

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kajian Penelitian Terdahulu**

Hasil penelitian Nofrisal, Sepri Rantesalu (2020). Penelitian menggunakan *fly ash* sebagai bahan substitusi terhadap semen pada campuran mortar. Hasil penelitian didapatkan bahwa kuat tekan mortar dengan *fly ash* 15 %, 25 % dan 40% lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan mortar tanpa *fly ash* pada umur 7 hari. Sedangkan pada umur 28 hari, kuat tekan mortar dengan *fly ash* 10% dan 15% lebih tinggi dibandingkan dengan mortar tanpa *fly ash*.

Hasil penelitian Kusdiyono, Moch. Tri Rochadi (2012). Penelitian menggunakan *fly ash* sebagai bahan tambah terhadap semen sehingga didapatkan kuat tekan rata-rata tertinggi pada umur 7 hari 373,71 kg/cm<sup>2</sup> pada penambahan *Fly Ash* 20% dan 28 hari diperoleh pada campuran mortar dengan penambahan *Fly Ash* 15% sebesar 403,41 kg/cm<sup>2</sup>. Kuat tekan mortar terendah rata-rata diperoleh umur 14 hari 307,68 kg/cm<sup>2</sup> pada penambahan *Fly Ash* 5% dan pada umur 28 hari dengan persentase campuran *Fly Ash* 10% sebesar 355,78 kg/cm<sup>2</sup>.

Hasil penelitian Sultan, Mufti Amir, dkk (2019) menggunakan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus bervariasi, didapatkan kuat tekan beton tanpa agregat kasar (mortar) menurun seiring penambahan *bottom ash*. Penambahan *bottom ash* sebesar 10% - 50%, jika diklasifikasikan berdasarkan SNI 03-0349-1989 (bata pasangan dinding) maka termasuk dalam mutu tingkat I.

Hasil penelitian Aldwin Ivan Gan, dkk (2018). Peneliti menggunakan campuran semen : agregat halus dengan komposisi 1 : 3, dimana agregat halus dengan komposisi abu batu : *bottom ash* adalah 1 : 1 didapat kuat tekan sebesar 41,60 Mpa. Adapun komposisi semen : *fly ash* sebesar 0,5 : 0,5, sedangkan *bottom ash* : abu batu sebesar 1,5 : 1,5 didapatkan kuat tekan sebesar 26,88 Mpa.

Hasil penelitian Anggi Harystama, dkk (2020), menambahkan *fly ash* bervariasi 5%, 10%, 15%, 20% terhadap berat semen. Hasil penelitian didapatkan kuat tekan pada umur 28 hari secara berurutan sebesar: 7,22 Mpa; 8,1 Mpa; 8,42 Mpa; 9,34 MPa.

Penelitian N Dusturia, A Rokhman (2020), menggunakan *bottom ash* sebagai substitusi pada agregat halus dalam pembuatan *paving block* didapatkan nilai kuat tekan optimum sebesar 18,75 MPa pada penggunaan *bottom ash* sebesar 10%.

Penelitian Fitria Laila (2018), menggunakan *bottom ash* bervariasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dengan komposisi 1 PC : 3 pasir, dalam pembuatan *paving block*, didapatkan kuat tekan optimum sebesar 22,22 MPa pada umur 28 hari dengan substitusi *bottom ash* sebanyak 10%, termasuk mutu B berdasarkan SNI 03-0691-1996.

## **2.2. Beton Tanpa Agregat Kasar**

Beton tanpa agregat kasar merupakan material yang terbuat dari campuran semen dan agregat halus (pasir) yang ditambah air.

### **2.2.1. Pengertian Beton Tanpa Agregat Kasar**

Beton tanpa agregat kasar dapat disebut juga mortar. Berdasarkan SNI 03-6882-2002, proporsi mortar di spesifikasikan dalam 4 tipe menurut kekuatan mortar dan ketentuan spesifikasi proporsi bahan yang terdiri dari bahan bersifat semen, agregat halus (pasir), dan air yang digunakan. Menurut Siregar, Derina Ika Kumalasari, dkk. (2014) faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan adukan mortar adalah *workability* dan *compactibility*. Kedua faktor tersebut akan meningkat jika adukan bersifat homogeny (seragam). *Compactibility* atau pemadatan akan diperoleh ketika membuat adukan dengan komposisi yang tepat, yaitu antara material pasir, semen dan air.

### **2.2.2. Spesifikasi Beton Tanpa Agregat Kasar (Mortar)**

Spesifikasi beton tanpa agregat kasar atau mortar harus memenuhi ketentuan persyaratan bahan dan pengujian. Spesifikasi mortar adalah sebagai berikut:

- a. Menurut SNI 03-6882-2002, spesifikasi mortar untuk pekerjaan pemasangan berdasarkan proporsi dan sifat dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

- Spesifikasi Proporsi

**Tabel 2. 1.** Persyaratan Spesifikasi Proporsi

Mortar	Tipe	Campuran dalam volume (bahan bersifat semen)					Rasio agregat (pengukuran pada kondisi lembab dan gembur
		Semen portland / semen gilin	Semen pasangan			Kapur padam atau kapur pasta	
			m	s	n		
Kapur Semen	M	1	...	...	...	1/4	2 <sub>1/4</sub> - 3 kali jumlah volume bahan bersifat semen
	S	1	...	...	...	> 1/4 - 1/2	
	N	1	...	...	...	> 1/4 - 1 <sub>1/4</sub>	
	O	1	...	...	...	> 1 <sub>1/4</sub> - 2 <sub>1/2</sub>	
Semen Pasangan	M	1	1	...	1	...	2 <sub>1/4</sub> - 3 kali jumlah volume bahan bersifat semen
	M	...	...	...	...	...	
	S	1/2	...	1	1	...	
	S	...	...	...	...	...	
	N	...	...	...	1	...	
O	...	...	...	1	...		

Sumber: SNI 03-6882-2002 (Spesifikasi untuk pekerjaan lapangan)

- Spesifikasi Sifat

**Tabel 2. 2.** Persyaratan Spesifikasi Sifat

Mortar	Tipe	Kuat tekan rata-rata 28 hari Min. (Mpa)	Retensi air Min. (%)	Kadar Udara Maks. (%)	Rasio agregat (pengukuran pada kondisi lembab,gembur)
Kapur Semen	M	17,2	75	12	2 <sub>1/4</sub> - 3 <sub>1/2</sub> kali jumlah volume bahan bersifat semen
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14bj	
	O	2,5	75	14bj	
Semen Pasangan	M	17,2	75	....c)	2 <sub>1/4</sub> - 3 <sub>1/2</sub> kali jumlah volume bahan bersifat semen
	S	12,4	75	....c)	
	N	5,2	75	....c)	
	O	2,4	75	....c)	

Sumber: SNI 03-6882-2002 (Spesifikasi untuk pekerjaan lapangan)

- b. Menurut SNI 03-0349-1989, spesifikasi mortar berdasarkan bata beton untuk pasangan dinding adalah sebagai berikut:

**Tabel 2. 3.** Syarat-syarat Fisis Bata Beton

Syarat fisis	Satuan	Tingkat Mutu Bata Beton Pejal				Tingkat Mutu Bata Beton Berlobang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Kuat tekan Bruto Rata-rata Min	Kg/cm <sup>2</sup>	100	70	40	25	70	50	35	20
Kuat tekan Bruto masing-masing benda uji Min	Kg/cm <sup>2</sup>	90	65	35	21	65	45	30	17
Penyerapan air rata-rata maks	(%)	25	35	-	-	25	35	-	-

Sumber: SNI 03-0349-1989 (bata beton untuk pasangan dinding)

- c. Menurut SNI-03-0691-1996, syarat mutu mortar berdasarkan bata beton (*Paving Block*) sebagai berikut:
1. Sifat tampak Bata beton harus memiliki permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak maupun cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.
  2. Ukuran Bata beton harus mempunyai ukuran tebal minimal 60 mm dengan toleransi  $\pm 8\%$ .
  3. Sifat Fisika Bata beton dapat dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2. 4** Sifat-Sifat Fisika *Paving Block*

Mutu	Kuat tekan Mpa		Ketahanan Aus mm/menit		Penyerapan Air Rata-Rata Maksimal (%)
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	
A	40	35	0,090	35	3
B	20	17,0	0,130	17	6
C	15	12,5	0,160	12,5	8
D	10	8,5	0,219	8,5	10

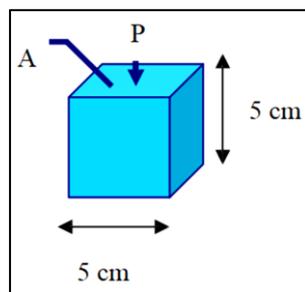
Sumber: SNI-03-0691-1996 (Bata Beton (*Paving Block*))

### 2.3. Uji Kuat Tekan

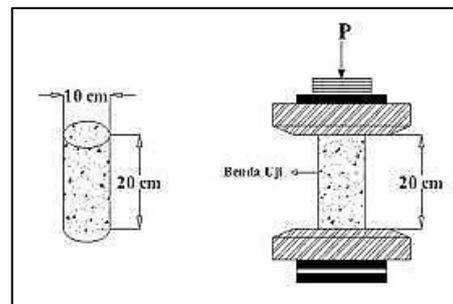
Kuat tekan merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang

menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan masing tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting daklam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Apabila kekuatan struktur yang diinginkan tinggi, maka makin tinggi juga mutu beton yang dihasilkan.

Benda uji yang digunakan untuk kuat tekan berbentuk silinder berukuran 10 cm x 20 cm (gambar a) dan kubus ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm (gambar b)



**Gambar 2. 1.** Benda Uji Kuat Tekan Kubus



**Gambar 2. 2.** Benda Uji Kuat Tekan Silinder

$$\text{Kuat Tekan} = P / L \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

P : Gaya tekan maksimum (N)

L : Luas bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

**2.4. Daya Serap Air**

Penyerapan air adalah persentase berat air yang dapat diserap oleh pori - pori mortar. Penyerapan air diperoleh dengan membandingkan berat benda uji kering kering dan benda uji basah (setelah direndam air). Berat benda uji kering didapatkan dari pengovenan benda uji pada suhu ±105°C selama kurang lebih 24 jam.

Uji penyerapan air menunjukkan kemampuan benda uji dalam menyerap air. Semakin besarnya kemampuan benda uji dalam menyerap air maka akan mempengaruhi benda uji dalam menahan beban maka kuat tekannya akan semakin kecil dan semakin besar mutu beton maka semakin kecil persentase penyerapan air. Persentase penyerapan air dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

A = Berat sampel basah (kg).

B = Berat sampel kering (kg)

## **2.5. Agregat Halus**

Agregat halus yang digunakan yaitu berupa pasir buatan (abu batu pecah). Abu batu merupakan hasil limbah dalam industri pemecahan batu yang jumlahnya cukup banyak. Saat ini abu batu tidak terlalu banyak di pakai dalam industri konstruksi perkerasan jalan dengan lapen dikarenakan sudah banyak beralih ke lapisan aspal beton.

Perkerasan Lapen untuk penaburan lapis atas biasanya menggunakan abu batu tetapi sudah banyak diganti dengan pasir, sehingga abu batu pada batu pecah menjadi bahan limbah yang harus diupayakan dalam penanganannya. Oleh karena itu dimanfaatkan dalam produksi beton tanpa agregat kasar untuk mengurangi biaya produksi sekaligus menangani masalah limbah abu batu.

Abu batu pecah sering digunakan sebagai bahan kombinasi dari adukan atau beton. Selain sebagai kombinasi adukan beton abu batu juga dapat dijadikan bahan dasar dari pemasangan beton tanpa agregat kasar.

Pemanfaatan abu batu sebagai bahan dasar pada penggunaan beton tanpa agregat kasar sangat disarankan karena sifat abu batu yang mengikat dan saat terkena air akan mengeras. Abu batu memiliki diameter butiran berkisar antara 0,60 mm–1,18 mm dan termasuk pada zona gradasi 1. Penggunaan abu batu sebagai bahan campuran beton tanpa agregat kasar mampu menekan kebutuhan biaya bahan baku sebesar 22% dan memberikan efisiensi biaya produksi sebesar 13%.

## **2.6. Semen**

Semen ialah campuran dari beberapa senyawa kimia yang bersifat hidrolis. Hidrolis yaitu pencampuran suatu bahan dengan air dalam jumlah tertentu yang mampu mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan yang dapat memadat dan mengeras tetapi tidak larut. Secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang mampu merekatkan bagian dari benda, sebanyak dua atau lebih

benda sehingga memiliki bentuk yang kuat, stabil dan keras. (Suci Wulandari Indah Pratama, Nurlaela Rauf dan Eko Juarlin).

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 adapun jenis dan kegunaan dari tipe-tipe semen portland yaitu :

- a) Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b) Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c) Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d) Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e) Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Adapun syarat kimia semen portland dapat dilihat pada tabel 2.2 syarat kimia semen.

**Tabel 2. 5** Syarat Kimia Semen

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		type I	type II	type III	type IV	type V
1	SiO <sub>2</sub> , minimum	-	2,0	-	-	-
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0	-	-	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	SO <sub>3</sub> , maksimum	-	-	-	-	-
5	Jika C <sub>3</sub> A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C <sub>3</sub> A > 8,0	3,5	-	4,0	-	-

*Sumber : SNI 15-2049-2004*

## 2.7. Fly Ash

Menurut ASTM C-618 *fly ash* didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. *fly ash* bervariasi mulai yang lebih kecil dari 1  $\mu\text{m}$  (micromilli) sampai yang lebih besar dari 100  $\mu\text{m}$  (beberapa literatur menyebutkan ukuran 0,5  $\mu\text{m}$ -300  $\mu\text{m}$ ), sebagian besar partikel berukuran < 20  $\mu\text{m}$ . Umumnya hanya sekitar 10 % sampai 30 % ukuran partikel *fly ash* lebih besar dari 50  $\mu\text{m}$ .

*Fly ash* batubara mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). Juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), pospor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan karbon. *fly ash*, terdapat dua jenis yaitu kelas F dan kelas C. *fly ash* kelas F disebut juga low-calcium *fly ash* yang tidak mempunyai sifat cementitious dan hanya bersifat pozzolanic. Sedangkan *fly ash* kelas C disebut juga high-calcium *fly ash* karena kandungan  $\text{CaO}$  yang cukup tinggi, lebih tinggi dari kelas F. *Fly ash* tipe C mempunyai sifat cementitious selain juga sifat *pozzolan*. Bersifat *cementitious* artinya jika terkena air atau lembab akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit. (Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Untuk Pengelolaan Batuan dan Air Asam Di Tambang Batubara, 2010.)

Berdasarkan ASTM C 618 yang menjadi referensi SNI 2460:2014, karakteristik kimia *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 2.3 Karakteristik kimia *fly ash*.

**Tabel 2. 6** Syarat Kimia *Fly Ash*

No	Persyaratan	Kelas F	Kelas C
1	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , min%	70,0	50,0
2	$\text{SO}_3$ , maks%	5,0	5,0
3	$\text{SO}_3$ , maks%	3,0	3,0
4	$\text{CaO}$ , %	>10	<10
5	C, %	05 s/d 10	2

Sumber: Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Untuk Pengelolaan Batuan dan Air Asam Di Tambang Batubara, 2010

## 2.8. *Bottom Ash*

*Bottom ash* merupakan hasil dari proses pembakaran batubara sebagai sumber energi unit pembangkit uap (boiler) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Berdasarkan jenis tungkunya, abu dasar batubara dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag*. Sifat *bottom ash* sangat bervariasi tergantung jenis batubara dan system pembakarannya. Komposisi kimia dari *bottom ash* sebagian besar tersusun dari unsur unsur Si, Al, Fe, Ca serta Mg, S, Na dan lainnya. (Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Untuk Pengelolaan Batuan dan Air Asam Di Tambang Batubara, 2010).

## 2.9. Kapur

Kapur adalah benda putih dan halus terbuat dari batu sedimen yang terbentuk dari bebatuan yaitu mineral kalsium. Kapur memiliki unsur  $\text{Ca}^+$  yang mengakibatkan ikatan antar partikel menjadi lebih besar dan mencegah sifat mengembang dari tanah. Berdasarkan penggunaannya, kapur sebagai bahan bangunan terbagi menjadi 2 macam yaitu kapur aduk dan kapur pemutih. Kedua macam kapur tersebut terdapat dalam kapur tohor, maupun pada kapur padam (SNI 03-2097,1991).

**Tabel 2. 7** Komposisi Kimia Kapur

No	Unsur Kimia	Jumlah
1	CaO	50,84%
2	Na <sub>2</sub> O	0,095%
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41%
4	MgO	2,72%
5	K <sub>2</sub> O	0,32%
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,682%
7	SiO <sub>2</sub>	0,00%

*Sumber: Sihotang, Abinhot dan Hazairin, 2002.*

## 2.10. Air

Air diperlukan dalam proses pembuatan beton tanpa agregat kasar agar mengaktifkan proses kimiawi semen, membasahi agregat, membasahi mortar dinding serta memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton tanpa agregat kasar.

Tetapi jika air yang berlebihan akan dapat menyebabkan banyak gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit dapat menyebabkan proses hidrasi tidak memenuhi sehingga akan mempengaruhi pada kekuatan beton.

Air yang digunakan untuk semua pekerjaan dilapangan adalah air yang bersih, tidak mengandung bahan-bahan kimia (asam alkali), tidak berwarna, dan tidak mengandung minyak. Air yang mengandung garam (air laut) sama sekali tidak dianjurkan untuk dipakai. Peraturan Beton Indonesia serta di uji terlebih dahulu di laboratorium yang disepakati secara tertulis oleh pengawas ahli.

## **2.11. Prosedur pengujian di Laboratorium**

Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya adalah sebagai berikut:

### **2.12.1. Pengujian Analisa Saringan**

Analisa saringan agregat halus berguna untuk memperoleh suatu persentase atau distribusi besaran berat butiran agregat halus yang lolos dari saringan.

Modulus halus butir (MHB) merupakan suatu indeks yang dipakai untuk menentukan kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Oleh karena itu, semakin besar nilai modulus halus menunjukkan semakin besar butiran agregat.

Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah\% kumulatif agregat tertinggal}}{100} \dots\dots\dots(2.3)$$

### **2.12.2. Berat Jenis Agregat Halus**

Berat jenis adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama dan pada suhu yang sama pula. Sedangkan penyerapan adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering dengan kondisi jenuh permukaan (SSD = *Saturated Surface Dry*). Penyerapan air adalah persentase berat air yang dapat diserap oleh pori terhadap berat kering. Pengujian

ini dilakukan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenis dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan.

Adapun standar laboratoirum untuk penyerapan akan diperoleh setelah merendam agregat yang kering kedalam air selama  $(24 \pm 4)$  jam. Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_2}{(B_3+500-B_3)} \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan / SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$= \frac{500}{(B_3+500-B_1)} \dots\dots\dots(2.5)$$

3. Penyerapan

$$= \frac{500}{(B_2)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

$B_1$  = Berat Piknometer + Air + Benda Uji

$B_2$  = Berat uji kering oven

$B_3$  = Berat pikometer + Air

### 2.12.3. Kadar Air Agregat Halus

Menurut SNI 1971:2011, kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Kadar air tiap agregat bergantung pada tempat agregat tersebut berada.

- 1) Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair
- 2) Kadar air kering udara, yaitu punya, kondisi agregat yang permukaanya kering tetapi mengandung sedikit air dalam porinya dan masih menyerap air
- 3) Jenuh kering permukaan, yaitu dimana tidak ada air dipermukaan agregat tetapi masih dapat menyerap air. Dalam kondisi ini air dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton.
- 4) Kondisi basah, yaitu dimana butir-butir agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan pada kadar air campuran beton.

Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

$W_1$  = Berat Agregat

$W_2$  = Berat Kering Oven

#### 2.12.4. Kadar Lumpur Agregat Halus

Kadar lumpur adalah banyaknya lumpur yang terkandung didalam agregat. Lumpur yang terkandung tidak boleh terlalu banyak. Jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih (SNI 03-4142-1996). Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Berat Kering Benda Uji Awal

$$W_3 = W_2 - W_1 \dots \dots \dots (2.8)$$

2. Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian

$$W_5 = W_4 - W_3 \dots \dots \dots (2.9)$$

3. Berat Lolos Saringan Nomor 200 (0,075 mm)

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

$W_1$  = berat kering benda uji + wadah (gram);

$W_2$  = berat wadah (gram);

$W_3$  = berat kering benda uji awal (gram);

$W_4$  = berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram);

$W_5$  = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram);

$W_6$  = % bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm).

### 2.12.5. Berat Jenis Semen

Semen Portland merupakan salah satu bahan hidrolis yang dibuat dari campuran bahan yang mengandung oksida utamanya : kalsium, silika, alumina, dan besi. Umumnya semen portland dibuat dalam suatu industri berteknologi modern dengan pengaturan komposisi yang akurat sehingga terjamin mutunya. Oleh karena itu, metode ini dilakukan untuk mendapatkan nilai berat isi semen portland, yang digunakan sebagai pengendalian mutu semen. Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis semen} = \frac{\text{Berat Semen}}{(V^2 - v^1)d} \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.12.6. Konsistensi Semen

Konsistensi normal semen adalah suatu kondisi pasta semen dalam keadaan standar basah yang airnya merata dari ujung satu hingga ujung lainnya. Konsistensi normal semen berguna untuk menentukan waktu mulainya pengikatan semen dengan air. Metode pengujian konsistensi normal semen portland sesuai dengan standar SNI 03-6826-2002 yaitu pengujian dilakukan dengan alat vicat dengan penurunan  $10 \pm 1$  mm.

### 2.12.7. Waktu Ikat Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Waktu pengikatan semen merupakan waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras. Waktu ikat semen terbagi menjadi 2 yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

Waktu ikat awal adalah waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat sedangkan waktu ikat akhir adalah waktu dimana penetrasi jarum vicat tidak terlihat secara visual (SNI 03-6827-2002). Pengujian waktu ikat dapat dilakukan apabila konsistensi semen telah terpenuhi. Nilai konsistensi waktu ikat awal ditentukan dari grafik penetrasi waktu, yaitu waktu dimana penetrasio jarum vicat mencapai nilai 25 mm.

### 2.12.8. Konsistensi Mortar Dengan Flow Table

Mortar semen portland adalah campuran antara agregat halus, air suling dan semen portland dengan komposisi tertentu. Pengujian konsistensi *flow table* dilakukan sebelum memasukkan adukan mortar kedalam cetakan. Sebelum dilakukan pengujian konsistensi *flow table* diperlukan perencanaan dan perhitungan proporsi (bahan penyusun) campuran mortar berdasarkan SNI 03-6882-2002.

### 2.12.9. Analisa Butiran Halus Pada Fly Ash, Bottom Ash, dan Kapur

Pengujian analisa nutiran halus yaitu *hydrometer* bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir yang tertahan oleh saringan no. 200. Selain itu, pengujian ini dinamakan *wet analysis* karena pada pelaksanaannya menggunakan air yang kemudian diaduk dan dibiarkan berdiri supaya butir-butir mengendap.

Cara kerja *hydrometer* didasarkan pada prinsip Archimedes dimana benda padat yang tersuspensi pada fluida (dalam praktikum ini, benda padat yang dimaksud adalah tanah) akan terkena gaya ke atas sebesar gaya berat fluida yang dipindahkan. Dengan demikian, semakin rendah kerapatan zat tersebut, semakin jauh *hydrometer* tenggelam. Seberapa jauh *hydrometer* tersebut tenggelam dapat dilihat dari skala pembacaan yang terdapat dalam *hydrometer* itu sendiri.

- a. Tinggi efektif (HE) penurunan dapat dicari dengan rumus:

$$H_e = H + 0,5 \left( h - \frac{V_h}{A} \right) \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

H = tinggi leher sampai pembacaan hidrometer (cm)

h = tinggi tabung berisi air raksa (cm) 17

Vh = volume hidrometer (cm<sup>3</sup>)

A = luas penampang bagian dalam tabung suspensi

- b. Diameter Butiran (D) dapat dicari dengan rumus:

$$D = M \sqrt{\frac{H_e}{t}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

M = koreksi terhadap temperatur dan G<sub>s</sub>

He = tinggi efektif penurunan (cm)

t = waktu (detik)

c. Persen Lolos (N) dapat dicari dengan rumus:

$$N = \frac{R_h \cdot G_s}{Wd(G_s - 1)} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

R<sub>h</sub> = bacaan hidrometer

G<sub>s</sub> = berat jenis benda uji

Wd = berat tanah dalam larutan (gram)

d. Persen Lolos Sebenarnya (N') dapat dicari dengan rumus:

$$N' = N \cdot \frac{W1}{W} \cdot 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

N = persen lolos

W1 = berat tanah lolos saringan no. 200

W = berat tanah total

#### 2.12.10. Berat Jenis (*Specific Grafity*) Pada *Fly Ash*, *Bottom Ash*, dan Kapur

*Specific Grafity* didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat (y<sub>s</sub>) dengan berat volume air (y<sub>w</sub>) pada temperatur tertentu. Berdasarkan *ACI Committee 226*, *Specific Gravity* ukuran butiran *fly ash* berkisar antara 2,15 – 2,8; Berdasarkan *Coal Bottom Ash / Boiler Slag-Material Description*, 2000 *Specific Gravity* ukuran butiran *bottom ash* berkisar antara 2,3 – 2,9; Berdasarkan standar mutu bina marga *specific grafity* ukuran butiran kapur berkisar mulai dari 2,5. Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis (*Specific Grafity*)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_3 - W_1) - (W_4 - W_2)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

W 1 = Berat piknometer (gram)

W 2 = Berat piknometer + contoh (gram)

W 3 = Berat piknometer + air (gram)

W 4 = Berat piknometer + air + contoh (gram)