

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dampak Semen Portland bagi Lingkungan**

Semen Portland merupakan salah satu bahan yang sangat penting dalam pembuatan beton, hal itu dikarenakan semen portland dapat mengikat bahan penyusun beton yang satu dengan bahan penyusun beton lainnya dengan baik. Meskipun semen merupakan bahan yang sangat penting dalam pembuatan beton, akan tetapi semen portland memiliki beberapa dampak negatif bagi lingkungan seperti pencemaran tanah, pencemaran air, dan terlebih turut serta dalam meningkatkan emisi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) di udara. Menurut (J. Lehne & Felix preston., 2018), emisi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dihasilkan dari produksi semen lebih dari 4 miliar ton setiap tahunnya sekitar 8% dari emisi  $\text{CO}_2$  global. Jika penggunaan semen terhadap kebutuhan sehari-hari terlebih terhadap kebutuhan konstruksi bangunan tetap dilakukan dan tanpa adanya pengurangan, maka tidak menutup kemungkinan keadaan lingkungan sekitar akan berdampak lebih buruk lagi. Oleh karena itu, harus diperlukan adanya inovasi untuk mengurangi penggunaan semen terhadap kebutuhan sehari-hari agar lingkungan sekitar tetap terjaga dan menimbulkan rasa nyaman bagi masyarakat sekitar.

#### **2.2 Bahan Penyusun Beton Alir**

##### **2.2.1 Semen Portland**

Semen portland yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004).

Semen portland pun menurut SNI 15-2049-2004, dibagi menjadi lima jenis dan penggunaan yang diantaranya adalah sebagai berikut :

- **Semen portland jenis I**

Semen portland jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

- **Semen portland jenis II**  
Semen portland jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
  - **Semen portland jenis III**  
Semen portland jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
  - **Semen portland jenis IV**  
Semen portland jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
  - **Semen portland jenis V**  
Semen portland jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.
- **Proses Pembuatan Semen Portland**  
Semen portland bisa terbentuk apabila sudah melewati berbagai tahapan. Berikut tahapan dari pembuatan semen portland.
- **Penambangan bahan baku**  
Tahapan yang pertama yaitu melakukan penambangan bahan baku pembuatan semen portland seperti bahan batu kapur, pasir besi dan tanah liat.
  - **Pemecahan batu kapur**  
Tahapan selanjutnya yaitu melakukan pemecahan batu kapur menjadi partikel yang lebih kecil dari sebelumnya. Hal ini dilakukan agar memiliki kemudahan dalam melakukan pengolahan ke proses yang lebih lanjut lagi dan serta dengan partikel yang lebih kecil dapat menjaga kualitas dari mesin pengolahan semen portland agar tidak cepat mengalami kerusakan.
  - **Pencampuran bahan pembuat semen portland**  
Setelah batu kapur menjadi partikel yang kecil, langkah selanjutnya yaitu mencampurkan batu kapur dengan bahan-bahan lainnya seperti tanah liat dan pasir besi. Bahan tanah liat digunakan karena bahan ini mengandung campuran silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

- **Penggilingan bahan baku**

Setelah bahan baku tercampur, langkah selanjutnya yaitu dilakukan penggilingan bahan baku. Hal ini dilakukan agar komponen bahan baku memiliki ukuran partikel yang sama. Selain itu, pada tahap ini juga terjadi homogenisasi atau pencampuran antara bahan yang satu dengan bahan lainnya dalam pembuatan semen portland.

- **Pembakaran bahan baku**

Sebelum melakukan pembakaran bahan baku, langkah yang perlu dilakukan terlebih dahulu yaitu meletakkan bahan baku yang sudah tercampur ke alat *preheater tower*. Pada alat ini bahan baku akan mengalami pemanasan awal terlebih dahulu sebelum dimasukkan kedalam mesin pembakaran (*Kiln*). Mesin *kiln* didesain dengan agak miring, hal ini bertujuan agar bahan baku bisa secara perlahan turun menuju titik akhir mesin *kiln*. Pada mesin ini dilakukan pembakaran dengan suhu sekitar 1350<sup>0</sup>c – 1550<sup>0</sup>c sehingga akan menyebabkan bahan utama dari semen portland yaitu batu kapur akan mengalami perubahan reaksi kimia sebagai berikut :



Dalam proses perubahan reaksi kimia ini, CO<sub>2</sub> akan keluar ke atmosfer udara sedangkan senyawa CaO akan membentuk empat unsur senyawa kimia utama dari semen portland yang diantaranya sebagai berikut :

- a. Trikalsium Silikat (3CaO.SiO<sub>2</sub>) atau disingkat C<sub>3</sub>S
- b. Dikalsium Silikat (2CaO.SiO<sub>2</sub>) atau disingkat C<sub>2</sub>S
- c. Trikalsium Aluminat (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atau disingkat C<sub>3</sub>A
- d. Tertrakalsium Aluminoferrit (4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atau disingkat C<sub>4</sub>AF

- **Pemindahan ke mesin pendingin**

Setelah melewati tahapan pembakaran, klinker akan ditempatkan ke mesin pendingin agar suhu dari klinker tidak terlalu panas.

- **Penambahan bahan tambah**

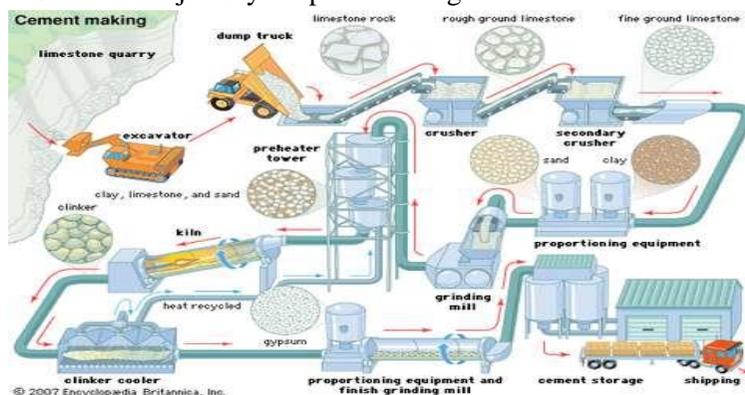
Setelah dari mesin pendingin, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan penambahan bahan tambah berupa gypsum sekitar 1% hingga 5%. Hal ini dilakukan agar dapat mengontrol dari waktu ikat

semen. Pada tahapan ini pula terjadi penggilingan akhir agar partikel semen menjadi seperti yang kita temui pada umumnya.

#### - Pengemasan

Langkah terakhir yaitu dilakukan pengemasan dan kemudian didistribusikan ke berbagai daerah.

Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar dibawah ini



Gambar 2.1 Proses Pembuatan Semen

(Sumber : Encyclopedia Britannica, Inc., 2007)

#### ➤ Syarat Mutu Semen Portland

Semen portland yang digunakan harus memenuhi kriteria mutu persyaratan baik secara kimiawi maupun fisika. Berikut persyaratan mutu semen portland berdasarkan **SNI 15-2049-2004**

Tabel 2.1 Syarat Kimia Utama

No.	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1.	SiO <sub>2</sub> , minimum	-	20,0 <sup>b,c)</sup>	-	-	-
2.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0	-	-	-
3.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0 <sup>b,c)</sup>	-	6,5	-
4.	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5.	SO <sub>3</sub> , maksimum					
	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	<sup>d)</sup>	4,5	<sup>d)</sup>	<sup>d)</sup>
6.	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7.	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8.	C <sub>3</sub> S, maksimum <sup>a)</sup>	-	-	-	35 <sup>b)</sup>	-

Tabel 2.1 Syarat Kimia Utama (Lanjutan)

No.	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
9.	C <sub>2</sub> S, minimum <sup>a)</sup>	-	-	-	40 <sup>b)</sup>	-
10.	C <sub>3</sub> A, maksimum <sup>a)</sup>	-	8,0	1,5	7 <sup>b)</sup>	5 <sup>b)</sup>
11.	C <sub>4</sub> AF + 2 C <sub>3</sub> A atau <sup>a)</sup> C <sub>4</sub> AF + C <sub>2</sub> F, maksimum	-	-	-	-	25 <sup>c)</sup>

**CATATAN** <sup>a)</sup> Persyaratan pembatasan secara kimia berdasarkan perhitungan untuk senyawa potensial tertentu tidak harus diartikan bahwa oksida dari senyawa potensial tersebut dalam keadaan murni. C = CaO, S = SiO<sub>2</sub>, A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, contoh C<sub>3</sub>A = 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) dan Fosfor pentaoksida (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) termasuk dalam Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Nilai yang biasa digunakan untuk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam menghitung senyawa potensial (misal : C<sub>3</sub>A) untuk tujuan spesifikasi adalah jumlah endapan yang diperoleh dengan penambahan NH<sub>4</sub>OH dikurangi jumlah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang diperoleh dalam analisis kimia basah.

Apabila:  $\frac{\% Al_2O_3}{\% Fe_2O_3} \geq 0,64$ , maka persentase C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A dan C<sub>4</sub>AF dihitung sebagai berikut :

$$C_3S = 3CaO.SiO_2 = (4,071 \times \% CaO) - (7,600 \times \% SiO_2) - (6,718 \times \% Al_2O_3) - (1,430 \times \% Fe_2O_3) - (2,852 \times \% SO_3)$$

$$C_2S = 2CaO.SiO_2 = (2,867 \times \% SiO_2) - (0,7544 \times \% C_3S)$$

$$C_3A = 3CaO.Al_2O_3 = (2,650 \times \% Al_2O_3) - (1,692 \times \% Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 = (3,043 \times \% Fe_2O_3)$$

Apabila:  $\frac{\% Al_2O_3}{\% Fe_2O_3} < 0,64$ , terbentuk larutan padat

$$(C_4AF + C_2F) = 4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$$

Maka (C<sub>4</sub>AF + C<sub>2</sub>F) dan C<sub>3</sub>S dihitung sebagai berikut :

Semen dengan komposisi ini didalamnya terdapat C<sub>3</sub>A.

C<sub>2</sub>S tetap dihitung dengan menggunakan rumus diatas: perhitungan untuk semua senyawa potensial adalah berdasarkan hasil penentuan oksidanya yang dihitung sampai sedekat mungkin dengan 0,1%. Semua hasil perhitungan dilaporkan sampai sedekat mungkin dengan 1,0%.

<sup>b)</sup> Apabila yang disyaratkan adalah kalor hidrasi seperti yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan, maka syarat kimia ini tidak berlaku.

<sup>c)</sup> Apabila yang disyaratkan adalah pemuaiannya karena sulfat yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan, maka syarat kimia ini tidak berlaku.

<sup>d)</sup> Tidak dapat dipergunakan.

(Sumber : SNI 15-2049-2004., 2004)

Tabel 2.2 Syarat Kimia Tambahan <sup>a)</sup>

No.	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1.	C3A, maksimum	-	-	8	-	-
2.	C3A, minimum	-	-	5	-	-
3.	(C3S + 2C3A), maksimum	-	58 <sup>b)</sup>	-	-	-
4.	Alkali, sebagai (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O), maksimum	0,60 <sup>c)</sup>	0,60 <sup>c)</sup>	0,60 <sup>c)</sup>	0,60 <sup>c)</sup>	0,60 <sup>c)</sup>

**CATATAN**

<sup>a)</sup> Syarat kimia tambahan ini berlaku hanya secara khusus disyaratkan.

<sup>b)</sup> Sama dengan keterangan untuk <sup>b)</sup> syarat kimia utama.

<sup>c)</sup> Hanya berlaku bila semen digunakan dalam beton yang agregatnya bersifat reaktif terhadap alkali.

(Sumber : SNI 15-2049-2004., 2004)

Tabel 2.3 Syarat Fisika Utama

No.	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1.	Kehalusan :					
	Uji permeabilitas udara, m <sup>2</sup> /kg dengan alat :					
	Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
	Blaine, min	280	280	280	280	280
2.	Kekekalan :					
	Pemuai dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3.	Kuat Tekan :					
	Umur 1 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	125	100 70 <sup>a)</sup>	240	-	80
	Umur 7 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	200	175 120 <sup>a)</sup>	-	70	150
	Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	280	-	-	170	210
4.	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat :					
	Gillmore					
	- Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	- Akhir, menit, minimal Vicat	600	600	600	600	600

Tabel 2.3 Syarat Fisika Utama (Lanjutan)

No.	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
	- Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
	- Akhir, menit, minimal	375	375	375	375	375

**CATATAN**  
<sup>a)</sup> Syarat kuat tekan ini berlaku jika syarat kalor hidrasi seperti tercantum pada tabel syarat fisika tambahan atau jika syarat C<sub>3</sub>S + C<sub>3</sub>A seperti tercantum dalam tabel syarat kimia tambahan disyaratkan.

(Sumber : SNI 15-2049-2004., 2004)

Tabel 2.4 Syarat Fisika Tambahan <sup>a)</sup>

No.	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1.	Pengikatan semu penetrasi akhir, % minimum	50	50	50	50	50
2.	Kalor hidrasi Umur 7 hari, kal/gram, maks	-	70 <sup>b)</sup>	-	60	-
	Umur 28 hari, kal/gram, maks	-	-	-	70	-
3.	Kuat Tekan: Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	-	280	-	-	-
4.	Pemuaian karena sulfat 14hari, %, maksimum	-	220 <sup>b)</sup>	-	-	0,040
5.	Kandungan udara mortar, % volume, maksimum	12	12	12	121	12

**CATATAN**  
<sup>a)</sup> Persyaratan tambahan fisika ini berlaku hanya jika secara khusus diminta.  
<sup>b)</sup> Bila syarat kalor hidrasi ini disyaratkan, maka syarat C<sub>3</sub>S + C<sub>3</sub>A seperti tercantum pada tabel kimia tambahan tidak diperlukan.  
 Syarat kuat tekan ini berlaku bila syarat kalor hidrasi seperti yang tercantum dalam tabel syarat fisika tambahan atau bila C<sub>3</sub>S + C<sub>3</sub>A seperti yang tercantum pada tabel syarat kimia tambahan disyaratkan.

(Sumber : SNI 15-2049-2004., 2004)

### 2.2.2 Agregat Halus

Bahan yang digunakan setelah semen dalam pembuatan beton alir yaitu agregat halus atau biasa dikenal dengan pasir. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu alam atau pasir yang

dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5,0 mm (SNI 03-2834-2000).

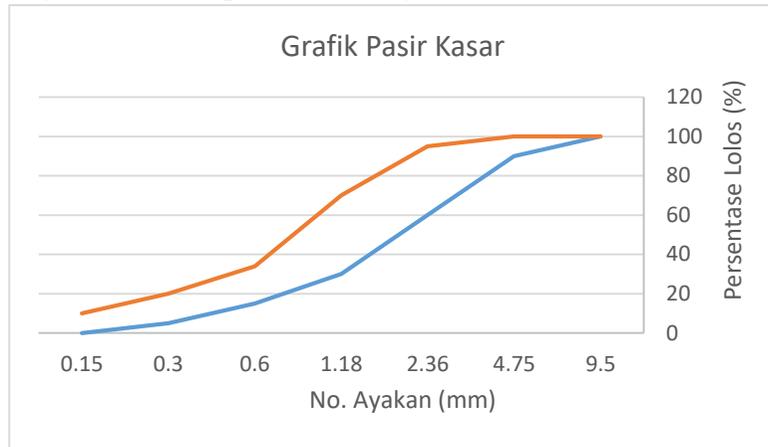
➤ **Syarat Agregat Halus**

Agregat halus dapat digunakan dalam pembuatan beton alir apabila telah memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan. Berikut persyaratan agregat halus agar dapat digunakan dalam pembuatan beton alir berdasarkan (ASTM C.33 dalam Mulyono, T., 2004)

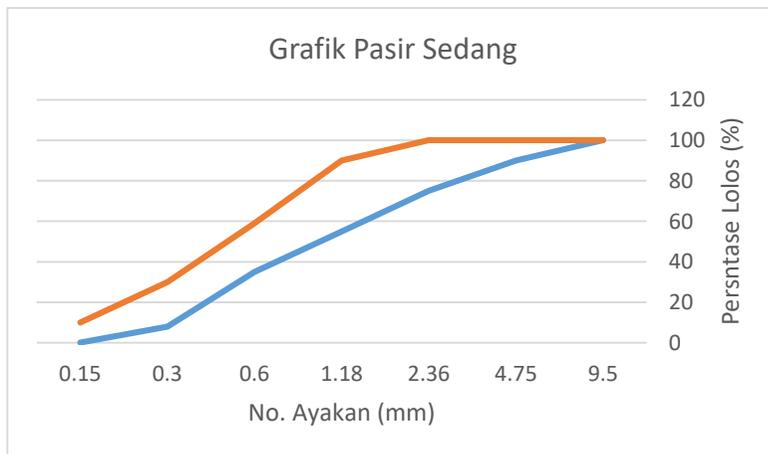
- Modulus halus butir 2.3 sampai 3.1
- Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074mm atau No.200) dalam persen berat maksimum
  - a. Untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3%
  - b. Untuk beton jenis lainnya sebesar 5%
- Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%
- Kandungan arang dan lignit
  - a. Bila tampak permukaan beton dipandang penting (beton akan diekspos), maksimum 0,5%
  - b. Beton jenis lainnya maksimum 1,0%
- Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat ( $\text{NaSO}_4$ ) 3%, tidak menghasilkan warna yang lebih tua disbanding warna standar. Jika warnanya lebih tua maka ditolak kecuali :
  - a. Warna lebih tua timbul karena sedikit adanya arang lignit atau yang sejenis
  - b. Ketika diuji dengan uji perbandingan kuat tekan beton yang dibuat dengan pasir standar silika hasilnya menunjukkan nilai lebih besar dari 95%. Uji kuat tekan sesuai cara ASTM C.87
- Tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah dan lembab atau yang berhubungan dengan bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6%.
- Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat, maksimum 15%.

➤ **Gradasi Agregat Halus**

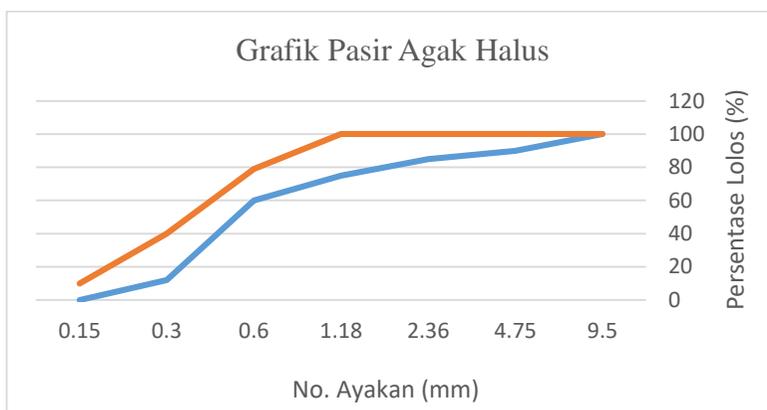
Gradasi agregat halus yaitu pengujian yang dilakukan pada bahan agregat halus untuk mengetahui jenis daerah kategori agregat halus dengan cara analisa ayakan. Menurut (SNI 03-2834-2000), gradasi agregat halus dibedakan menjadi empat daerah kategori yaitu kategori pasir kasar, pasir sedang, pasir agak halus, dan pasir halus. Berikut gambar dari empat daerah kategori tersebut



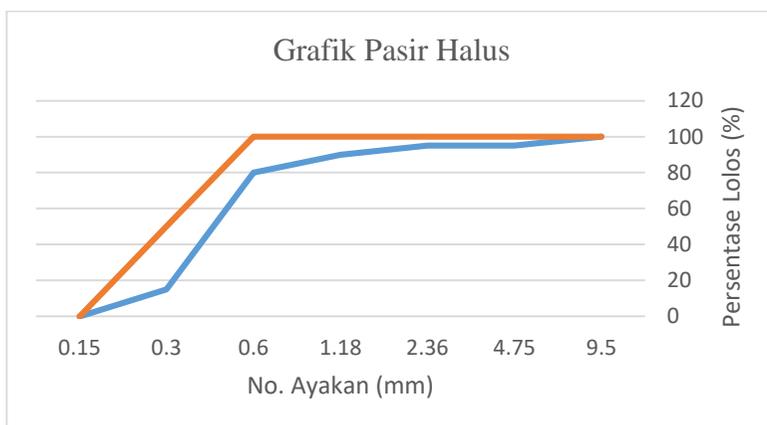
Gambar 2.2 Grafik Pasir Kasar  
(Sumber : SNI 03-2834-2000., 2000)



Gambar 2.3 Grafik Pasir Sedang  
(Sumber : SNI 03-2834-2000., 2000)



Gambar 2.4 Grafik Pasir Agak Halus  
(Sumber : SNI 03-2834-2000., 2000)



Gambar 2.5 Grafik Pasir Halus  
(Sumber : SNI 03-2834-2000., 2000)

### 2.2.3 Agregat Kasar

Bahan yang digunakan setelah agregat halus dalam pembuatan beton alir yaitu agregat kasar atau biasa dikenal dengan kerikil. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5mm-40mm (SNI 03-2834-2000).

#### ➤ Syarat Agregat Kasar

Agregat kasar dapat digunakan dalam pembuatan beton alir apabila telah memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan. Berikut persyaratan

agregat kasar agar dapat digunakan dalam pembuatan beton alir berdasarkan (SII.0052 dalam Mulyono, T., 2004).

- Modulus halus butir 6.0 sampai 7.1
- Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70mikron (0,0074mm) maksimum 1%.
- Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 1%.
- Kekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%.
- Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai  $\text{Na}_2\text{O}$  lebih besar dari 0,6%.
- Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.

Adapun persyaratan agregat kasar sesuai dengan ASTM C33 – 03 akan disediakan dalam bentuk gambar di bawah ini

Class Designation	Type or Location of Concrete Construction	Maximum Allowable, %						
		Clay Lumps and Friable Particles	Chert (Less Than 2.40 sp gr SSD)	Sum of Clay Lumps, Friable Particles, and Chert (Less Than 2.40 sp gr SSD)	Material Finer Than 75- $\mu\text{m}$ (No. 200) Sieve	Coal and Lignite	Abrasion <sup>a</sup>	Magnesium Sulfate Soundness (5 cycles) <sup>b</sup>
Severe Weathering Regions								
1S	Footings, foundations, columns and beams not exposed to the weather, interior floor slabs to be given coverings	10.0	...	...	1.0 <sup>c</sup>	1.0	50	...
2S	Interior floors without coverings	5.0	...	...	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	...
3S	Foundation walls above grade, retaining walls, abutments, piers, girders, and beams exposed to the weather	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	18
4S	Pavements, bridge decks, driveways and curbs, walks, patios, garage floors, exposed floors and porches, or water-front structures, subject to frequent wetting	3.0	5.0	5.0	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	18
5S	Exposed architectural concrete	2.0	3.0	3.0	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	18
Moderate Weathering Regions								
1M	Footings, foundations, columns, and beams not exposed to the weather, interior floor slabs to be given coverings	10.0	...	...	1.0 <sup>c</sup>	1.0	50	...
2M	Interior floors without coverings	5.0	...	...	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	...
3M	Foundation walls above grade, retaining walls, abutments, piers, girders, and beams exposed to the weather	5.0	8.0	10.0	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	18
4M	Pavements, bridge decks, driveways and curbs, walks, patios, garage floors, exposed floors and porches, or water-front structures subject to frequent wetting	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	18
5M	Exposed architectural concrete	3.0	3.0	5.0	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	18
Negligible Weathering Regions								
1N	Slabs subject to traffic abrasion, bridge decks, floors, sidewalks, pavements	5.0	...	...	1.0 <sup>c</sup>	0.5	50	...
2N	All other classes of concrete	10.0	...	...	1.0 <sup>c</sup>	1.0	50	...

<sup>a</sup> Crushed air-cooled blast-furnace slag is excluded from the abrasion requirements. The rodded or jigged bulk density (unit weight) of crushed air-cooled blast-furnace slag shall be not less than 1120 kg/m<sup>3</sup> (70 lb/ft<sup>3</sup>). The grading of slag used in the bulk density (unit weight) test shall conform to the grading to be used in the concrete. Abrasion loss of gravel, crushed gravel, or crushed stone shall be determined on the test size or sizes most nearly corresponding to the grading or gradings to be used in the concrete. When more than one grading is to be used, the limit on abrasion loss shall apply to each.

<sup>b</sup> The allowable limits for soundness shall be 12% if sodium sulfate is used.

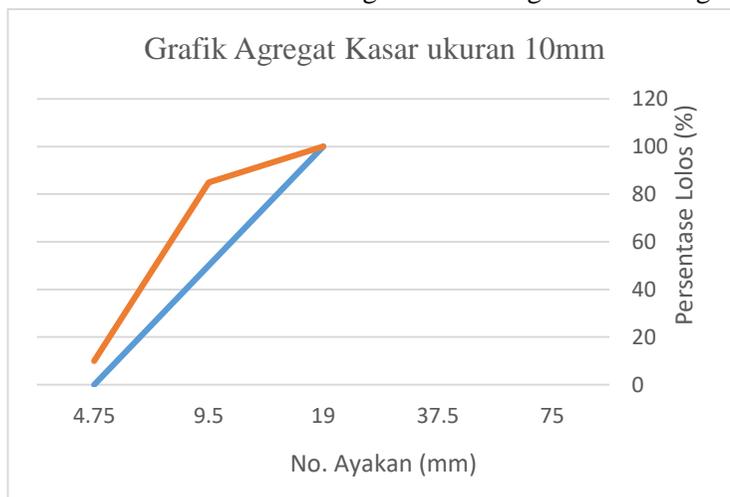
<sup>c</sup> This percentage under either of the following conditions: (1) is permitted to be increased to 1.5 if the material is essentially free of clay or shale; or (2) if the source of the fine aggregate to be used in the concrete is known to contain less than the specified maximum amount passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve (Table 1) the percentage limit ( $L$ ) on the amount in the coarse aggregate is permitted to be increased to  $L = 1 + [(P)/(100 - P)](T - A)$ , where  $P$  = percentage of sand in the concrete as a percent of total aggregate,  $T$  = the Table 1 limit for the amount permitted in the fine aggregate, and  $A$  = the actual amount in the fine aggregate. (This provides a weighted calculation designed to limit the maximum mass of material passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve in the concrete to that which would be obtained if both the fine and coarse aggregate were supplied at the maximum tabulated percentage for each of these ingredients.)

ASTM C33-03

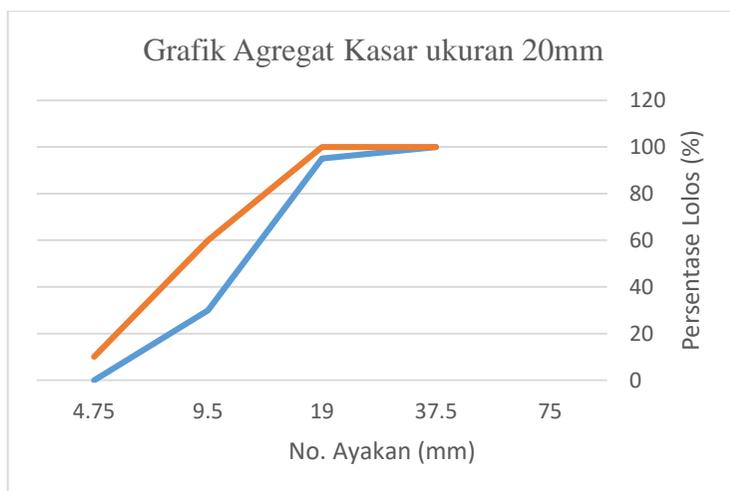
Gambar 2.6 Persyaratan Agregat Kasar sesuai ASTM C33 – 03  
(Sumber : ASTM C33 – 03., 2003)

### ➤ Gradasi Agregat Kasar

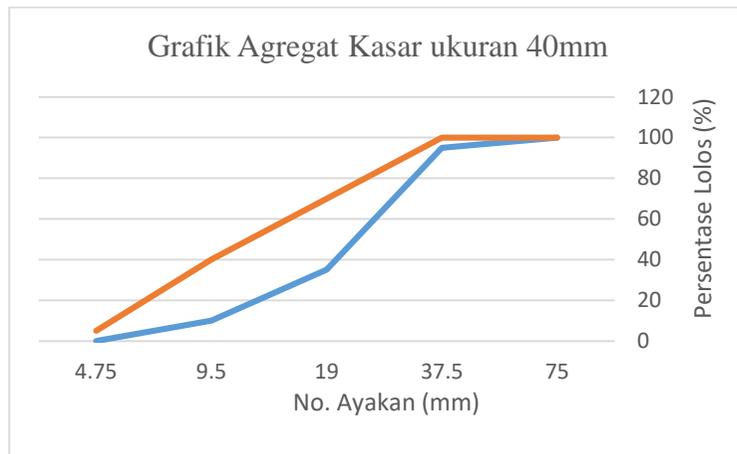
Gradasi agregat kasar yaitu pengujian yang dilakukan pada bahan agregat kasar untuk mengetahui jenis daerah kategori agregat kasar dengan cara analisa ayakan. Menurut (SNI 03-2834-2000), gradasi agregat kasar dibedakan menjadi tiga daerah kategori yaitu kategori agregat kasar ukuran 10mm, agregat kasar ukuran 20mm, dan agregat kasar ukuran 40mm. Berikut gambar dari tiga daerah kategori tersebut



Gambar 2.7 Grafik Agregat Kasar ukuran 10mm  
(Sumber : SNI 03-2834-2000., 2000)



Gambar 2.8 Grafik Agregat Kasar ukuran 20mm  
(Sumber : SNI 03-2834-2000., 2000)



Gambar 2.9 Grafik Agregat Kasar ukuran 40mm  
(Sumber : SNI 03-2834-2000., 2000)

#### 2.2.4 Air Suling

Bahan yang digunakan setelah agregat kasar dalam pembuatan beton alir yaitu air suling. Air suling diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (Mulyono, T., 2004).

Air suling yang digunakan untuk pencampuran pembuatan beton alir tidak boleh menggunakan air yang diluar kriteria persyaratan. Hal itu dikarenakan dapat mengakibatkan kualitas dari beton alir yang dihasilkan akan tidak maksimal. Sehingga, diperlukan sebuah kriteria persyaratan agar dapat mengetahui bagaimana bahan air tersebut dapat digunakan untuk pencampuran pembuatan material beton alir. Berikut persyaratan air yang wajib dipenuhi untuk pencampuran dalam pembuatan beton alir berdasarkan (SNI 03-2847-2002).

- a. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
- b. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan. Berikut tabel batasan maksimum dari ion klorida yang tidak boleh untuk dilampaui

Tabel 2.5 Batasan Maksimum Ion Klorida

Jenis Komponen Struktur	Ion klorida terlarut (Cl-) pada beton persen terhadap berat semen
Beton prategang	0,06
Beton bertulang yang terpapar lingkungan klorida selama masa layannya	0,15
Beton bertulang dalam kondisi kering/terlindung dari air selama masa layannya	1,00
Konstruksi beton lainnya	0,30

(Sumber : SNI 03-2847-2002., 2002)

- c. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi :
- Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
  - Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “*Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis* (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50mm)” (ASTM C 109).

Dengan mengikuti petunjuk bagaimana kriteria air yang dapat digunakan untuk pembuatan beton alir, diharapkan dapat menghasilkan beton alir dengan kualitas yang terbaik.

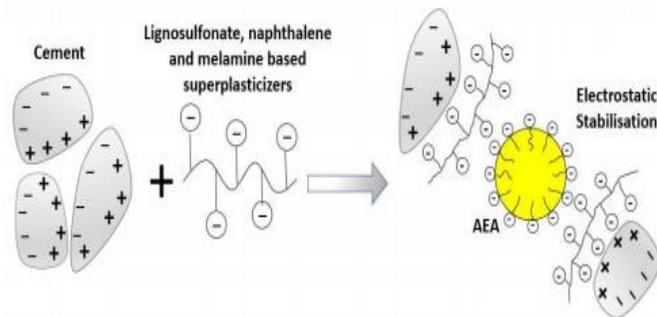
### 2.2.5 Superplasticizer

Superplasticizer merupakan bahan tambah (admixture) yang digunakan dalam pembuatan beton alir, hal itu dikarenakan penggunaan superplasticizer dapat meningkatkan nilai workabilitas. Menurut (Mulyono, T., 2004), superplasticizer dibedakan menjadi tiga jenis yang diantaranya adalah sebagai berikut :

- Kondensasi sulfonat melamin fermadehid dengan kandungan klorida sebesar 0,005%.

- Sulfonate naphthalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan.
- Modifikasi lignosulfat tanpa kandungan klorida.

Adapun mekanisme kerja dari superplasticizer menurut (Fahim Al-Neshawy, dkk., 2019) yaitu dengan adanya superplasticizer maka kadar udara cenderung berkurang. Partikel semen yang mulanya bermuatan ion positif dan ion negatif, ketika bertemu dengan ion negatif milik superplasticizer maka akan terjadi tolak menolak, sehingga menyebabkan tercegah dan menurunnya adsorpsi dari molekul yang dimiliki oleh air. Akibatnya, ada sedikit ruang untuk gelembung udara masuk. Selain itu, dengan muatan negatif membuat partikel semen dan gelembung udara saling menyebar dan membuat beton memiliki workabilitas yang tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Mekanisme Kerja Superplasticizer  
(Sumber : Fahim Al – Neshawy., dkk., 2019)

Pada penelitian kali ini superplasticizer yang digunakan yaitu Sika ViscoCrete® - 3115N. Adapun rekomendasi dosis yang digunakan dalam pembuatan beton alir menggunakan produk Sika ViscoCrete® - 3115N yaitu antara 0,8% - 2,0%.

### 2.2.6 Komposisi Bahan Penyusun Beton Alir

Beton alir merupakan beton yang memiliki workabilitas tinggi dengan nilai *slump* lebih dari 7,5 inchi (190mm) tanpa terjadinya *bleeding* dan *segregasi* (R. Trimurtiningrum & A. Subakti., 2017).

Menurut (Okamura dan Ouchi., 2003), Metode untuk mencapai *self-compacting* tidak hanya melibatkan deformabilitas pasta atau mortar yang tinggi, akan tetapi juga ketahanan terhadap *segregasi* bahan antara agregat kasar dan mortar saat beton akan mengalir. Adapun komposisi penyusun beton alir sesuai *EFNARC : The European Guideline for Self- Compacting*

*Concrete Specification, Production, and Use* Pasal 8.4; Tabel 8.2; Hal-21 adalah sebagai berikut

Tabel 2.6 Komposisi Bahan Penyusun Beton Alir sesuai *EFNARC*

Bahan Penyusun	Perkiraan Material berdasarkan Berat (Kg/m <sup>3</sup> )	Perkiraan Material berdasarkan Volume (Liter/m <sup>3</sup> )
<i>Powder</i>	300 – 600	
Pasta		300 – 380
Air Suling	150 – 210	150 – 210
Agregat Kasar	750 – 1000	270 – 360
Agregat Halus	Agregat halus biasanya menyeimbangkan dengan volume bahan penyusun lainnya, 48% – 55% dari total berat agregat	
Rasio W/P berdasarkan Volume		0,85 – 1,10

(Sumber : *EFNARC.*, 2005)

### 2.3 Pozolan

Pozolan adalah jenis bahan yang mengandung silisium atau alumunium, yang tidak mempunyai sifat penyemenan. Butirannya halus dan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang serta membentuk senyawa – senyawa yang mempunyai sifat – sifat semen (Mulyono, T., 2004).

Pozolan dibagi menjadi dua jenis berdasarkan asal pembentukannya yaitu pozolan buatan dan pozolan alam. Pozolan buatan adalah semen merah, abu terbang, shale dan lempung yang mengalami proses pemanasan atau tanah/batu – batuan yang mengandung kadar silika tinggi sehingga bersifat seperti pozolan, sedangkan pozolan alam adalah pozolan yang didapatkan dari alam seperti tras, abu batuan dari gunung api, tanah diatome (SNI 03-6863-2002).

Pozolan pun juga terdapat pembagian tipe, dimana setiap tipe memiliki syarat kimia dan fisika yang berbeda – beda. Berikut tipe pozolan beserta syarat kimia dan fisika menurut ASTM C 618 – 05 :

#### - Tipe N

Tipe ini merupakan pozolan alam atau hasil kalsinasi dengan memenuhi persyaratan yang berlaku pada tipe ini. Contoh dari tipe N yaitu tanah diatomic, opaline cherts dan shales, tuff dan abu vulkanik atau pumacities, dimana prosesnya bisa melalui tahapan kalsinasi atau tidak. Selain itu, tipe N juga termasuk dari berbagai bahan material yang

mengalami proses kalsinasi dan kemudian mempunyai sifat pozolan yang memuaskan.

- **Tipe F**

Tipe ini merupakan abu terbang yang biasanya dihasilkan dari proses pembakaran batubara antrasit atau bitumen dengan memenuhi persyaratan yang berlaku pada tipe ini. Pada tipe ini memiliki sifat pozolan.

- **Tipe C**

Tipe ini merupakan abu terbang yang biasanya dihasilkan dari lignit atau subbitumen dengan memenuhi persyaratan yang berlaku pada tipe ini. Pada tipe ini memiliki sifat pozolan dan beberapa sifat semen.

Berikut persyaratan kimia dan fisika dari ketiga tipe pozolan yang akan disediakan dalam bentuk tabel.

Tabel 2.7 Persyaratan Kimia Tipe Pozolan

Uraian	N	F	C
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , min (%)	70,0	70,0	50,0
Sulfur trioksida (SO <sub>3</sub> ), max (%)	4,0	5,0	5,0
Kadar kelembaban, max (%)	3,0	3,0	3,0
Hilang Pijar, max (%)	10,0	6,0 <sup>A</sup>	6,0
<sup>A</sup> Apabila menggunakan pozolan tipe F dengan kandungan hilang pijar lebih dari 12% maka harus memenuhi persetujuan terlebih dahulu oleh pengguna dan juga harus tersedia pula hasil tes dari laboratorium.			

(Sumber : ASTM C 618 – 05., 2005)

Tabel 2.8 Persyaratan Fisika Tipe Pozolan

Uraian	N	F	C
Kehalusan :			
Jumlah yang tertahan pada ayakan 45µm (No.325), max (%)	34	34	34
Indeks aktivitas kekuatan : <sup>A)</sup>			
Menggunakan semen portland dengan umur 7 hari, min (%)	75 <sup>(B)</sup>	75 <sup>(B)</sup>	75 <sup>(B)</sup>
Menggunakan semen portland dengan umur 28hari, min (%)	75 <sup>(B)</sup>	75 <sup>(B)</sup>	75 <sup>(B)</sup>
Kebutuhan Air, max (%)	115	105	105
<i>Soundness</i> : <sup>(C)</sup>			
Ekspansi atau kontraksi dengan autoclave	0,8	0,8	0,8

Tabel 2.8 Persyaratan Fisika Tipe Pozolan (Lanjutan)

Uraian	N	F	C
Persyaratan Keseragaman :			
Berat jenis dan kehalusan dari contoh benda uji tidak boleh berbeda dari rata-rata yang ditetapkan dari 10 tes sebelumnya, atau dari keseluruhan tes sebelumnya. Jika jumlahnya kurang dari sepuluh, maka :			
- berat jenis, variasi maksimum dari rata-rata (%)	5	5	5
- persentase tertahan pada ayakan 45- $\mu$ m (No.325) variasi maksimum dari persentase rata-rata	5	5	5
<p><sup>(A)</sup> Indeks aktivitas kekuatan dengan semen portland tidak dianggap sebagai ukuran kekuatan tekan beton yang mengandung abu terbang atau pozolan alami. Massa abu terbang atau pozolan alami yang ditentukan untuk pengujian untuk menentukan indeks aktivitas kekuatan dengan semen portland tidak dianggap sebagai proporsi yang direkomendasikan untuk beton yang akan digunakan dalam pekerjaan. Jumlah optimum abu terbang atau pozolan alami untuk proyek tertentu ditentukan oleh kebutuhan yang diperlukan oleh beton dan unsur lain dari beton dan akan ditetapkan dengan pengujian. Indeks aktivitas kekuatan dengan semen portland adalah ukuran reaktivitas dengan diberikan semen dan dapat bervariasi tergantung pada sumber abu terbang, atau pozolan alami dan semen.</p> <p><sup>(B)</sup> Memenuhi indeks aktivitas kekuatan dengan lama waktu 7hari atau 28hari menunjukkan ketaatan dalam menjalankan spesifikasi.</p>			

(Sumber : ASTM C 618 – 05., 2005)

Ketika bahan pozolan menjadi bahan pengganti sebagian semen dari pembuatan beton alir, maka akan terjadi beberapa perubahan dalam sifat – sifat fisik beton alir yang diantaranya yaitu perubahan terhadap waktu pengikatan, berat jenis, resapan, kuat tekan, dan lain sebagainya.

Maka dari itu, diperlukan peninjauan kembali akibat dari pengganti sebagian semen dengan bahan pozolan terhadap sifat – sifat fisik beton alir. Hal itu dilakukan agar mendapatkan hasil secara pasti pengaruh yang ditimbulkan dengan substitusi parsial bahan semen dengan bahan pozolan terhadap sifat – sifat fisik beton alir.

#### 2.4 Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu merupakan bahan yang terbentuk dari sisa-sisa batang pohon tebu yang sudah digiling untuk diambil niranya yang kemudian dikeringkan dan dibakar hingga menjadi partikel-partikel yang terkecil dan

halus. Adapun proses terjadinya abu ampas tebu menurut (Rompas, G. Phillip, dkk., 2013) adalah sebagai berikut :

- Setelah tebu ditebang, kemudian diangkut ke pabrik gula.
- Batang – batang tebu tersebut kemudian digiling untuk dikeluarkan air gulanya sehingga tersisa abu ampas tebu yang dalam keadaan kering.
- Abu ampas tebu ini kemudian dengan peralatan mekanik diangkut ke dapur pembakaran ketel – ketel uap.
- Apabila ampas tebu tersebut telah terbakar halus/habis abu tersebut dikeluarkan dari dapur pembakaran untuk kemudian dibuang. Abu inilah yang merupakan limbah yang akan dimanfaatkan sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton.

#### 2.4.1 Kandungan Senyawa Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu digunakan sebagai bahan alternatif substitusi parsial semen dikarenakan terdapat kandungan senyawa yang menguntungkan didalamnya. Berikut tabel kandungan senyawa yang berada di dalam abu ampas tebu :

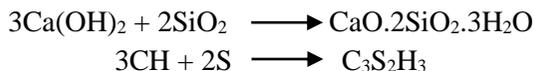
Tabel 2.9 Kandungan Senyawa Abu Ampas Tebu

Komposisi	Persentase
SiO <sub>2</sub>	59.3%
K <sub>2</sub> O	19.4%
CaO	7.39%
SO <sub>3</sub>	5.5%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.4%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.14%
MoO <sub>3</sub>	1%
MnO	0.31%
ZnO	0.12%
Rb <sub>2</sub> O	0.11%
TiO <sub>2</sub>	0.086%
CuO	0.066%
BaO	0.06%
Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0.06%
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04%

(Sumber : Penulis., 2020)

Dengan kadungan silika (SiO<sub>2</sub>) yang sangat tinggi maka abu ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen dalam pembuatan

beton alir. Menurut (Rompas, G. Phillip, dkk., 2013), dengan adanya abu ampas tebu yang mengandung SiO<sub>2</sub> yang digunakan pada campuran beton kemudian akan bereaksi dengan kapur Ca(OH)<sub>2</sub> yang dibebaskan dari reaksi hidrasi antara semen dengan air sehingga menghasilkan senyawa C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub> yang berfungsi sama seperti semen sebagai perekat, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut :



**2.4.2 Karakteristik Fisik Abu Ampas Tebu**

Karakteristik fisik abu ampas tebu dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya berupa suhu dan waktu lamanya pembakaran. Berikut gambar karakteristik fisik abu ampas tebu yang dipengaruhi dengan suhu dan waktu lamanya pembakaran

Burning Temperature	Burning Duration		
	1 h	2 h	3 h
600 °C			
700 °C			
800 °C			

Gambar 2.11 Karakteristik Fisik Abu Ampas Tebu  
(Sumber : Qing Xu., dkk., 2018)

Pada suhu 600<sup>0</sup>C dengan lama waktu pembakaran 1 jam, abu ampas tebu akan berwarna hitam. Hal ini menunjukkan bahwa abu ampas tebu masih memiliki senyawa karbon yang cukup tinggi. Pada suhu 700<sup>0</sup>C dengan lama waktu pembakaran 1 jam, abu ampas tebu akan berwarna keabu – abuan. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa karbon yang berada pada abu ampas tebu sudah menurun dari sebelumnya dan pada kondisi ini pula kandungan silika yang dimiliki meningkat dari sebelumnya. Pada suhu 800<sup>0</sup>C atau bahkan lebih dengan waktu pembakaran 1 jam, abu ampas tebu akan berwarna keputihan. Hal ini menunjukkan bahwa abu ampas tebu telah terjadi proses kalsinasi dan sudah tidak memiliki sifat pozolan, dimana hal ini juga berlaku pada kondisi abu ampas tebu dengan lamanya waktu pembakaran lebih dari 1 jam.

## 2.5 Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton Alir

Pemeriksaan bahan penyusun beton alir dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui spesifikasi dari bahan yang akan digunakan sebagai bahan penyusun dari beton alir. Adapun pemeriksaan bahan penyusun beton alir yang dilakukan adalah sebagai berikut.

### a. Pemeriksaan Konsistensi Normal Semen Portland

Pemeriksaan konsistensi normal semen Portland menggunakan referensi *ASTM C 187 – 04 : Standard Test Method for Normal Consistency of Hydrraulic Cement*. Pada pemeriksaan konsistensi normal semen Portland memiliki tujuan untuk mengetahui persentase air suling yang diperlukan untuk pemeriksaan waktu mengikat dan mengeras semen Portland.

### b. Pemeriksaan Waktu Mengikat dan Mengeras Semen Portland

#### - Waktu Mengikat

Waktu mengikat yaitu waktu yang dibutuhkan oleh semen semenjak semen sudah bercampur dengan air suling hingga kondisi fisik dari sebagian semen sudah mengeras.

#### - Waktu Mengeras

Waktu mengeras yaitu waktu yang dibutuhkan oleh semen Portland semenjak semen sudah bercampur dengan air suling hingga kondisi semen Portland mengeras di seluruh bagiannya.

Adapun referensi yang digunakan untuk pemeriksaan waktu mengikat dan mengeras semen yaitu *ASTM C 191 – 08 : Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Neddle*.

### c. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Pemeriksaan analisa saringan agregat halus menggunakan referensi *ASTM C 136 – 01 : Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate*. Pada pemeriksaan analisa saringan agregat halus memiliki tujuan untuk menentukan zona gradasi dari bahan agregat halus yang akan digunakan. Adapun rumus untuk menghitung analisa saringan agregat halus adalah sebagai berikut :

$$\text{Persentase pasir yang tertahan} = \frac{B}{A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- B : Pasir yang tertahan dalam saringan (gr)
- A : Pasir oven mula-mula (gr)

**d. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus**

Pemeriksaan berat jenis agregat halus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai berat jenis dari bahan agregat halus yang akan digunakan. Bahan agregat halus yang akan digunakan pada pemeriksaan berat jenis harus bersifat SSD (*Saturated – Surface – Dry*). Adapun rumus untuk mengetahui nilai berat jenis agregat halus menurut *ASTM C 128 – 01 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate* adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{D}{C + A - B} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- A : Berat SSD agregat halus (gr)
- B : Berat piknometer dengan pasir SSD dan air suling (gr)
- C : Berat piknometer dengan air suling (gr)
- D : Berat pasir SSD setelah di oven (gr)

**e. Pemeriksaan Resapan Agregat Halus**

Pemeriksaan resapan agregat halus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui persentase kadar air yang berada pada bahan agregat halus yang akan digunakan. Adapun rumus untuk mengetahui nilai persentase resapan air pada agregat halus menurut *ASTM C 128 – 01 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate* adalah sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air Resapan} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- A : Agregat halus SSD (gr)
- B : Agregat halus yang telah keluar dari oven (gr)

**f. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus**

Pemeriksaan berat volume agregat halus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berat volume agregat halus yang akan digunakan dalam pembuatan beton alir. Pemeriksaan berat volume agregat halus dibedakan menjadi dua tahapan, yaitu tahapan tanpa rojokan dan tahapan dengan rojokan. Adapun rumus untuk mengetahui nilai berat volume agregat halus menurut *ASTM C 29/C 29M – 97 (Reapproved 2003)* :

*Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate* adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat Volume Pasir} = \frac{B-A}{V} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- B : Berat agregat halus dengan silinder (gr)  
 A : Berat silinder (gr)  
 V : Volume silinder (cm<sup>3</sup>)

**g. Pemeriksaan Kelembaban Agregat Halus**

Pemeriksaan kelembaban agregat halus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai dari kelembaban agregat halus yang akan digunakan. Agregat halus yang akan digunakan dalam pemeriksaan ini menggunakan agregat halus asli yang kemudian dimasukkan kedalam oven. Adapun rumus untuk menghitung nilai kelembaban agregat halus menurut *ASTM C 566 – 97 : Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* adalah sebagai berikut :

$$\text{Kelembaban} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- A : Agregat halus Asli (gr)  
 B : Agregat halus yang telah keluar dari oven (gr)

**h. Pemeriksaan Kebersihan Agregat Halus terhadap Lumpur dengan Cara Kering**

Pemeriksaan kebersihan agregat halus terhadap lumpur dengan cara kering dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui persentase kadar lumpur yang terdapat dalam bahan agregat halus. Adapun rumus untuk mengetahui nilai persentase kadar lumpur dengan cara kering menurut *ASTM C 117 – 95 : Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing* adalah sebagai berikut :

$$\text{Persentase Kadar Lumpur} = \frac{B-C}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- B : Berat agregat halus kering (gr)  
 C : Berat agregat halus kering setelah dicuci (gr)

**i. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar**

Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar menggunakan referensi *ASTM C 136 – 01 : Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and*

*Coarse Aggregate*. Pada pemeriksaan analisa saringan agregat kasar memiliki tujuan untuk menentukan zona gradasi dari bahan agregat kasar yang akan digunakan. Adapun rumus untuk menghitung analisa saringan agregat kasar adalah sebagai berikut :

$$\text{Persentase pasir yang tertahan} = \frac{B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- B : Pasir yang tertahan dalam saringan (gr)
- A : Pasir oven mula-mula (gr)

**j. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar**

Pemeriksaan berat jenis agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai berat jenis dari bahan agregat kasar yang akan digunakan. Bahan agregat kasar yang akan digunakan pada pemeriksaan berat jenis harus bersifat SSD (*Saturated – Surface – Dry*). Adapun rumus untuk mengetahui nilai berat jenis agregat kasar menurut *ASTM C 127 – 01 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate* adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- B : Berat SSD agregat kasar (gr)
- C : Berat agregat kasar SSD di dalam air (gr)

**k. Pemeriksaan Resapan Agregat Kasar**

Pemeriksaan resapan agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui persentase kadar air yang berada pada bahan agregat kasar yang akan digunakan. Adapun rumus untuk mengetahui nilai persentase resapan air pada agregat kasar menurut *ASTM C 127 – 01 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate* adalah sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air Resapan} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- A : Agregat kasar SSD (gr)
- B : Agregat kasar yang telah keluar dari oven (gr)

**l. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar**

Pemeriksaan berat volume agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berat volume agregat kasar yang akan digunakan

dalam pembuatan beton alir. Pemeriksaan berat volume agregat kasar dibedakan menjadi dua tahapan, yaitu tahapan tanpa rojokan dan tahapan dengan rojokan. Adapun rumus untuk mengetahui nilai berat volume agregat kasar menurut *ASTM C 29/C 29M – 97 (Reapproved 2003) : Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate* adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat Volume Pasir} = \frac{B-A}{V} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- B : Berat agregat kasar dengan silinder (gr)  
 A : Berat silinder (gr)  
 V : Volume silinder (cm<sup>3</sup>)

#### m. Pemeriksaan Kelembaban Agregat Kasar

Pemeriksaan kelembaban agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai dari kelembaban agregat kasar yang akan digunakan. Agregat kasar yang akan digunakan dalam pemeriksaan ini menggunakan agregat kasar asli yang kemudian dimasukkan kedalam oven. Adapun rumus untuk menghitung nilai kelembababan agregat kasar menurut *ASTM C 566 – 97 : Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* adalah sebagai berikut :

$$\text{Kelembaban} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

- A : Agregat kasar Asli (gr)  
 B : Agregat kasar yang telah keluar dari oven (gr)

#### n. Pemeriksaan Kebersihan Agregat Kasar terhadap Lumpur dengan Cara Kering

Pemeriksaan kebersihan agregat kasar terhadap lumpur dengan cara kering dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui persentase kadar lumpur yang terdapat dalam bahan agregat kasar. Adapun rumus untuk mengetahui nilai persentase kadar lumpur dengan cara kering menurut *ASTM C 117 – 95 : Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing* adalah sebagai berikut :

$$\text{Persentase Kadar Lumpur} = \frac{B-C}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

- B : Berat agregat kasar kering (gr)  
 C : Berat agregat kasar kering setelah dicuci (gr)

**o. Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar**

Pemeriksaan keausan agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai persentase keausan dari agregat kasar dengan menggunakan mesin los angeles. Adapun rumus untuk mengetahui nilai persentase keausan agregat kasar menurut *ASTM C131/C131M – 14 : Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine* adalah sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{C-Y}{C} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

C : Berat agregat kasar awal mula (gr)

Y : Berat agregat kasar tertahan ayakan no.12 (gr)

**p. Pengujian XRF Abu Ampas Tebu**

Pengujian XRF abu ampas tebu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui unsur senyawa yang dimiliki oleh abu ampas tebu. Pengujian XRF dipilih dikarenakan pengujian XRF memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan pengujian lainnya. Menurut (Rosika K., dkk., 2007), alat speknometer XRF memiliki kelebihan dibandingkan dengan alat analisis yang lain, seperti preparasi sampel yang mudah/serhana, waktu pengukuran relatif singkat dan hasil analisis cukup akurat.

**q. Pemeriksaan Kelembaban Abu Ampas Tebu**

Pemeriksaan kelembaban abu ampas tebu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai dari kelembaban abu ampas tebu yang akan digunakan. Adapun rumus untuk menghitung nilai kelembaban abu ampas tebu adalah sebagai berikut :

$$\text{Kelembaban} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

A : Abu ampas tebu asli (gr)

B : Abu ampas tebu yang telah keluar dari oven (gr)

**r. Pemeriksaan Berat Jenis Abu Ampas Tebu**

Pemeriksaan berat jenis abu ampas tebu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai dari berat jenis abu ampas tebu yang akan digunakan. Adapun rumus untuk menghitung nilai berat jenis abu ampas tebu adalah sebagai berikut

$$\text{Berat Jenis} = \left( \frac{w_1}{(w_1 + w_2) - w_3} \right) \times BJ \text{ Air} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

W1	: Berat abu ampas tebu	(gr)
W2	: Berat labu ukur + air	(gr)
W3	: Berat labu ukur + air + abu ampas tebu	(gr)

## 2.6 Pengujian Berat Jenis Beton

Pengujian berat jenis beton merupakan pengujian yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besaran nilai actual dari berat jenis beton yang akan digunakan. Adapun rumus untuk mengetahui nilai actual dari berat jenis beton menurut *SNI 1973 – 2008 : Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton* adalah sebagai berikut :

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

D	: Berat isi beton	(Kg/m <sup>3</sup> )
M <sub>c</sub>	: Berat wadah ukur yang diisi beton	(Kg)
M <sub>m</sub>	: Berat wadah ukur	(Kg)
V <sub>m</sub>	: Volume wadah ukur	(m <sup>3</sup> )

## 2.7 Pengujian Resapan Beton

Pengujian resapan beton merupakan pengujian yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kadar air yang terdapat pada beton yang akan digunakan. Adapun rumus untuk mengetahui nilai kadar air pada beton menurut *ASTM C 642 – 06 : Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete* adalah sebagai berikut :

$$\text{Resapan Beton} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

M <sub>b</sub>	: Massa benda uji jenuh	(gr)
M <sub>k</sub>	: Massa benda uji kering	(gr)

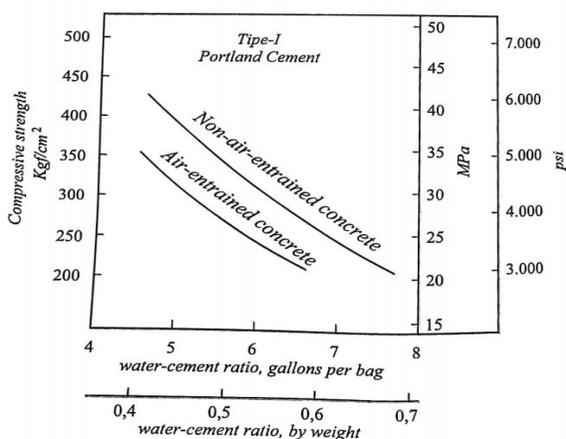
## 2.8 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk mengetahui besaran nilai beban yang dapat diterima oleh suatu benda uji per satuan luas dengan menekan benda uji hingga hancur menggunakan bantuan mesin tekan.

Besaran nilai kuat tekan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang diantaranya adalah sebagai berikut :

**- Faktor Air Semen**

Dalam perencanaan benda uji untuk dilakukan pengujian kuat tekan, salah satu faktor yang perlu diperhatikan yaitu faktor air semen. Faktor air semen yaitu perbandingan antara semen dengan air. Apabila dalam perencanaan menggunakan air yang terlalu banyak maka akan menimbulkan beton alir bersifat lunak dan cenderung encer, sehingga akan membuat nilai kuat tekan dari benda uji akan menurun. Begitu juga sebaliknya, apabila menggunakan air yang terlalu sedikit dalam perencanaan maka akan mengalami kesusahan dalam proses pengerjaan dan bahkan bahan penyusun dari benda uji tidak tercampur dengan rata sehingga membuat benda uji tidak bisa terbentuk. Maka dari itu untuk memperoleh nilai kuat tekan yang diinginkan maka harus mempertimbangkan perbandingan yang ideal antara air dan semen yang akan digunakan. Adapun gambar perbandingan ratio semen dengan air adalah sebagai berikut



Gambar 2.12 Hubungan FAS dengan Kuat Tekan Beton

(Sumber : Lesmana, Y., 2020)

Adapun rumus untuk mengetahui nilai kuat tekan menurut SNI 1974 – 2011 adalah sebagai berikut :

$$F = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

F : Kuat tekan beton (Mpa)

P : Gaya tekan maksimum (N)

A : Luas penampang benda uji (mm)

- **Curing Benda Uji**

Proses *curing* merupakan proses yang dilakukan setelah beton alir tercetak yang kemudian dimasukkan ke dalam air. Proses ini dilakukan agar dapat memastikan bahwa reaksi antara bahan penyusun yang satu dengan bahan penyusun yang lainnya dapat berlangsung secara optimal. Selain itu, proses ini dilakukan agar beton alir tidak terlalu cepat kehilangan air sehingga dapat mencegah dari keretakan pada daerah beton alir yang nantinya dapat membuat nilai kuat tekan beton alir menurun.

## 2.9 Perhitungan Standard Deviasi

Perhitungan standard deviasi pada beton alir bertujuan untuk mengetahui nilai standard deviasi yang dihasilkan, dimana nilai standard deviasi ini digunakan untuk mengetahui bagaimana kategori pada pembuatan beton alir yang sudah dilakukan. Berikut merupakan rumus untuk mencari nilai standard deviasi dan juga tabel untuk menentukan kategori yang berasal dari nilai standard deviasi sesuai dengan *ACI 214R – 11 : Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete* adalah sebagai berikut

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - X_i)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$S_d$  : Standard Deviasi

$X$  : Hasil kuat tekan (Mpa)

$X_i$  : Rata – rata kuat tekan (Mpa)

$n$  : Jumlah benda uji

Tabel 2.10 Nilai Standard Deviasi Beton Kontrol  $f'c \leq 5000\text{Psi}$  (35Mpa)

Overall Variation					
Class of operation	Standar deviation for different control standard, psi (Mpa)				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
General construction control	Below 400	400 to 500	500 to 600	600 to 700	Above 700
	Below 2.8	(2.8 to 3.4)	(3.4 to 4.1)	(4.1 to 4.8)	Above 4.8
Laboratory trial batch	Below 200	200 to 250	250 to 300	300 to 350	Above 350
	Below 1.4	(1.4 to 1.7)	(1.7 to 2.1)	(2.1 to 2.4)	Above 2.4

(Sumber : *ACI 214R – 11., 2011*)

## 2.10 Perhitungan Biaya Pembuatan Beton Alir

Perhitungan biaya pembuatan beton alir merupakan perhitungan yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berapakah biaya yang dibutuhkan untuk membuat beton alir dengan bahan abu ampas tebu sebagai *substitusi parsial* dengan persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%.

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu bahan referensi yang digunakan untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang topik pada penulisan tugas akhir ini. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini

### A. PENGARUH PEMANFAATAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DALAM CAMPURAN BETON DITINJAU TERHADAP KUAT TARIK LENTUR DAN MODULUS ELASTISITAS (Rompas, G Phillip., dkk., 2013).

Pada penelitian ini membahas tentang abu ampas tebu pada pembuatan beton terhadap modulus elastisitas beton, kekuatan tarik lentur beton, dan kuat tekan beton. Variasi abu ampas tebu yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen dengan benda uji berbentuk silinder ukuran 10cmx20cm untuk pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton. Sedangkan untuk pengujian kuat tarik lentur menggunakan balok dengan ukuran 10x10x50cm. Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Kuat tekan yang dihasilkan dengan substitusi parsial semen dengan abu ampas tebu memberikan nilai lebih besar dari kuat tekan yang direncanakan dan peningkatan terbesar terjadi pada prosentase 5%.
- Semakin besar substitusi abu ampas tebu maka semakin rendah *workability* campuran beton atau campuran beton semakin sulit untuk dikerjakan.
- Secara keseluruhan dengan mempertahankan penggunaan air dalam campuran beton diperoleh persentase optimal pada substitusi abu ampas tebu 5% dari berat semen, karena memberi peningkatan modulus elastisitas dan kuat tekan serta memiliki *workability* yang cukup baik dibandingkan persentase yang lebih dari 5%.

**B. PEMANFAATAN LIMBAH ABU AMPAS TEBU (*BAGGASE ASH*) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN UNTUK MENINGKATKAN KUAT TEKAN DAN DURABILITAS BETON PADA LINGKUNGAN AGRESIF (Sri Haryono dan Luky Primantari, 2005).**

Pada penelitian ini membahas tentang abu ampas tebu pada pembuatan beton terhadap kuat tekan dan durabilitas beton pada lingkungan agresif. Variasi campuran abu ampas tebu yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% dari berat semen dengan benda uji berbentuk silinder ukuran 150mmx300mm. Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Dari hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa substitusi abu ampas tebu sebesar 10% - 15% dari berat semen dapat meningkatkan kuat tekan beton terhadap beton control (tanpa substitusi abu ampas tebu)
- Substitusi abu ampas tebu sebesar 10% - 20% dapat memperkecil serapan dan rembesan air. Serapan dan rembesan air terkecil diperoleh pada substitusi abu ampas tebu sebesar 15% dari berat semen.
- Secara keseluruhan, substitusi abu ampas tebu sebesar 15% merupakan nilai optimum penambahan abu ampas tebu sebagai substitusi semen untuk jangka waktu lama.

**C. PENGARUH VARIASI KADAR *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP NILAI *SLUMP* BETON *GEOPOLYMER* (Anggie Adity Aer., dkk., 2014)**

Pada penelitian ini membahas tentang variasi kadar superplasticizer terhadap nilai slump beton geopolymer. Variasi superplasticizer yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 0%, 0,2%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% dari berat semen dengan benda uji berbentuk kubus ukuran 15cmx15cmx15cm. Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Banyaknya pertambahan kadar superplasticizer yang diberikan berpengaruh terhadap sidat beton segar, yaitu *workability* dan diameter alir beton segar. Hal itu terlihat pada besarnya nilai *slump* dan *slump flow*.

- Untuk varian campuran beton *geopolymer* dengan penggunaan superplasticizer (0,2% sampai 2%) mencapai nilai *slump flow* dengan diameter alir sebesar  $\geq 50$ cm. Dengan demikian varian campuran beton *geopolymer* yang menggunakan *superplasticizer* dalam penelitian ini dikategorikan sebagai *self compacting geopolymer concrete*.
- Pengaruh penambahan *superplasticizer* membuat nilai kuat tekan beton *geopolymer* menjadi tidak teratur. Penambahan *superplasticizer* 0,2%, 0,5% dan 1,5% mengalami kenaikan kuat tekan, akan tetapi penambahan *superplasticizer* 1% dan 2% justru menyebabkan penurunan kuat tekan.

#### **D. PENGARUH PENAMBAHAN ADMIXTURE TERHADAP KARAKTERISTIK SELF COMPACTING CONCRETE (SCC) (Mariani., dkk., 2009)**

Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh penambahan superplasticizer terhadap karakteristik *self compacting concrete*. Variasi superplasticizer yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 1,5%, 2,0% dan 2,5% dengan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15cmx30cm. Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pengaruh penambahan superplasticizer terhadap karakteristik workabilitas scc yaitu, semakin besar kadar superplasticizer yang diberikan maka semakin tinggi tingkat kelacakan aliran yang diukur dengan nilai *slump-flow self compacting concrete*. Sebaliknya, semakin besar kadar superplasticizer yang diberikan maka semakin menurun kekuatan tekan *self compacting concrete*.
- Kadar 1,5%, 2,0% dan 2,5% menghasilkan *self compacting concrete* yang memenuhi keadaan *self compacity* tanpa terjadi segregasi material yang berarti (pendistribusian agregat dalam beton cenderung merata).
- Kadar 1,5% superplasticizer adalah optimal dilihat dari tingkat kelacakan aliran (workabilitas) dan kekuatan tekan *self compacting concrete*.