

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Beton

Menurut SNI 03-2874-2002, beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan SNI 2847-2019.

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air. Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Simanullang, 2022).

Menurut Tjokrodimuljo (2007), beton memiliki beberapa kelebihan antara berikut:

1. Harga yang *relative* lebih murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya mudah didapatkan.
2. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi sehingga dapat menjadi satu kesatuan yang mempunyai kuat tarik tinggi sehingga dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tarik dan tahan tekan.
3. Pengerjaan atau *Workability* mudah karena beton mudah untuk dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan.

Dari beberapa kelebihan beton diatas, tentunya beton juga memiliki beberapa kekurangan, menurut Tjokrodimuljo (2007) kekurangan pada beton adalah sebagai berikut ini:

1. Bahan dasar penyusun beton agregat halus maupun agregat kasar bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara perencanaan dan pembuatannya bermacam-macam.
2. Beton mempunyai beberapa kelas kekuatannya sehingga harus direncanakan sesuai dengan bangunan yang akan dibuat, sehingga cara perencanaan dan cara pelaksanaan bermacam-macam pula.

3. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga getas atau rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu perlu diberikan cara-cara untuk mengatasinya, misalnya dengan memberikan baja tulangan, serat baja, dan sebagainya agar memiliki kuat tarik yang tinggi.

2.2 Bahan Penyusun Beton

Mutu beton sangat ditentukan oleh kualitas material penyusunnya, penggunaan bahan tambahan, metode pencampuran, serta peralatan yang digunakan dalam proses pembuatannya. Secara umum, beton tersusun atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, serta dapat dilengkapi dengan bahan tambahan tertentu seperti *additive* atau *admixture*, yang berfungsi mempercepat proses pengikatan campuran beton. Setiap komponen tersebut memiliki peran masing-masing dalam memengaruhi karakteristik dan kekuatan akhir beton yang dihasilkan, dengan penjelasan sebagai berikut:

2.2.1 Semen (*Portlan Cement*)

Semen berfungsi untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu masa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butiran agregat (Riwayati & Habibi, 2021), Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan dasar pembentuk semen Portland. Komponen penting penyusun semen portland ialah silica (SiO_2), limestone (CaO), alumunia (Al_2O_3), Magnesium (MgO), sulfur (SO_3), soda (K_2O).

Berdasarkan tipenya semen Portland dibagi menjadi lima, yaitu:

1. Tipe I

Semen Portland standar digunakan untuk semua bangunan beton yang tidak mengalami perubahan cuaca yang dahsyat atau di bangun dalam lingkungan kohesif.

2. Tipe II

Semen tipe ini digunakan untuk bangunan yang menggunakan pembebanan secara masal, seperti dam, panas hidrasi tertahan dalam bangunan dalam jangka waktu lama.

3. Tipe III

Semen tipe ini adalah jenis semen yang cepat mengeras, cocok untuk pengecoran beton pada suhu rendah. Kekuatan tekan tiga hari semen tipe ini sama dengan kekuatan tekan semen tipe I pada umur tujuh hari, semen tipe III ini disebut juga dengan “semen dengan kekuatan awal tinggi”.

4. Tipe IV

Semen tipe ini menimbulkan hidrasi rendah dengan persentase maksimum sebesar 35%. Tipe ini tidak lagi di produksi dalam jumlah besar seperti pada waktu pembuatan *Hoover Dam*, akan tetapi telah diganti dengan tipe II yang disebut “*Modified Portland Cement*”.

5. Tipe V

Pada semen tipe ini tahan terhadap serangan sulfat serta mengeluarkan panas. Biasanya digunakan untuk pekerjaan – pekerjaan besar dan masif umpamanya untuk pekerjaan bendung, pondasi berukuran besar, atau pekerjaan besar lainnya.

2.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang apabila dicampurkan dengan semen Portland dan air akan menghasilkan beton. Agregat dalam campuran beton menempati volume yang terbesar, kurang lebih $\frac{3}{4}$ bagian volume beton tersebut. Oleh karena itu maka mutu dari agregat tadi penting untuk diketahui. Fungsi agregat dalam desain campuran beton biasanya dipandang sebagai bahan pengisi, sebagai bahan untuk mempermurah harga beton dan besar pemakaiannya antara 60% - 80% dari volume beton (Saputri et al., 2023). Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi “alami” batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar $\leq 5,0$ mm. Distribusi butiran agregat halus (pasir) dapat dibagi menjadi empat jenis menurut gradasinya, seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan	Persentase Kumulatif Lolos Saringan			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
	Pasir Kasar	Pasir Agak Kasar	Pasir Halus	Pasir Sangat Halus
1.5" = 38 mm				
3/4" = 19 mm				
3/8" = 9.6 mm	100	100	100	100
No.4 = 4.8 mm	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
No.8 = 2.4 mm	60 – 95	75 - 100	85 - 100	95 – 100
No.16 =1.2 mm	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 - 100
No.30 = 0.6 mm	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
No.50 = 0.3 mm	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 - 50
No.100 = 0.15 mm	0 – 15	0 - 10	0 – 10	0 – 15
No.200 = 0.074 mm				

Sumber: SNI-2834-2000 (2000 : 12)

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi “alami” dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Adapun pengecekan untuk batas-batas butiran ukuran maksimum dari agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan	Persentase Lolos Saringan		
	Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
1.5" = 38 mm		100	95 – 100
3/4" = 19 mm	100	95 – 100	35 – 70
3/8" = 9.6 mm	50 – 85	30 – 60	10 – 40
No.4 = 4.8 mm	0 – 10	0 – 10	0 – 5

Sumber: SNI-2834-2000 (2000 : 12)

2.2.3 Air

Air adalah bahan dasar pembuatan beton. Fungsi air dalam pembuatan beton untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara agregat kasar dan halus. Untuk membuat semen bereaksi hanya dibutuhkan air sekitar 25% 30%

dari berat semen tersebut (Candra et al., 2019). Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata.

Pemakaian air untuk beton tersebut sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut (Witjaksana, 2016):

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur dan benda melayang lainnya yang lebih dari 2 gram per liter.
3. Tidak mengandung garam atau asam yang dapat merusak beton, zat organik dan sebagainya lebih dari 15 gram per liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 1 gram per liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO_3) lebih dari 1 gram per liter.

2.2.4 Bahan Tambah

Menurut (Setiyadi & Abdusalam, 2019), bahan tambahan (*admixture*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan kedalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh Standar Nasional Indonesia. Untuk bahan tambahan yang merupakan bahan tambah kimia harus memenuhi syarat yang diberikan dalam ASTM C494, “*Standard Specification for Chemical Admixture Concrete*”. Bahan tambah (*admixture*) terbagi menjadi dua bagian yaitu dapat dilihat sebagai berikut:

1. Bahan Tambah Kimia (*chemical admixtures*)

Bahan tambah kimia adalah zat yang ditambahkan ke dalam campuran beton dalam jumlah relatif kecil, dengan tujuan untuk mengubah atau meningkatkan sifat-sifat beton segar maupun beton yang telah mengeras. Penambahan bahan kimia ini dilakukan bersamaan dengan pencampuran bahan utama beton, yaitu semen, air, dan agregat. Penggunaan bahan tambah kimia sangat penting dalam teknologi beton modern, karena dapat memberikan berbagai manfaat, seperti meningkatkan kelecakan, mempercepat atau memperlambat waktu ikat, serta meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton. Menurut ASTM C494, bahan tambah kimia

diklasifikasikan ke dalam beberapa tipe berdasarkan fungsi utamanya, yaitu sebagai berikut:

a. Tipe A: *Water Reducing Admixture* (Pengurang Air)

Bahan tambah tipe A digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam campuran beton tanpa mengubah kelecakan (*workability*) beton. Dengan berkurangnya kadar air, rasio air terhadap semen menjadi lebih rendah, sehingga kekuatan tekan beton dapat meningkat.

b. Tipe B: *Retarding Admixture* (Memperlambat Pengikatan)

Retarding admixture digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan awal beton. Bahan ini bermanfaat dalam kondisi pengecoran di cuaca panas atau pada pengecoran dalam skala besar, di mana waktu kerja beton perlu diperpanjang.

c. Tipe C: *Accelerating Admixture* (Mempercepat Pengikatan)

Accelerator adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat waktu pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini umumnya digunakan dalam pekerjaan beton pada suhu rendah atau ketika dibutuhkan percepatan waktu pelepasan bekisting.

d. Tipe D: *Water Reducing and Retarding Admixture* (Pengurang Air dan Retarder)

Bahan tambah tipe D merupakan kombinasi dari water reducer dan retarder. Selain mengurangi kadar air dalam campuran, bahan ini juga memperlambat waktu ikat beton.

e. Tipe E: *Water Reducing and Accelerating Admixture* (Pengurang Air dan Akselerator)

Tipe E adalah bahan tambah yang memiliki dua fungsi utama, yaitu mengurangi kebutuhan air dan mempercepat waktu pengikatan.

f. Tipe F: *High Range Water Reducing Admixture (Superplasticizer)*

Superplasticizer adalah bahan tambah dengan kemampuan tinggi dalam mengurangi kadar air (lebih dari 12%) tanpa mengurangi *workability* beton.

g. Tipe G: *High Range Water Reducing and Retarding Admixture* (Superplasticizer dan Retarder)

Bahan tambah tipe G merupakan kombinasi dari *superplasticizer* dan retarder.

h. Tipe S: *Specific Performance Admixture* (Bahan Tambah Khusus)

Tipe S mencakup bahan tambah dengan fungsi atau kinerja khusus yang tidak termasuk dalam tipe A hingga G.

2. Bahan Tambah Mineral (*Mineral Admixtures / Pozzolan Materials*)

Bahan tambah mineral adalah material berbentuk bubuk halus yang ditambahkan ke dalam campuran beton untuk menggantikan sebagian semen Portland atau untuk meningkatkan sifat beton, baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras. Sebagian besar bahan tambah mineral memiliki sifat pozzolanik, yaitu kemampuan untuk bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan dari hidrasi semen, membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan durabilitas beton.

Penggunaan bahan tambah mineral dalam beton tidak hanya membantu dalam meningkatkan performa mekanik dan ketahanan beton terhadap lingkungan agresif, tetapi juga mendukung aspek keberlanjutan (*sustainability*) dalam industri konstruksi melalui pengurangan konsumsi semen Portland.

Adapun jenis-jenis bahan tambah mineral yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

a. *Fly ash* (Abu Terbang)

Fly ash merupakan bahan tambah mineral yang berasal dari hasil samping pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). *Fly ash* yang disebut juga sebagai abu terbang, adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada *furnace* (tungku pembakaran) pada PLTU yang berbentuk partikel halus dan bersifat pozzolan, karena bahan penyusun utamanya adalah silikon dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), Ferrum oksida (Fe_2O_3) dan kalsium (Ca). Oksida-oksida tersebut dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen ketika bereaksi dengan air (Oktaviana et al., 2021). Kandungan kecil senyawa lain yang terdapat dalam *fly ash* adalah magnesium (Mg), sulfur (S), sodium (Na), potassium (P), dan karbon (C).

Fly ash umumnya terdiri dari partikel solid yang berbentuk bulat, dan sebagian adalah partikel bulat berongga serta partikel bulat yang berisi partikel-partikel bulat lain yang lebih kecil. Ukuran partikel *fly ash* bervariasi mulai yang lebih kecil dari 1 μm (micrometer) sampai yang lebih besar dari 100 μm (beberapa literatur menyebutkan ukuran 0,5 μm - 300 μm), dengan sebagian besar partikel berukuran kurang dari 20 μm . Umumnya hanya sekitar 10% sampai 30% ukuran partikel *fly ash* lebih besar dari 50 μm .

Penggunaan *fly ash* dalam beton dapat meningkatkan kelecakan, mengurangi panas hidrasi, dan memperbaiki ketahanan beton terhadap serangan sulfat serta permeabilitas. Selain itu, *fly ash* juga berperan dalam meningkatkan kekuatan jangka panjang beton melalui reaksi pozzolanik yang berlangsung secara bertahap.

Dalam standar ASTM C618, *fly ash* diklasifikasikan menjadi tiga tipe, yaitu Tipe N (Natural Pozzolan), Tipe F, dan Tipe C.

a) *Fly ash* tipe N (Natural pozzolan)

Fly ash tipe N merupakan jenis bahan tambah mineral yang termasuk dalam kelompok pozzolan alami. Bahan ini berasal dari sumber geologi dan bukan merupakan hasil samping dari proses industri, seperti pembakaran batu bara. Pozzolan alami dapat berupa tanah diatom, abu vulkanik, trass, *opaline chert*, atau material lain yang mengandung silika dan alumina dalam jumlah tinggi. Sebelum digunakan dalam campuran beton, material ini umumnya mengalami proses kalsinasi, yaitu pemanasan pada suhu tertentu untuk meningkatkan aktivitas pozzolaniknya.

b) *Fly ash* tipe F

Fly ash tipe F merupakan jenis bahan tambah mineral yang berasal dari hasil samping pembakaran batu bara bituminous atau antrasit pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Berdasarkan standar ASTM C618, *fly ash* tipe F mengandung silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3) dalam jumlah total minimal 70%, dan memiliki kandungan kalsium (CaO) yang rendah. Penggunaan *fly ash* tipe F dalam campuran beton dapat meningkatkan kekuatan jangka panjang, mengurangi panas

hidrasi, serta memperbaiki ketahanan beton terhadap lingkungan agresif seperti serangan sulfat dan reaksi alkali-agregat.

c) *Fly ash* tipe C

Fly ash tipe C merupakan jenis bahan tambah mineral yang dihasilkan dari pembakaran batu bara sub-bituminous atau lignit, yang umumnya digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Berbeda dengan *fly ash* tipe F, *fly ash* tipe C memiliki kandungan kalsium oksida (CaO) yang relatif tinggi, biasanya lebih dari 10%, dan kandungan gabungan silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃) minimal 50% sesuai standar ASTM C618.

b. *Silica Fume*

Silica fume adalah hasil samping dari proses industri silikon dan ferrosilikon, yang berbentuk serbuk sangat halus dengan diameter partikel sekitar 100 kali lebih kecil dari semen Portland. Karena ukuran partikelnya yang sangat halus dan kandungan silika yang tinggi, *silica fume* memiliki reaktivitas pozzolanik yang sangat tinggi. Penambahan *silica fume* ke dalam beton dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan, menurunkan permeabilitas, serta meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi ion klorida yang berpotensi menyebabkan korosi pada tulangan.

c. *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS)

GGBFS merupakan bahan tambah mineral yang diperoleh dari pendinginan cepat hasil samping proses produksi baja (slag) dalam tanur tinggi, kemudian digiling menjadi bubuk halus. GGBFS memiliki sifat hidraulik laten, artinya dapat bereaksi secara kimiawi dengan air dalam keberadaan aktivator seperti kalsium hidroksida dari semen Portland. Penggunaan GGBFS dalam beton dapat menurunkan panas hidrasi, meningkatkan kekuatan akhir, dan memberikan ketahanan lebih baik terhadap lingkungan agresif, seperti air laut atau tanah yang mengandung sulfat.

d. Metakaolin

Metakaolin diperoleh melalui proses kalsinasi kaolin, yaitu sejenis tanah liat yang kaya akan mineral kaolinit, pada suhu sekitar 650–800°C. Metakaolin memiliki aktivitas pozzolanik yang tinggi dan dapat

meningkatkan kekuatan mekanik serta ketahanan beton terhadap reaksi alkali-agregat (AAR) dan serangan kimia. Selain itu, metakaolin juga berfungsi dalam memperbaiki mikrostruktur beton, mengurangi porositas, dan meningkatkan kerapatan pasta semen.

e. Pecahan keramik

Keramik adalah suatu unsur bangunan yang dipergunakan untuk melapisi lantai atau dinding yang biasanya berbentuk plat persegi dan tipis yang dibuat dari tanah liat dan bahan mentah keramik lainnya, dengan cara dibakar sampai suhu tertentu, sehingga mempunyai sifat-sifat fisik khusus. Bahan keramik selain dipergunakan untuk ubin, digunakan juga dalam pembangunan sebagai perlengkapan sanitair (wastafel, kloset, dan sebagainya) dan pada rumah tangga (Suria et al., 2017).

Limbah keramik memiliki karakteristik fisik yang keras, tajam, dan bersudut, menyerupai agregat alami. Dalam tinjauan kimia, limbah keramik umumnya mengandung oksida logam seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan kalsium oksida (CaO), yang merupakan unsur-unsur penting dalam reaksi hidrasi semen dan pembentukan produk ikatan dalam beton. Komposisi kimia limbah keramik mendukung penggunaannya sebagai agregat karena bersifat stabil dan tidak bereaksi secara negatif terhadap unsur-unsur dalam semen.

Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan tambah yang bersifat mineral, yaitu dengan menggunakan bahan tambah jenis *fly ash* (abu terbang) sebagai pengganti sebagian penggunaan semen dan limbah keramik sebagai pengganti sebagian penggunaan agregat kasar.

2.3 Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan karakteristik pada agregat dilakukan untuk mengetahui komposisi bahan penyusun beton rencana. Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan untuk mengetahui apakah agregat yang akan digunakan pada campuran beton layak digunakan atau tidak.

2.3.1 Pengujian Berat Volume

Pengujian berat volume agregat adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan berat material kering per satuan volume agregat, baik agregat halus (pasir) maupun agregat kasar (kerikil). Pengujian ini penting untuk menentukan

proporsi yang tepat dalam campuran beton dan memastikan kualitas beton yang dihasilkan. Berdasarkan SNI 03-4804-1998, nilai berat volume adalah 1,40 kg/ltr - 1,90 kg/ltr. Berat volume agregat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Berat Volume Agregat} = \frac{W}{V} \text{ (gr/m}^3\text{)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

W = Berat benda uji (gr)

V = Volume mould (m³)

2.3.2 Analisa Saringan Agregat

Analisis saringan agregat merupakan metode pengujian yang bertujuan untuk mengetahui persentase berat butiran agregat yang tertahan atau lolos pada satu set saringan dengan ukuran tertentu. Data yang diperoleh dari hasil pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir (gradasi) agregat, yang memiliki peranan penting dalam perencanaan serta pengendalian mutu beton. Oleh karena itu, analisis saringan digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus maupun agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran beton.

2.3.3 Pengujian Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur dalam agregat halus. Berdasarkan pada SNI 03-4142-1996, standar kandungan lumpur yang diperbolehkan adalah kurang dari 5%. Kandungan lumpur yang berlebihan dapat menimbulkan retak dan penyusutan, akibat sifat mengembang dan menyusut yang dimiliki lumpur. Persentase kadar lumpur dalam agregat halus dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar Lumpur Agregat Halus} = \frac{v_2}{v_1+v_2} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

V₁ = Tinggi lumpur (mm)

V₂ = Tinggi pasir (mm)

2.3.4 Pengujian Kadar Zat Organik

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat kandungan zat organik dalam agregat halus yang digunakan. Menurut SNI 03-2816-1992 standar kandungan zat organik pada agregat halus adalah nomor 3 pada *organic plat*.

Kandungan zat organik yang tinggi pada agregat halus yang digunakan dapat menyebabkan tidak sempurnanya proses hidrasi pada beton (Mulyono, 2003).

2.3.5 Pengujian Kadar Air

Kadar air agregat merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat halus dalam kondisi kering. Nilai kadar air ini berfungsi sebagai dasar untuk melakukan koreksi terhadap takaran air dalam campuran beton, agar disesuaikan dengan kondisi agregat di lapangan. Menurut SNI 03-1971-1990, kadar air agregat adalah 3%-5%. Kadar air agregat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

W_1 = Berat awal sampel (gr)

W_2 = Berat sampel kering (gr)

2.3.6 Analisa *Specific Gravity* dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan *Bulk* dan *Apparent Specific Gravity* dan penyerapan agregat kasar menurut SNI 03-1969-2008. Nilai ini diperlukan sebagai acuan untuk menentukan komposisi volume agregat yang akan digunakan dalam adukan beton. Analisa *Specific Gravity* dan penyerapan agregat kasar dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{C}{C-B} \quad (2.4)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity kondisi kering} = \frac{C}{(A-B)} \quad (2.5)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity kondisi SSD} = \frac{A}{(A-B)} \quad (2.6)$$

$$\text{Persentase (\%)} \text{ penyerapan} = \left[\frac{A-C}{C} \right] \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan:

A = Berat sampel kondisi SSD (gr)

B = Berat sampel kondisi jenuh (gr)

C = Berat sampel kondisi kering (gr)

2.3.7 Analisa *Specific Gravity* dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan *Bulk* dan *Apparent Specific Gravity* dan penyerapan agregat kasar menurut SNI 03-1970-2008. Nilai ini diperlukan sebagai acuan untuk menentukan komposisi volume agregat yang akan digunakan dalam adukan beton. Analisa *Specific Gravity* dan penyerapan agregat halus dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{E}{(E+D-C)} \quad (2.8)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity kondisi kering} = \frac{E}{(B+D-C)} \quad (2.9)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity kondisi SSD} = \frac{B}{(B+D-C)} \quad (2.10)$$

$$\text{Persentase (\%) penyerapan} = \left[\frac{B-E}{E} \right] \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

A = Berat piknometer (gr)

B = Berat sampel kondisi SSD (gr)

C = Berat piknometer + sampel + air (gr)

D = Berat piknometer + air (gr)

E = Berat contoh kering (gr)

2.3.8 Pemeriksaan Keausan Agregat

Pemeriksaan keausan agregat bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Keausan adalah perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan #12 terhadap berat semula yang dinyatakan dalam persen. Berdasarkan SNI 03-2417-1991 keausan agregat kasar kurang dan sama dengan 40 %, dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji semula (gr)

B = Berat benda uji tertahan saringan #12 (gr)

2.4 Perencanaan Campuran Beton

Perancangan campuran beton bertujuan untuk menentukan proporsi material penyusun beton seperti semen, agregat halus, agregat kasar, dan air secara tepat agar memenuhi kriteria teknis seperti kekuatan tekan, keawetan, dan kemudahan pengerjaan (*workability*). Proses ini juga mempertimbangkan efisiensi penggunaan material untuk mencapai campuran yang ekonomis. Meskipun bahan-bahan yang digunakan berkualitas baik, tanpa perencanaan proporsi yang sesuai, mutu beton yang dihasilkan tidak dapat dijamin optimal.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk perencanaan campuran beton adalah metode DOE (*Department Of Environment*), metode ini dikenal di Indonesia sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam Standar SNI 03-2834-2000, "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal".

2.5 *Slump Test*

Pengujian *Slump* bertujuan untuk memperoleh tingkat kemudahan pengecoran beton (*workability*) yang ditunjukkan oleh nilai tertentu (Triyono et al., 2025). *Slump test* adalah salah satu cara untuk mengukur kecairan atau kepadatan dalam adukan beton, salah satu parameter yang memengaruhi nilai *Slump* adalah faktor air-semen. Semakin tinggi rasio air terhadap semen, maka nilai *Slump* cenderung meningkat karena campuran menjadi lebih encer. Sebaliknya, rasio air-semen yang rendah menunjukkan penggunaan semen yang lebih dominan, sehingga menghasilkan nilai *Slump* yang lebih rendah. Nilai *Slump* yang tinggi umumnya mempermudah pelaksanaan pengecoran di lapangan.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan kerucut abrams, pelaksanaan pengujian dilakukan dengan cara kerucut abrams diletakkan diatas talam baja yang rata dan tidak menyerap air. Adukan beton dituang dalam 3 (tiga) tahap, dengan volume berturut-turut 1/3, 2/3 dan hingga penuh. Tiap lapisan ditumbuk dengan menggunakan batang baja diameter 16 mm dengan panjang 600 mm sebanyak 25 kali, penusukan dilakukan secara merata keseluruhan bidang dan dijaga agar tidak mengenai lapisan bawahnya. Kemudian kerucut abrams diangkat tegak lurus keatas, maka lapisan beton akan turun dari posisi semula, penurunan ini diukur dengan cara meletakkan kerucut abrams disampingnya, kemudian diukur selisih

beda tingginya penurunan dari posisi semula ini disebut dengan *Slump* (ASTM C-143).

Dalam hal ini, Peraturan Beton Indonesia (PBI) telah menetapkan berbagai rentang nilai *Slump* yang disesuaikan dengan jenis pekerjaan beton yang berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Penempatan Nilai *Slump*

Pemakaian Beton	<i>Slump</i>	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang koisin, struktur dibawah tanah	9,0	2,5
Pelat balok, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,7	2,5

Sumber: PBI-1971 (1971 : 38)

2.6 Faktor Air Semen

Menurut ACI (*American Concrete Institute*) faktor air semen (FAS) atau *water cement ratio* adalah perbandingan berat air terhadap berat semen dalam campuran beton. Semakin tinggi nilai faktor air semen, semakin rendah mutu beton yang dihasilkan. Tetapi, nilai faktor air semen semakin rendah tidak berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi, nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjannya (Nababan, 2018). Adapun nilai faktor air semen menurut ACI (*American Concrete Institute*) dapat dilihat seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Nilai Faktor Air Semen Menurut ACI

Kuat Tekan Beton Umur 28 hari (Mpa)	<i>Water Cement Ratio</i>	
	Beton Tanpa Kandungan Udara (<i>Non Air-Entrained</i>)	Beton Dengan Kandungan Udara (<i>Air-Entrained</i>)
40	0,42	-
35	0,47	0,39

Tabel 2.4 Nilai Faktor Air Semen Menurut ACI (Lanjutan)

30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber: ACI Tabel A1.5.3.4(a) Relationship between water cement (SI)

2.7 Perawatan Beton

Perawatan beton merupakan tahap penting yang dilakukan setelah proses pengecoran, dengan tujuan untuk memastikan kelangsungan reaksi hidrasi semen agar tidak terganggu. Proses ini bertujuan untuk menjaga kelembapan permukaan beton, sehingga air yang terkandung di dalam beton segar tidak mengalami penguapan yang berlebihan. Apabila tidak dilakukan perawatan beton maka akan menyebabkan retak-retak pada permukaan, selain itu juga dapat menurunkan kekuatan dari beton itu sendiri.

2.8 Kekuatan Tekan Beton

Kuat tekan pada beton didapat melalui pengujian kuat tekan dengan memakai alat uji tekan (*compressive strength machine*). Pemberian beban tekan dilakukan secara bertahap dengan kecepatan beban tertentu atas uji beton. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus berikut:

1. Kekuatan Tekan Beton ($f'c$)

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan benda uji

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

2. Kuat Tekan Rata-rata Benda Uji ($f'cr$)

Kuat tekan rata-rata benda uji adalah kuat tekan beton yang dicapai dari beberapa sampel benda uji dibagi dengan jumlah benda uji, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f'cr = \frac{\sum f'c}{n} \quad (2.14)$$

Keterangan:

$f'cr$ = Kuat tekan beton rata-rata jumlah benda uji (Mpa)

$f'c$ = Kuat tekan beton benda uji (Mpa)

n = Jumlah benda uji

3. Standar Deviasi (SD)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f'c - f'cr)^2}{n-1}} \quad (2.15)$$

Keterangan:

S = *Deviasi standar*

$f'c$ = Kuat tekan benda uji (Mpa)

$f'cr$ = Kuat tekan beton rata-rata (Mpa)

n = Jumlah benda uji

4. Kuat Tekan Karakteristik ($f'ck$)

$$f'ck = f'cr - (1.64s) \quad (2.16)$$

Keterangan:

$f'ck$ = Kuat tekan beton karakteristik beton (Mpa)

$f'cr$ = Kuat tekan beton rata-rata (Mpa)

SD = Standar Deviasi

2.9 Heat Of Hydraton (Panas Hidrasi)

Heat of hydration atau panas hidrasi adalah panas yang dihasilkan sebagai akibat dari reaksi kimia antara air dan semen selama proses hidrasi. Proses hidrasi ini merupakan inti dari pengerasan dan pengikatan beton, karena dalam tahap ini terbentuk senyawa-senyawa yang memperkuat struktur beton, seperti *calcium silicate hydrate* (C-S-H) dan *calcium hydroxide* (Ca(OH)₂). Panas hidrasi merupakan hasil eksotermik dari reaksi antara senyawa-senyawa dalam semen Portland, terutama *tricalcium silicate* (C₃S) dan *dicalcium silicate* (C₂S), dengan air. Reaksi ini menghasilkan energi panas yang menyebabkan suhu internal beton meningkat, terutama pada beton massa (*mass concrete*).

Pengaruh *heat of hydration* terhadap beton dapat dilihat pada penjelasan berikut ini:

1. Peningkatan Suhu Internal

Panas yang dilepaskan selama proses hidrasi menyebabkan peningkatan suhu pada beton, terutama jika pengecoran dilakukan dalam volume

besar. Jika tidak dikendalikan, hal ini dapat menimbulkan retak termal akibat perbedaan suhu antara bagian dalam dan luar beton.

2. Kuat Tekan Awal

Panas hidrasi mempercepat proses pengerasan awal, sehingga pada kondisi tertentu dapat meningkatkan kuat tekan awal beton. Namun, peningkatan suhu yang terlalu tinggi juga bisa mempercepat penguapan air dan menyebabkan beton mengalami retak dini atau pengeringan plastis.

3. Retak dan Durabilitas

Jika panas tidak tersebar merata atau tidak dikontrol, akan timbul tegangan tarik dalam beton akibat pendinginan permukaan yang lebih cepat dibanding bagian dalam. Hal ini mengarah pada retak termal, yang dapat menurunkan durabilitas beton dalam jangka Panjang.

Untuk mengurangi risiko akibat panas hidrasi, dapat dilakukan beberapa upaya pengendaliannya:

1. Menggunakan semen dengan panas hidrasi rendah (*Low Heat Portland Cement*).
2. Menambahkan bahan pozzolan seperti *fly ash* atau slag.
3. Mengatur rasio air semen.
4. Menggunakan pendinginan internal (*cooling pipe*) pada beton massa.
5. Menyiram atau melindungi permukaan beton selama proses *curing*.