

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### II. a. Pozolan

Pozolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuk yang halus dan dengan adanya air maka senyawa- senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium hidrat yang bersifat hidraulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Standar mutu pozolan menurut ASTM C618-92a dibedakan menjadi tiga kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Pozolan mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas pozzolan tersebut adalah :

- Kelas N : Pozolan alam atau hasil pembakaran, pozzolan alam yang dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah diatomik, opaline cherts dan shales, tuff dan abu vulkanik atau pumicite, dimana bisa diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.
- Kelas C : Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara.
- Kelas F : Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara.

Menurut Persyaratan Kimia Berdasarkan ASTM C618-92a, kandungan *pozzoland* dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel.2. Persyaratan Kimia Berdasarkan ASTM C618-92a

Komposisi	Kelas		
	N	F	C
Jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (min, %)	70.0	70.0	70.0
$\text{SO}_3$ (max, %)	4.0	5.0	5.0
$\text{Na}_2\text{O}$ (max, %)	1.5	1.5	1.5
Kadar kelembaban (max, %)	3.0	3.0	3.0
Hilang pijar (max, %)	10.0	6 <sup>A</sup>	12

<sup>A</sup> Penggunaan pozzolan kelas F dengan hilang pijar sampai 12 % harus dengan persetujuan dan didukung oleh hasil pengujian laboratorium.

Tabel. 3. Persyaratan Fisik Berdasarkan ASTM C618-92a

Uraian	Kelas		
	N	C	F
Kehalusan : Jumlah yang tertahan di atas ayakan 45 $\mu\text{m}$ (No. 325) (max, %)	34	34	34
Indeks keaktifan pozzolan portland : - Dengan menggunakan semen, kuat tekan pada umur 7 hari (min, %)	75	75	75
- Dengan menggunakan semen, kuat tekan pada umur 28 hari (min, %)	75	75	75
Persyaratan air (max, %)	115	105	105
Pengembangan atau penyusutan dengan autoclave (max, %)	0.8	0.8	0.8
Persyaratan keseragaman : Berat jenis dan kehalusan dari contoh benda uji, masing-masing tidak boleh berbeda dari rata-rata yang ditetapkan dengan 10 benda uji atau dari seluruh benda uji yang jumlahnya kurang dari 10 buah, maka untuk :			
- Berat jenis, perbedaan maximum dari rata-rata (%)	5	5	5
- Persentasi partikel yang tertahan pada ayakan 45 $\mu\text{m}$ (No. 325) perbedaan maximum dari rata-rata (%)	5	5	5
Faktor pengali, dihitung sebagai perkalian hilang pijar dan kehalusan yang tertahan pada ayakan 45 $\mu\text{m}$ (No. 325) (max, %)	...	255	...
Pertambahan penyusutan dari mortar pada umur 28 hari, perbedaan max (in, %)	0.03	0.03	0.03
Persyaratan keseragaman : Sebagai tambahan , pada beton air-entraining jumlah air entraining agent yang disyaratkan untuk menghasilkan kadar udara sebesar 18 %, volume mortar tidak boleh berbeda darirata-rata yang ditetapkan atau dari seluruh pengujian jika kurang dari 10, maka untuk :			
reaktifitas dengan alkali semen :			
- Pengurangan pengembangan mortar pada umur 14 hari (min, %)	75	...	...
- Pengembangan mortar pada umur 14 hari (max, %)	0.020	0.020	0.020

Jenis-jenis pozzolan menurut proses pembentukannya (asalnya) di dalam ASTM 593-82 dibedakan menjadi dua jenis yaitu Pozzolan alam dan Pozzolan buatan. Pozzolan alam adalah bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silica aktif, yang bila dicampur dengan kapur padam akan mengadakan proses sementasi. Sedangkan untuk pozzolan buatan sebenarnya banyak macamnya, baik merupakan sisa pembakaran dari tungku, maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silica reaktif dengan melalui proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice husk ash*), silica fume dan lain-lain.

Pozzolan alam mempunyai mutu, bentuk serta warna yang berbeda-beda antara satu deposit dengan deposit yang lainnya. Misalkan mutu pozzolan di

daerah Kalibagor, Situbondo mempunyai mutu jauh lebih baik dari pada yang berasal dari daerah Wlingi, Blitar. Karena mutu pozzolan alam yang tidak sama disetiap tempat, maka untuk mengontrol kualitasnya digunakan standarisasi mutu pozzolan dari ASTM yang terperinci seperti di atas.

Sifat pozzolan alam terhadap beton pada dasarnya mirip dengan pozzolan lainnya, yaitu memperlambat waktu setting sehingga kekuatan awal beton rendah, bereaksi dengan  $\text{CaO}(\text{OH})_2$  membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) sehingga mengurangi kandungan  $\text{CA}(\text{OH})_2$  dalam beton, membuat beton tahan terhadap air laut dan sulfat..

Berdasarkan hasil analisis kimia yang telah dilakukan di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Kegunungapian (BPPK) Yogyakarta, tanah dari Tulakan-Pacitan tersebut mempunyai kandungan unsur sebagai berikut :

Tabel. 4. Hasil Analisis Kimia (Dalam satuan % berat)

Unsur-unsur	Tanah Tulakan-Pacitan	Semen
<b>SiO<sub>2</sub></b>	53,36%	17-25%
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14,68%	3-8%
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	7,66%	0,5-6%
<b>CaO</b>	4,87%	60-65%
<b>MgO</b>	1,10%	0,5-4%
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2,15%	0,5-1%.
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,69%	0,5-1%.
MnO	0,07%	-
TiO <sub>2</sub>	1,08%	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27%	-
H <sub>2</sub> O	4,20%.	-
HD	7,40%.	-

Berdasarkan kandungan yang dimiliki, tanah Tulakan yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam pozzolan kelas N, terlihat dari tabel di atas jumlah  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  lebih dari 70 % dan kandungan  $\text{SO}_3$  kurang dari 4% dari beratnya ( Berdasarkan ASTM C618-92a).

## **II. b. Sifat-sifat Semen yang Memakai Pozolan**

Di dalam proses hidrasi semen selain menghasilkan senyawa CSH, CAH dan CAF yang bersifat sebagai bahan perekat juga menghasilkan kapur yang angka kelarutannya tinggi dan bersifat basa. Dengan adanya pozzolan maka kapur yang timbul akan beraksi membentuk CSH, CAH dan CAF yang mempunyai sifat sebagai bahan perekat.

Semen yang mempunyai bahan tambahan pozzolan akan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- Panas hidrasi akan turun karena dengan adanya tambahan pozzolan kandungan  $C_3A$  dalam semen berkurang
- Campuran pasta semen pada keadaan konsistensi normal maka faktor air semen akan meningkat dengan adanya pozzolan
- Workabilitas dari beton yang memakai semen pozzolan akan lebih baik
- Merubah waktu setting
- Merubah kekuatan beton

## **II. c. Uji Bahan Pembentuk Beton (*Concrete Ingredient Testing*)**

Dalam penelitian ini salah satu fokus utama dalam pengujian bahan pembentuk beton yang akan diuji adalah pada uji pasta semen-tanah dan uji mortar (kuat tekan, berat jenis dan serapan air mortar).

Mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat dan air. Dalam penelitian ini semen yang akan dipakai akan dikomposisikan secara tepat dengan tanah Tulakan dalam pembuatan mortar. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana komposisi campuran tersebut berpengaruh dalam upaya untuk mengurangi pembebasan kapur dan menutup pori-pori mortar akibat reaksi antara semen dan air dengan membentuk zat perekat, sehingga dihasilkan mortar dengan karakteristik lebih baik. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji karakteristik pasir, uji karakteristik tanah Tulakan dan uji karakteristik mortar (kuat tekan, berat jenis dan serapan air mortar)

## II. d. Uji Beton Keras (*Hard Concrete Testing*)

Uji destruktif dilakukan untuk mengetahui kuat tekan, permeabilitas, kuat lentur dan kuat lekat tulangan.

### D.1. Uji Kuat Tekan.

Pengujian yang paling dikenal yang dilakukan pada beton adalah pengujian kekuatan tekan. Ada beberapa alasan dilakukan pengujian ini :

- Ada suatu dugaan bahwa kondisi yang dipandang penting dari sifat beton secara langsung dikaitkan (minimal dari segi kualitatif) dengan kekuatan tekan beton.
- Karena beton memiliki kekuatan yang kurang terhadap tarikan maka kekuatan daya tekan menjadi penting.
- Pedoman rencana struktural lebih didasarkan pada kekuatan tekan
- Pengujian ini sangat sederhana dan tidak memakan biaya banyak dalam pelaksanaannya.

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan memberikan beban pada permukaan benda uji silinder beton sampai retak. Besarnya kuat tekan beton masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut ( Sagel dkk, 1994 ) :

$$f_c^r = \frac{P_{\max}}{A} \quad (1)$$

dengan :

$f_c^r$  = kuat tekan maksimum beton ( N / mm<sup>2</sup> )

$P_{\max}$  = beban maksimum ( N )

$A$  = luas permukaan benda uji (mm<sup>2</sup>)

Sedangkan pengujian non-destruktif yang paling dikenal adalah jenis uji reaksi yang menggunakan pemukul reaksi buatan Schmidt (rebound hammer). Alat ini telah dikembangkan tahun 1948 dan amat banyak digunakan karena kesederhanaannya.

### D.2. Uji Permeabilitas.

Akan dilakukan juga uji permeabilitas untuk mengetahui tingkat porositas. Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian. Uji

permeabilitas ini terdiri dari dari dua macam; (1) uji aliran (*flow test*) dan, (2) uji penetrasi (*penetration test*). Uji yang pertama digunakan untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air jika ternyata air dapat mengalir melalui sampel beton. Uji penetrasi digunakan jika dalam percobaan permeabilitas tidak ada air yang mengalir melalui sampel. Dari data yang dihasilkan oleh uji permeabilitas ini dapat ditentukan koefisien permeabilitas, suatu angka yang menunjukkan kecepatan rembesan fluida dalam suatu zat. Pada uji aliran, koefisien permeabilitas dihitung dengan Rumus Darcy sebagai berikut:

$$K = \frac{\rho \cdot g \cdot L \cdot Q}{P \cdot A} \quad (2)$$

dengan :

- $K$  : koefisien permeabilitas (cm/det)
- $\rho$  : massa jenis air (kg/cm<sup>2</sup>)
- $g$  : percepatan gravitasi (cm/det<sup>2</sup>)
- $L$  : panjang atau tinggi sampel (cm)
- $Q$  : debit aliran air (cm<sup>3</sup>/det)
- $P$  : tekanan air (kg cm/det/cm<sup>2</sup>)
- $A$  : luas penampang sampel (cm<sup>2</sup>)

Pada uji penetrasi, rumus yang dipakai adalah :

$$K = \frac{d^2 \cdot v}{2 \cdot T \cdot h} \quad (3)$$

dengan :

- $K$  : koefisien permeabilitas (m/det)
- $d$  : kedalaman penetrasi (m)
- $T$  : waktu penetrasi (det)
- $h$  : tinggi tekanan (m)
- $v$  : angka pori beton

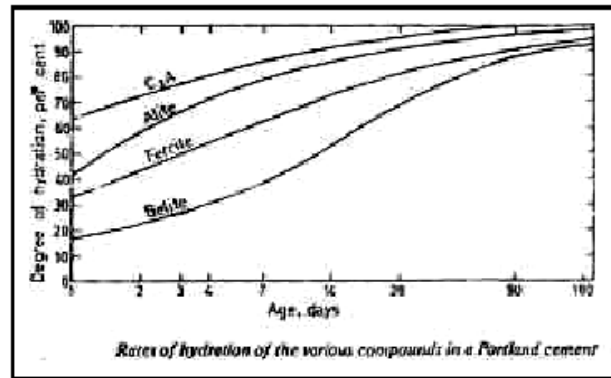
Angka pori beton ( $v$ ), dihitung dengan menggunakan rumus :

$$v = \frac{\{(w/c) \cdot (100 - \alpha) \cdot 36,15\}}{(w + 100/g)} \quad (4)$$

dengan :

- $v$  : angka pori beton
- $w/c$  : faktor air semen
- $w$  : jumlah air bebas dalam beton (g/cm<sup>2</sup>)
- $g$  : massa jenis beton (g/cm<sup>2</sup>)
- $\alpha$  : derajat hidrasi beton

Derajat hidrasi beton,  $\alpha$ , diperoleh dari grafik yang menyatakan hubungan antara derajat hidrasi dan umur pasta semen untuk tipe semen tertentu. Bentuk tipikal grafik ini diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik derajat hidrasi semen menurut komponen penyusun semen

#### D. 3. Uji Kuat Lentur

Untuk menaksir kekuatan tarik beton yang menyebar adalah dengan cara tes lentur (ASTM C 78). Kuat tarik maksimum secara teoritis atau modulus repture R dihitung dengan rumus balok terlentur dengan beban tiga muatan :

$$R = \frac{P.L}{b.d^2} \quad (5)$$

dengan :

P = jumlah beban maksimal yang diberikan

L = panjang bentangan

b = lebar benda uji

d = tinggi benda uji

rumus tersebut berlaku bila balok retak diantara titik muatan (pada sepertiga bagian tengah balok). Bila balok beton pecah diluar titik tersebut, ujung-ujungnya dihitung dengan jarak tak lebih dari 5% bentangan, maka perhitungan sebagai berikut :

$$R = \frac{3.P.a}{b.d} \quad (6)$$

dengan 'a' adalah jarak tumpuan antara titik retak dan tumpuan terdekat.

#### *D.4. Uji Kuat Lekat Tulangan*

Beton umumnya diperkuat dengan baja, baja tulangan biasa atau baja pratekan. Agar merupakan suatu struktur komposit, menjadi beton bertulang yang afektif, maka harus ada lekatan antara baja dan beton disebabkan geseran dan lekatan antara beton dan tulangan. Walaupun demikian lekatan sulit untuk diukur, karena mempunyai banyak variabel yang mempengaruhi. Tambahan pula beton dirawat dan dikeringkan akan ada perubahan volume (susut) yang aktif mengurangi besarnya lekatan. Bila beton retak atau permibel, baja tulangan akan berkarat, dan akan merubah kuta lekat antara baja dan beton. Tata cara tes pull out diambil dari ASTM C 234 untuk beton yang berbeda berdasarkan lekatan beton. Kekuatan lekat dihitung sebagai beban dibagi luas permukaan nominal beton yang tertanam.

#### **II. e. Perencanaan Beton**

Pada penelitian ini, perencanaan adukan beton menggunakan metode SK-SNI-T-15-1990-03. Prosedur perencanaan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1). Penetapan kuat tekan beton yang direncanakan ( $f'_c$ ).
- 2). Penetapan nilai deviasi standar ( $S$ ).
- 3). Penghitungan nilai tambah atau margin ( $M$ ).
- 4). Penetapan kuat-tekan beton rencana rata-rata ( $f'_{cr}$ ).
- 5). Penetapan jenis semen portland yang diusahakan.
- 6). Penetapan jenis agregat.
- 7). Penetapan faktor air semen (f.a.s.)
- 8). Penetapan nilai slump
- 9). Penetapan besar ukuran agegat maksimum.
- 10). Penetapan jumlah air.
- 11). Penetapan jumlah semen.
- 12). Penetapan perbandingan antara berat agregat halus dan agregat kasar.
- 13). Penetapan berat jenis agregat campuran.
- 14). Penetapan berat jenis beton.