleh klorida saja. (Mehta, 1994).

Reaksi kimia yang disebabkan pencampuran antara beton dengan air laut adalah :

Reaksi 1 :



Reaksi 2:



Dari hasil reaksi di atas, beton mengalami pelepasan kalsium dan hal ini menyebabkan porositas beton meningkat, ekspansi dan keretakan yang terjadi oleh karena penambahan hidrat menyebabkan daya tahan beton menurun. Di lain hal, andaikata beton bertulang berada dalam kondisi seperti ini yaitu terjadi penyebaran reaksi oksigen dan Cl^- pada permukaan tulangan besi, maka akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada tulangan beton tersebut.

Konsekuensinya, jika kita masih tetap ingin menggunakan air laut sebagai bahan adukan beton, maka solusinya harus menggunakan semen yang mempunyai pelepasan yang rendah yaitu kadar C_3A sedikit dan mempunyai perlindungan penyebaran Cl^- sehingga mempertinggi ketahanan terhadap air laut. Semen yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah :

1. semen portland yang mempunyai panas hidrasi rendah,
2. semen portland yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat, dan
3. semen yang dibuat dari pembakaran bahan susun semen pada suhu yang sangat tinggi (Sato, 1988).

Ketika bahan kimia (NaCl, LiCl, dan KCl) ditambahkan pada campuran semen-air-agregat akan mempunyai pengaruh perilaku pada campuran itu secara umum. Sebagian garam-garaman ini bergabung dengan komponen semen dan sisanya bergabung dalam enceran/larutan cair. Ketika CaCl_2 , MgCl_2 , AlCl_3 ditambahkan dalam campuran, bagian dari garam-garaman ini akan bergabung dengan komponen semen, bagian yang dominan disebut hidroksida dan sisanya tertinggal dalam enceran. Ion-ion dalam enceran bereaksi dengan OH^- menjadi senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ dan komponen-komponen ini memiliki daya larut yang rendah.

Dari beberapa penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pengaruh garam-garaman terhadap reaksi campuran semen-air-agregat yang mempunyai pengaruh berupa ekspansi atau pemekaran terhadap mortar, pengaruh terbesar dimiliki oleh NaCl sebagaimana ketidaksamaan :



Rata-rata pengaruh garam-garaman dengan komposisi kimia dari berbagai sampel dengan kadar garam klorida yang berbeda dan konsentrasi molar terhadap ekspansi/pemekaran mortar dalam 30 hari adalah antara 0,12% sampai 0,34%, dimana pengaruh AlCl_3 yang terendah dan KCl dan NaCl yang tertinggi. (Paulo, 1998).

3.4 Fly Ash

Fly ash adalah bahan pozzolan yang diperoleh dari sisa pembakaran batu bara yang digiling halus, atau yang terjadi dalam bentuk alamiah seperti abu vulkanis. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *fly ash* yang berasal dari abu vulkanik yang mengandung Oksida Silika (SiO_2) yang tidak akan bereaksi dengan (H_2O), namun akan bereaksi dengan Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang merupakan sisa reaksi antara semen dan air dan menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yang memiliki daya rekat seperti semen.

Hasil pemeriksaan komposisi kimia *fly ash* yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Yogyakarta dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut :

Tabel 3.5. Hasil pemeriksaan komposisi kimia *fly ash*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Persentase
1	SiO_2	mg/kg	36171,459	3,6172%
2	Al_2O_3	mg/kg	-	-
3	Fe_2O_3	mg/kg	21638,81	2,1639%
4	CaO	mg/kg	1369,9	0,1370%
5	MgO	mg/kg	13131,6	1,3132%
6	SO_3	mg/kg	1600,0	0,1600%
7	Na_2O	mg/kg	38252,6382	3,8253%

3.5 Desain Campuran Beton Menurut Metode ACI

The American Concrete Institute (ACI) menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Cara *ACI* ini

dengan melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan akan menentukan tingkat konsistensi/kekentalan (*slump*) adukan itu.

Adapun prosedur perhitungan perancangannya meliputi penentuan *sd*, *m*, *f'c_s*, *f'c_R*, *fas*, *slump*, ukuran maksimum agregat, kebutuhan air, jumlah semen, kebutuhan kerikil, dan kebutuhan pasir, seperti yang akan diuraikan berikut ini :

1. Hitung kuat tekan rencana beton atau kuat desak beton yang akan digunakan, berdasarkan kuat tekan yang disyaratkan dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya,

$$f'c_R = f'c_s + m \dots\dots\dots 3.4$$

dengan : *f'c_R* = kuat tekan yang direncanakan, Mpa

f'c_s = kuat tekan yang disyaratkan, Mpa

m = nilai margin,

$$m = k \times sd \dots\dots\dots 3.5$$

dimana *k* adalah konstantan untuk mengalikan kekuatan desak karakteristik supaya harga rata-rata memenuhi spesifikasi tertentu (lihat Tabel 3.6) sedangkan *sd* adalah deviasi standar yang didasarkan tingkat pengawasan terhadap mutu beton (lihat tabel 3.7).

Tabel 3.6. Harga *k* untuk beberapa keadaan

k untuk 10% defektif	1,28
k untuk 5% defektif	1,64
k untuk 2,5% defektif	1,96
k untuk 1% defektif	2,33

Tabel 3.7. Nilai deviasi standar (kg/cm^2)

Volume pekerjaan (m^3)	Mutu Pekerjaan		
	baik sekali	baik	Cukup
Kecil : <1000	$S_d \leq 55$	$55 < S_d \leq 65$	$45 < S_d \leq 85$
Sedang : 1000 – 3000	$35 < S_d \leq 45$	$45 < S_d \leq 55$	$55 < S_d \leq 75$
Besar : > 3000	$25 < S_d \leq 35$	$35 < S_d \leq 45$	$45 < S_d \leq 65$

2. Tetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat tabel 3.8) dan keawetannya, berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan (lihat tabel 3.9). Dari hasil pada kedua tabel tersebut diambil yang paling rendah.

Tabel 3.8. Hubungan *fas* dengan kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari.

Faktor air semen	Perkiraan kuat tekan (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel 3.9. Faktor air semen maksimum

Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	0,6
b. Keadaan keliling korosif, atau disebabkan oleh kondensasi atau uap air	0,52

Beton di luar ruang bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah/air	0,52
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air :	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

3. Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai *slump* dan ukuran maksimum agregatnya (lihat tabel 3.10 dan tabel 3.11)

Tabel 3.10. Nilai-nilai slump untuk berbagai pekerjaan beton

Jenis konstruksi	Slump (cm)	
	Maksimum	Minimum
- Dinding plat pondasi, pondasi bertulang	12,5	5
- Pondasi telapak tidak bertulang, koison dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
- Plat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
- Perkerasan jalan	7,5	5,0
- Pembetonan massal	7,5	2,5

Tabel 3.11. Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum	Balok/kolom	Plat
62,5	12,5	20
150	40	40
300	40	80
750	80	80

4. Tetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan (lihat tabel 3.12).
5. Hitung semen yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 2 dan 4 di atas.
6. Tetapkan volume agregat kasar yang diperlukan persamaan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus kehalusan agregat halusnya (lihat tabel 3.13).
7. Hitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan, serta udara yang terperangkap dalam adukan dengan cara hitungan volume absolut (lihat tabel 3.12).

Tabel 3.12. Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump dan ukuran agregat (liter).

Slump (mm)	Ukuran maksimum 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%

Tabel 3.13. Perkiraan agregat dan modulus halus butir

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	0,64	0,63	0,63	0,40
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,80