

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar Teori**

##### **2.1.1. Beton Geopolimer**

Beton Geopolimer sebagai salah satu jenis beton yang menggunakan bahan alami sebagai pengganti semen Portland. Geopolimer adalah material alami yang terbentuk dari reaksi silikat dan aluminat dengan bahan organik. Geopolimer ditemukan dan dikembangkan oleh Profesor Joseph Davidovits pada tahun 1978 dan telah menjadi bahan utama dalam pembuatan beton geopolimer sejak tahun 1980-an (Davidovits, 1991).

Beton geopolimer memiliki beberapa kelebihan pada beton semen Portland. Kelebihan utama pada beton geopolimer adalah memiliki tingkat efisiensi energi yang tinggi dari beton semen Portland. Beton geopolimer membutuhkan suhu yang lebih rendah untuk proses pembuatannya dan memiliki tingkat emisi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah. Beton geopolimer juga memiliki tingkat resistensi terhadap suhu dan kelelahan yang cukup tinggi dibandingkan beton semen Portland.

Beton geopolimer memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tekan dan kekuatan tarik. Kelebihan lain beton geopolimer adalah memiliki tingkat resistensi terhadap korosi yang lebih tinggi dibandingkan beton semen Portland. Hal ini dikarenakan beton geopolimer memiliki sifat alkali dan kimia yang lebih stabil.

##### **2.1.1.1. Perbedaan Beton Semen Portland dengan Beton Geopolimer**

Beton geopolimer dan beton menggunakan campuran semen Portland adalah dua jenis beton yang berbeda, tetapi sering dibandingkan karena kedua jenis beton ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Beton geopolimer adalah jenis beton yang menggunakan bahan alternatif sebagai pengganti semen Portland sebagai bahan pengikat. Bahan alternatif ini biasanya terdiri dari abu vulkanik, bahan industri, dan bahan organik lainnya seperti pada Gambar 2.1. Keuntungan dari beton geopolimer adalah bahannya yang ramah lingkungan, mudah didapat, dan memiliki daya tahan yang baik terhadap kondisi lingkungan yang keras.



Gambar 2. 1 Beton Geopolimer

Gambar 2.1 beton yang menggunakan semen Portland yaitu jenis beton yang paling sering digunakan. Semen Portland adalah bahan pengikat yang dapat mengikat pada bahan-bahan yang digunakan dalam beton seperti pasir, kerikil, dan batu. Keuntungan dari beton yang menggunakan semen Portland adalah mudah didapat dan memiliki daya tahan yang baik. Bahan ini juga memiliki kekurangan, seperti proses produksi yang membutuhkan banyak energi dan gas emisi CO<sub>2</sub> yang cukup tinggi.



Gambar 2. 2 Beton Konvensional Semen Portland

Perbedaan utama antara kedua jenis beton adalah bahan pengikat yang digunakan. Beton geopolimer memiliki bahan pengikat alternatif yang lebih ramah lingkungan, sementara beton yang menggunakan semen Portland memiliki bahan pengikat yang lebih umum digunakan dan memiliki kelebihan dan kekurangan tertentu. Perbedaan itu memuat pada penelitian "Kajian Beton Geopolimer sebagai Alternatif Beton Ramah Lingkungan" oleh (Purnomo, 2017) dan "Analisis Perbandingan Beton Geopolimer dan Beton Semen Portland" oleh (Wibowo, 2018).

### 2.1.2. Bahan Penyusun Beton Geopolimer

Bahan-bahan tersebut meliputi abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan pengikat utama, lalu terdapat larutan alkali aktivator yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dan

sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebagai aktivator reaksi, pasir dan kerikil sebagai agregat halus dan kasar.

#### **2.1.2.1. Agregat Kasar**

Agregat kasar adalah salah satu bahan pengisi yang digunakan dalam beton dan memiliki ukuran besar dibandingkan dengan agregat halus seperti Gambar 2.3. Agregat kasar memainkan peran penting dalam membentuk struktur dan memberikan daya tahan pada beton.



Gambar 2. 3 Agregat Kasar

Agregat kasar membantu memenuhi ruang dalam beton dan mempengaruhi sifat mekanik beton, seperti kekuatan, stabilitas, dan modulus elastisitas. Agregat kasar juga berperan dalam mengurangi kontraksi dan mempengaruhi sifat-sifat beton saat beton membeku dan mengeras.

ASTM C-33 dan juga SNI 03-2847-2000 menyatakan tentang syarat penggunaan agregat kasar pada campuran beton adalah :

1. Agregat kasar memiliki ukuran maksimum pada campuran beton yaitu 40 mm.
2. Agregat kasar harus memiliki kandungan air yang tepat karena berpengaruh terhadap kadar lumpur. Kadar lumpur maksimum pada agregat kasar adalah 1%
3. Agregat kasar harus tidak mengandung materi yang dapat merusak, seperti bahan organik yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas beton.
4. Agregat kasar harus memiliki kepadatan yang tepat sesuai syarat gradasi butiran

#### **2.1.2.2. Agregat Halus**

Agregat halus merupakan salah satu bahan pengisi yang digunakan dalam beton dan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan agregat kasar seperti Gambar 2.4. Agregat halus biasanya berupa pasir dan bertanggung jawab

untuk mengisi ruang antara agregat kasar dan mengikat agregat kasar bersama-sama.



Gambar 2. 4 Agregat Halus

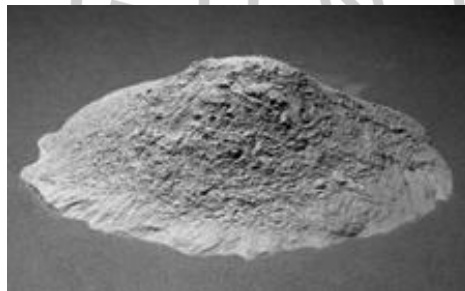
Sebagai bahan pengisi, agregat halus memiliki kegunaan penting dalam menentukan sifat mekanik beton, seperti kekuatan, stabilitas, dan modulus elastisitas. Agregat halus juga berperan dalam mengatur pencampuran beton dan membantu memperbaiki sifat-sifat beton seperti daya serap air dan permeabilitas.

Syarat agregat halus untuk digunakan dalam beton juga di atur oleh Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI) 1982, yaitu :

1. Kadar lumpur pada agregat halus maksimal sebesar 5% dari volumenya. Jika melebihi 5%, maka agregat harus dicuci terlebih dahulu.
2. Agregat tidak mengandung zat organik dan reaktif alkali yang dapat mempengaruhi mutu beton,
3. Agregat harus memenuhi syarat gradasi butiran.

#### 2.1.2.3. *Fly Ash*

*Fly ash* adalah bahan tambahan yang sering digunakan dalam produksi beton geopolimer. *Fly ash* adalah residu dari pembakaran batubara dan memiliki sifat pozzolanik, yang berarti bahwa ia memiliki kemampuan untuk bereaksi pada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (kalsium hidroksida) dan menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat ( $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ ), yang merupakan bahan utama pada beton seperti Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Abu Terbang atau *Fly Ash*

Penggunaan *fly ash* pada beton geopolimer memberikan beberapa manfaat seperti memperbaiki sifat mekanis beton pada kuat tarik, kuat tekan, modulus elastisitas, dan memperbaiki stabilitas dimensional dan resistansi terhadap retak. Pada penelitian sebelumnya, beton geopolimer menunjukkan bahwa pengurangan jumlah abu terbang (*fly ash*) dan penambahan aktivator dapat meningkatkan nilai slump beton geopolimer, tetapi menurunkan kuat tekan beton geopolimer (Salain, 2021). *Fly ash* juga memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi gas emisi CO<sub>2</sub> selama proses produksi beton.

Penggunaan *fly ash* juga memerlukan perhatian khusus terhadap beberapa hal, seperti kualitas *fly ash* yang digunakan dan pengendalian agregat halus yang baik. Kualitas *fly ash* yang buruk dapat mempengaruhi sifat mekanis dan durabilitas beton, sehingga sangat penting untuk memastikan bahwa *fly ash* yang digunakan memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI 2460:2014 atau ASTM C311.

- Fly ash dibagi menjadi beberapa kelas berdasarkan jenisnya.

  1. Kelas C mengandung CaO lebih dari 10% dan dibuat dari batu bara atau lignit dengan kadar karbon lebih dari atau kurang dari 60%.
  2. Kelas F mengandung CaO lebih kecil dari 10% dan dibuat dari batu bara jenis anthracite yang dibakar pada suhu 1.560°C.
  3. Kelas N terdiri dari pozzolan alam seperti tanah diatomik, opaline chert, shales, tuff, dan abu dari letusan vulkanik.

#### **2.1.2.4. Alkali Aktivator**

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang menggunakan bahan pengikat yang berbeda dengan beton konvensional. Bahan pengikat beton geopolimer adalah alkali aktivator, yaitu larutan alkali seperti Natrium Hidroksida (NaOH) pada Gambar 2.6 dengan Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) pada Gambar 2.7 yang digunakan untuk mengaktifkan reaksi kimia antara material aluminosilikat (seperti *fly ash* atau *slag*) dengan alkali. Reaksi kimia membentuk *matriks* padat pada beton geopolimer.



Gambar 2. 6 Natrium Hidroksida (NaOH)



Gambar 2. 7 Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) adalah aktivator yang umum digunakan untuk mereaksikan unsur Al dan Si di *fly ash*, yang dapat menghasilkan ikatan polimer kuat dan yang mempercepat proses polimerisasi adalah Sodium Silikat atau biasa disebut *Water Glass* (Hardijito, 2005).

### 2.1.3. Beton Berserat

Beton berserat adalah beton yang ditambahkan dengan bahan serat dengan tujuan meningkatkan daya tahan dan kekuatan beton terhadap retak. Serat yang sering digunakan untuk beton berserat antara lain serat nilon, serat baja, serat polipropilena, serat karbon, dan lain sebagainya (Y. Hadi, 2017).

Pada beton berserat, serat yang ditambahkan akan membentuk matriks yang tersebar secara merata pada beton dan bekerja sama dengan beton untuk menahan gaya tarik dan menambah kekuatan struktur beton. Selain itu, serat juga berfungsi untuk mencegah retak yang terjadi pada permukaan beton dan memperpanjang masa pakai beton.

Dalam penggunaan serat pada beton, jumlah dan jenis serat yang digunakan akan mempengaruhi sifat mekanik dan karakteristik beton berserat yang dihasilkan (Nuraini, 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan desain campuran beton yang tepat agar dapat menghasilkan beton berserat dengan karakteristik yang diinginkan.

(Briggs, 1974) meneliti penggunaan serat dengan rasio aspek ( $l/d$ ) di bawah 100 masih memungkinkan pencampuran yang mudah dalam beton serat. Upaya untuk meningkatkan kekuatan ikatan serat dengan menggunakan bentuk serat yang berbeda, seperti spiral atau berlekuk, untuk meningkatkan kekuatan ikatan serat. Penambahan serat ke campuran beton dapat menyebabkan masalah dengan dispersi serat dan kecukupan serat.

Pada penelitian terdahulu, pengaruh dengan penambahan serat fiber terhadap kekuatan tekan dan kekuatan lentur beton. Pada penelitian ini melibatkan tiga jenis penggunaan serat fiber yaitu serat bambu, serat baja, dan serat ijuk sebagai kelompok kontrol. Penelitian ini berlangsung selama dua tahun, dengan penekanan pada kekuatan tekan beton pada tahun pertama dan kekuatan lentur beton pada tahun kedua. Hasil penelitian ini menunjukkan penambahan pada serat fiber mampu meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan lentur beton, dengan serat baja menunjukkan kinerja terbaik dibandingkan dengan serat ijuk dan serat bambu (Al Huseiny, 2020).

#### **2.1.3.1. Serat Baja**

Serat baja merupakan bahan tambahan yang ditambahkan ke dalam beton untuk memperkuat dan meningkatkan kekuatannya. Serat baja dapat berasal dari bahan alami maupun buatan, dan dapat digunakan sebagai alternatif atau penambahan dari bahan-bahan lain seperti besi cor dan besi tulangan.

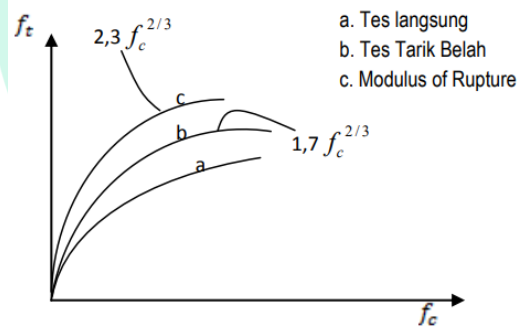
Berdasarkan literatur, penambahan serat baja pada beton dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur beton, serta memperbaiki kestabilan dan daya tahan terhadap crack dan retak. Penelitian juga menunjukkan bahwa serat baja dapat memperkuat beton dan memperpanjang usia pakainya (Durmuş, 2011). Penambahan serat baja juga dapat memperbaiki sifat elastisitas dan ductilitas beton, membuatnya lebih resisten terhadap deformasi dan meningkatkan kemampuannya untuk menyerap energi selama gempa (Zhou, 2012).

Konsentrasi serat baja yang optimal dalam beton dapat berbeda tergantung pada jenis serat, ukuran partikel, dan kondisi lingkungan (Al-Jabri, 2018). Secara umum, penambahan serat baja sebanyak 0,5% hingga 2% dari berat beton dapat memberikan peningkatan yang signifikan terhadap sifat mekanik beton (Zhou, 2012).

#### 2.1.4. Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik adalah metode pengujian untuk menentukan kekuatan suatu bahan dengan menarik bahan tersebut sampai terjadi kerusakan atau kegagalan. Kuat tarik adalah besar gaya maksimal yang dapat diterima suatu bahan sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan (ASTM, 2018)

Pengujian kuat tarik sangat penting untuk menentukan kualitas suatu bahan, termasuk beton, dan memastikan bahwa bahan tersebut memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Pengujian kuat tarik juga membantu dalam memprediksi kemampuan suatu bahan untuk menahan beban dan melindungi terhadap kerusakan pada saat digunakan (Kang, 2009). Pengujian pada kuat tarik beton biasanya dilakukan dengan menarik contoh beton menggunakan mesin uji tarik atau tesometer. Contoh beton harus memenuhi persyaratan tertentu, seperti ukuran dan jenis, untuk memastikan hasil pengujian yang akurat.

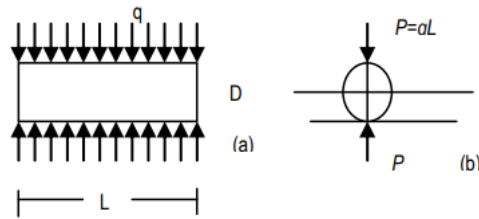


Gambar 2. 8 Hubungan Antara Kuat Tarik dengan Kuat Tekan

Kuat tarik belah adalah suatu ukuran kekuatan yang menunjukkan daya tahan suatu bahan terhadap pemutusan akibat beban yang diterapkan pada suatu titik di dalam bahan. Kuat tarik belah pada beton dapat digunakan sebagai indikator kekuatan dan kualitas beton. Kuat tarik belah dapat diukur dengan menggunakan mesin uji tarik belah.

(SNI 03-2491-2002, 2002) menyatakan kuat tarik belah beton dapat diukur dengan menggunakan uji tarik belah berdasarkan metode statis atau dinamis. Dalam uji tarik belah statis, beban diterapkan pada beton secara perlahan sampai tercapai titik putus. Dalam uji tarik belah dinamis, beban diterapkan pada beton secara tiba-tiba dan frekuensi dari beban dapat diatur untuk memperoleh informasi mengenai respon dinamik dari beton terhadap beban.





Gambar 2. 9 Kondisi Pembebanan Kuat Tarik Belah

Persamaan 2.1 merupakan perhitungan yang digunakan pada kuat tarik belah (SNI 03-2491-2002, 2002).

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$f_t$  = Kuat Tarik Belah (Mpa)

$P$  = Beban pada waktu belah (N)

$L$  = Panjang benda uji (mm)

$D$  = Diameter benda uji (mm)

### 2.1.5. Berat Jenis

Berat jenis adalah ukuran kepadatan suatu material dibandingkan dengan kepadatan air (van Breugel, 2007). Berat jenis dihitung dengan membagi massa material dengan volumenya. Berat jenis beton penting karena mempengaruhi kekuatan, daya tahan, dan kerja beton (Neville, 2010). Berat jenis beton dipengaruhi beberapa faktor, yaitu jenis agregat yang digunakan, Rasio air semen, mixture yang digunakan, metode perawatan beton. Berat jenis beton mempengaruhi sifat-sifat berikut ini (McGeary, 2012).

1. Kekuatan beton, dengan berat jenis lebih tinggi biasanya lebih kuat daripada beton dengan berat jenis lebih rendah. Hal ini karena beton dengan berat jenis lebih tinggi memiliki lebih banyak pasta semen, yang merupakan agen pengikat yang mengikat partikel agregat bersama-sama.
2. Daya tahan, beton dengan berat jenis lebih tinggi biasanya lebih tahan lama daripada beton dengan berat jenis lebih rendah. Hal ini karena beton dengan berat jenis lebih tinggi memiliki porositas yang lebih rendah, yang berarti lebih tahan terhadap kerusakan akibat air.
3. Kemudahan kerja, Beton dengan berat jenis lebih tinggi biasanya lebih sulit dikerjakan daripada beton dengan berat jenis lebih rendah. Hal ini karena beton

dengan berat jenis lebih tinggi lebih kaku, sehingga lebih sulit untuk ditempatkan dan diratakan.

Pada persamaan 2.2 adalah rumus untuk menghitung berat jenis beton.

$$\text{Berat Jenis Beton} = \frac{M}{V} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

Berat jenis beton ( $\text{kg/m}^3$ )

$M$  = Berat Beton (kg)

$V$  = Volume Beton ( $\text{m}^3$ )

Rumus tersebut memperhitungkan massa beton yang diukur dan volume beton yang dihasilkan. Dengan menggunakan rumus ini, dapat diperoleh nilai berat jenis beton yang merepresentasikan tingkat kepadatan dan kompaknya beton.

## 2.2 Perancangan Campuran

*Mix design* atau perencanaan campuran beton adalah proses menentukan proporsi bahan-bahan beton seperti semen, agregat, air, dan aditif lainnya untuk mencapai sifat-sifat mekanik dan fungsional yang diinginkan dari beton yang akan digunakan pada pengecoran. Tujuan dari perencanaan campuran beton adalah untuk menghasilkan beton dengan sifat fisik, kimia, dan mekanik yang diinginkan, serta dapat memenuhi persyaratan spesifikasi proyek.

Proses perencanaan campuran beton melibatkan beberapa faktor, seperti karakteristik bahan baku, properti beton yang diinginkan, dan persyaratan spesifikasi proyek. Perencanaan campuran beton harus mempertimbangkan komponen ini agar beton yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan proyek dan memastikan kinerja beton yang baik selama umur betonnya.

SNI 7656-2012 menyatakan “Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa”, data bahan campuran beton untuk kolom bangunan dapat diketahui dengan mengikuti langkah-langkah perancangan campuran yang dijelaskan dalam standar tersebut.

### 2.2.1. Pemilihan Slump

Tabel 2. 1 Nilai slump yang dianjurkan untuk berbagai pekerjaan konstruksi

Tipe Konstruksi	Slump	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber : SNI 7656:2012

Berdasarkan tabel diatas, beton yang akan dibuat pada pengujian ini adalah beton untuk pembuatan konstruksi kolom bangunan, sehingga nilai slump pada beton yang akan kami buat berada diantara 25-50 mm.

### 2.2.2. Pemilihan Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum

Pemilihan ukuran agregat menggunakan metode analisis saringan.

### 2.2.3. Perkiraan Air Pencampur dan Kandungan Udara

Beton yang kita buat adalah beton tanpa penambahan udara, karena strukturnya tidak terkena beban berat. Jumlah air pencampur untuk beton tanpa penambahan udara ditentukan oleh nilai.

Tabel 2. 2 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara untuk Berbagai Slump dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah

**Air ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah**

Slump (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150mm
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	190	160	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

### 2.2.4. Pemilihan Rasio Air-Semen atau Rasio Air-Bahan Bersifat Semen

Tabel 2.3 Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air-bahan bersifat semen  $\{w/(c+p)\}$  dan kekuatan beton

Kekuatan Beton Umur 28 Hari (Mpa)	Rasio Air-Semen (Berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,6
15	0,79	0,7

Sumber : SNI 7656:2012

Rasio air semen berfungsi untuk menentukan jenis beton dan kuat beton. Untuk pengujian ini menggunakan kekuatan beton 35 MPa yang berarti rasio air semen kita adalah 0,47.

### 2.2.5. Perhitungan Kadar Semen

Jumlah semen per satuan volume beton diperoleh dengan menentukan contoh pada langkah 3 dan 4 di atas. Kebutuhan semen sama dengan perkiraan kadar air campuran (Langkah 3) dibagi dengan rasio air terhadap semen (Langkah 4).

### 2.2.6. Perkiraan Persentase Agregat Kasar

Tahapan selanjutnya adalah mencari kadar agregat kasar yang ditentukan dengan melihat ukuran agregat dan modulus kehalusan agregat halus (FM). Kadar agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Ukuran Nominal Agregat Maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,6
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72

Ukuran Nominal Agregat Maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,4	2,6	2,8	3
75	0,82	0,8	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber : SNI 7656:2012

### 2.2.7. Perkiraan Kadar Agregat

Setelah mengetahui jumlah air, semen dan agregat kasar, bahan lain yang digunakan untuk membuat 1 m<sup>3</sup> beton adalah agregat halus dan udara yang terperangkap. Jumlah agregat halus dapat ditentukan dengan berat mutlak atau volume sebagai berikut.

Tabel 2. 5 Tabel Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m <sup>3</sup>	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber : SNI 7656:2012

Dari Tabel 2.5, massa beton 1 m<sup>3</sup> tanpa penambahan udara ditentukan oleh ukuran agregat maksimum. Setelah berat awal beton diketahui, permintaan agregat dapat dihitung dengan menggunakan selisih antara berat beton dan jumlah total semen dan kadar air dengan mengurangi perkiraan awal berat beton dari kadar air dan semen. . Gunakan persentase dari langkah 6 untuk komposisi agregat kasar.

### 2.2.8. Perkiraan Material Percetakan Dalam 1 Cetakan Uji

Untuk menghitung kebutuhan percetakan dilakukan dengan cara mengalikan semua kebutuhan dengan volume cetakan. Kebutuhan ini diketahui dalam  $1\text{m}^3$  dan cetakan saya adalah  $0,00157\text{ m}^3$ .

