

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan sehingga membentuk suatu massa padat. Tambahan waktu beton akan mengeras dan mencapai kuat rencana (f'_c) adalah dalam waktu 28 hari (SNI 2847:2013). Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji silinder adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. tata cara 7 pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39 – 86. Menurut Kardiyono Tjokrodinuljo (2007) menyatakan bahwa beton adalah suatu bahan campuran atau komposit dan ada juga beberapa bahan.

Bahan utama beton terdiri atas agregat halus, agregat kasar, air dan/atau tanpa bahan tambahan lain dalam takaran tertentu. Beton merupakan suatu komposit, oleh karena itu keuletan beton sangat bergantung pada kualitas masing-masing pembentuknya. Terkadang satu atau lebih bahan tambahan ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemampuan kerja, daya tahan dan waktu pengerasan (Mc Cormac, 2004). Bahan dasar penyusun beton merupakan faktor utama yang sangat diperlukan untuk menunjang mutu beton. Perencanaan campuran, jenis, mutu dan kuantitas bahan komposisi beton harus diperhitungkan dalam proporsi atau perbandingan tertentu untuk menghasilkan mutu beton yang diinginkan. Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk memperoleh beton yang terbaik, yaitu: kuat tekan tinggi, mudah pengerjaannya, tahan aus dan tahan lama, murah (ekonomis). Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi tetapi kuat tariknya lemah. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton menunjukkan kualitas suatu struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono: 2004) kelebihan beton antara lain:

2.1.1 Kelebihan Beton

Menurut Tjokrodimulyo (2007) mengemukakan bahwa kelebihan beton secara umum yaitu:

- a. Beton memiliki kemampuan untuk menahan gaya tekan dengan baik dan mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
- b. Beton yang masih segar dapat dengan mudah untuk dicetak sesuai dengan keinginan.
- c. Beton yang masih segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisi ke dalam retakan beton dalam proses untuk perbaikan.
- d. Beton yang masih segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
- e. Beton yang memiliki sifat tahan aus dan tahan bakar, sehingga untuk perawatannya lebih murah dan terjangkau.

2.1.2 Kelemahan Beton

Menurut Tjokrodimulyo (2007) mengemukakan bahwa kelemahan beton secara umum yaitu:

- a. Beton dianggap tidak mampu untuk menahan gaya tarik, sehingga mudah retak, oleh sebab itu sangat diperlukan untuk diberikan baja tulangan sebagai penahan gaya tariknya.
- b. Beton yang keras dapat menyusut dan mengembang apabila terjadi perubahan suhu, sehingga diperlukan dibuat dilatasi untuk mengatasi retakan-retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
- c. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
- d. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

1.2 Sifat Beton Segar

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) Pengerjaan beton segar terdiri dari tiga sifat penting yang harus diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (segregasi), dan pemisahan air (*bleeding*).

2.2.1 Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Tingkat kemudahan (*workability*) merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan susunan pembentuk beton.

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari konsistensi adukan beton yang identik tingkat keplastisan adukan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Adapun konsistensi adukan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut, di antaranya:

1. Jumlah air pencampur

Semakin banyak air, adukan beton akan lebih mudah untuk dikerjakan.

2. kandungan semen

Jika perbandingan air dan semen tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air, sehingga keplastisannya juga akan lebih tinggi.

3. Gradasi Agregat

Agregat yang memenuhi syarat gradasi akan memberi kemudahan pengerjaan beton.

4. Bentuk butiran agregat

Beton yang menggunakan agregat bentuk bulat akan lebih mudah dikerjakan.

5. Butiran maksimum agregat

Pada penggunaan jumlah air yang sama, butiran maksimum agregat yang lebih besar akan menghasilkan kemudahan yang lebih tinggi.

6. Cara Pemadatan dan alat pemadatan

Cara menggunakan alat pemadat dengan benar akan berpengaruh terhadap kondisi terakhir beton basah. Setelah selesai pemadatan, akan memungkinkan tercapainya target mutu beton keras.

2.2.2 Pemisahan Kerikil (*Segregasi*)

Segregasi adalah kecenderungan pemisahan bahan-bahan pembentuk beton karena penuangan dan pemadatan yang tidak baik. Bentuk *segregasi* beton merupakan proses penurunan partikel yang lebih kasar ke bagian bawah beton untuk memisahkan diri dari partikel yang lebih halus dan terpisahnya air semen dari adukan. Hal ini akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Faktor penyebab segregasi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu kurang semen, kekurangan atau kelebihan air pada campuran, kurangnya jumlah agregat halus, ukuran agregat maksimum > 40 mm, dan kekasaran permukaan butir agregat. Kecenderungan terjadinya segregasi dapat dicegah jika tinggi jatuh dibatasi, penggunaan air sesuai dengan yang telah ditetapkan, ukuran agregat sesuai dengan yang telah ditetapkan, dan pemadatan yang baik sesuai aturan.

2.2.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah peristiwa pemisahan naiknya air ke permukaan beton setelah dilakukan pemadatan. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir yang pada saat beton mengeras akan membentuk selaput (*laitance*) yang tidak berguna. Peristiwa ini terjadi pada campuran yang terlalu banyak air, susunan butir agregat, kecepatan hidrasi, dan pada saat proses pemadatan. Terjadinya *bleeding* dimungkinkan oleh faktor gradasi agregat yang kurang baik, terlalu banyak air, proses hidrasi yang lambat, dan pemadatan yang berlebihan. Untuk mengurangi terjadinya bleeding dapat dilakukan dengan cara menggunakan semen lebih banyak, menggunakan sedikit mungkin air, menggunakan butir halus lebih banyak, dan memasukkan sedikit udara ke dalam beton.

2.3 Sifat Beton

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) beton adalah bahan bangunan yang dibuat dari air, semen Portland, agregat halus, dan agregat kasar, yang bersifat keras seperti batuan. Beberapa sifat beton yang sering dipakai antara lain:

2.3.1 Kekuatan Beton

Beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat beton dibagi menjadi beberapa jenis seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis beton	Kuat tekan (MPa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 10 MPa
Beton normal (beton biasa)	15-30 MPa
Beton prategang	30-40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	≥ 80 MPa

Sumber: IR. Kardiyono Tjokrodimuljo, 2007

2.3.2 Berat jenis

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil normal berat jenisnya antara 2,5 – 2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenisnya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 -2,00	Struktur ringan

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton normal (biasa)	2,30-2,40	Struktur
Beton berat	$\geq 3,00$	Perisai sinar X

Sumber: IR. Kardiyo Tjokrodinuljo, 2007

2.3.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \quad \text{untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \quad (2.1)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad \text{untuk beton normal} \quad (2.2)$$

Keterangan:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = berat jenis beton

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

2.3.4 Susutan Pengerasan

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dibandingkan volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras, beton mengalami sedikit penyusutan akibat penguapan air. Bagian yang susut adalah pastanya karena agregat tidak merubah volume. Oleh karena itu, semakin besar pastanya semakin besar penyusutan beton. Sedangkan pasta semakin besar faktor air semennya maka semakin besar susutannya.

2.3.5 Kerapatan Air

Pada bangunan tertentu sering beton diharapkan rapat air atau kedap air agar tidak bocor, misalnya : plat lantai, dinding basement, tandon air, kolam renang dan sebagainya.

2.4 Bahan Penyusun Beton

Beton umumnya terdiri dari tiga bahan penyusun utama yaitu agregat, semen, dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan dengan tujuan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton. Berikut ini merupakan bahan penyusun beton:

2.4.1 Agregat

Menurut SNI 2847-2013 agregat merupakan bahan butiran misalnya kerikil, batu pecah, slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan bersama dengan lem khusus sebagai media perekat untuk membuat beton atau semen hidrolis. Agregat digunakan sebagai bahan pengisi beton untuk presentasi di antara 60% -70% dari volume beton (Mulyono, 2019). Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) agregat pada umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, untuk butiran 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm sampai 15 mm.

Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).

2.4.1.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat halus terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering.

2.4.1.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 yang terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.

2.4.2 Semen

Semen secara umum dapat digambarkan sebagai suatu bahan yang mempunyai sifat perekat dan kohesif sifat yang membuatnya mampu mengikat pecahan-pecahan material menjadi kompak utuh. Pada dasarnya bahan baku yang digunakan dalam pembuatan semen portland terdiri dari terutama dari kapur, silika, alumina dan besi oksida. Senyawa-senyawa ini berinteraksi satu sama lain dalam kiln untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks dan terpisah dari sedikit residu kapur yang tidak tercampur yang tidak mempunyai cukup waktu untuk bereaksi, suatu keadaan kimia keseimbangan tercapai.

Menurut Mulyono (2004) mengemukakan bahwa semen adalah bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan.

Semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan lima jenis, yaitu:

- a. Jenis 1 (normal) : semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- b. Jenis II (modifikasi) : semen yang mempunyai panas hidrasi sedang atau pelepasan panas yang relatif sedikit, untuk penggunaan beton tahan sulfat.
- c. Jenis III : semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
- d. Jenis IV : semen yang mempunyai panas hidrasi rendah , biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.
- e. Jenis V : semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat.

Proses pengerasan semen Portland merupakan suatu proses kompleks menuju ke pembentukan komponen-komponen baru di dalam batu semen yang semula tidak ada di dalam klinker. Reaksi hidrasi yang dihasilkan semen pada umumnya adalah : $2C_2S + 4H_2O \Rightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$

2.4.3 Air

Air merupakan bahan utama atau dasar dalam pembuatan beton. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen yang digunakan sebagai pelumas antar butiran agregat, sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah.

Air harus memenuhi persyaratan untuk dijadikan bahan campuran beton. Air yang dapat digunakan untuk mencampur beton adalah air yang bila digunakan akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih besar dari 90 persen kekuatan beton yang menggunakan air suling. Air yang mengandung senyawa berbahaya yang terkontaminasi garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila digunakan dalam campuran beton, akan menurunkan mutu beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Persyaratan air yang akan digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut (Virdaus, 2005 dalam Atira, 2016):

- a. Air tidak mengandung lumpur atau benda terapung lainnya yang beratnya lebih dari 2 gram/liter.
- b. Air tidak mengandung lumpur atau benda terapung lainnya yang kadarnya lebih dari 2 g/liter.
- c. Air tidak mengandung garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya).
- d. Air tidak mengandung lebih dari 0,5 g/liter klorida (Cl).
- e. Air tidak mengandung lebih dari 1 g/liter senyawa sulfat.

2.4.4 Abu Batu Pecah

Abu batu pecah merupakan produk sampingan dari produksi batu pecah. Abu batu pecah merupakan abu yang banyak mengandung silika, alumina dan mengandung senyawa alkali, besi, kapur walaupun dalam kadar yang rendah.

Komposisi abu batu digunakan dalam campuran beton terutama untuk meningkatkan sifat beton. Penggunaan abu batu dapat menghemat konsumsi semen. Abu batu mengandung senyawa silika sangat halus yang mempunyai sifat amorf sehingga dapat mengeras jika dicampur dengan semen. Senyawa yang terdapat antara silika amorf dan kapur merupakan senyawa kalsium silikat yang sulit larut dalam air. Kemampuan pengerasan abu batu disebabkan oleh adanya bagian silika amorf yang halus. Silika atau SiO_2 merupakan kandungan yang sering ditemukan dalam abu batu pecah. Hal ini diperkuat oleh jurnal penelitian yang telah dilakukan oleh (Asmaroni et al., 2022) yang menyatakan bahwa kandungan silika pada abu batu Jawa sebesar 41,10% dan 2,20% pada abu batu Madura.

Menurut Lina (2015), abu batu mempunyai dua sifat kimia terpenting, yaitu: kandungan karbon (karbon yang tidak terbakar) dan komposisi kimianya. Kandungan karbon yang khas dianalisis sebagai kerugian penyalan. Abu dasar (slag) biasanya memiliki kandungan karbon yang rendah. Sedangkan kandungan karbon pada fly ash sangat bervariasi tergantung pada sistem pembakaran, pengoperasian PLTU, dan ukuran partikel batubara. Kandungan karbon meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran partikel abu. Komponen utama abu batu terdiri dari Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dan SO_3 . Kadar masing-masing komponen bergantung pada jenis batubara dan sistem pertambangan. Komposisi abu batu sangat mempengaruhi sifat fisiknya dan kemudian menentukan penggunaannya.

Abu batu pecah yang digunakan sebagai bahan tambah agregat halus merupakan abu batu pecah yang lolos pada proses penyaringan dengan saringan No.8 (2,36 mm). Abu batu pecah yang digunakan dalam kondisi SSD atau kering permukaan.

Abu batu pecah yang digunakan sebagai penambah semen merupakan abu batu pecah yang lolos pada proses penyaringan dengan saringan No.200 (0,075 mm). Abu batu pecah yang digunakan dalam kondisi kering.

2.5 Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton dilakukan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan tersebut serta untuk

menganalisis dampaknya terhadap sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda maupun beton yang telah mengeras. Pengujian dilakukan menggunakan alat yang telah tersedia di laboratorium. Pengujian bahan ini meliputi bahan agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambah lainnya.

2.5.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (*gradasi*) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik. Analisis saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Peralatan yang digunakan menurut SNI 03-1968 - 1990 adalah sebagai berikut:

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2 % dari berat benda uji.
2. Satu set saringan, 37,5 mm (3"), 63,5 mm (2 ½"), 50,8 mm (2"), 19,1 mm (3/4"), 12,5 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8"), No. 4 (4.75 mm), No 8 (2,36 mm), No. 16 (1,18 mm), No. 30 (0,600 mm), No. 50 (0,300 mm), No. 100 (0,150 mm), No. 200 (0,075 mm).
3. Satu set saringan untuk agregat kasar dengan ukuran 50 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25 mm (1"); 19,10 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); dan 9,5 mm (3/8").
4. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110+5)°C.
5. Alat Pemisah contoh.
6. Mesin pengguncang saringan;
7. Talam-talam;
8. Kuas, sikat kuningan, sendok dan alat-alat lainnya.

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan dan benda uji dipersiapkan terlebih dahulu.
2. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ selama 24 jam.
3. Setelah benda uji dikeringkan, lalu ditimbang kembali.
4. Siapkan satu set saringan yang telah disusun dari ukuran yang besar ke ukuran yang kecil.
5. Pasang satu set saringan yang telah diisi benda uji pada mesin pengguncang selama 15 menit.
6. Setelah dikeluarkan dari mesin pengguncang, timbang berat benda uji yang tertahan pada setiap nomor saringan.

2.5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis curah kering, berat jenis curah pada kondisi jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air. Pengujian ini mengacu pada SNI 1970, 2008. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Timbangan sesuai dengan persyaratan SNI 03-6414-2002 dan dilengkapi peralatan untuk menggantung wadah contoh uji di dalam air.
2. Keranjang kawat 3,35 mm (Saringan No.6) atau ember dengan kapasitas 4 sampai 7 liter untuk agregat dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm.
3. Oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$,
4. Tangki air yang kedap berfungsi sebagai tempat contoh uji dan wadahnya akan benar-benar terendam ketika digantung di bawah timbangan
5. Alat penggantung (kawat).
6. Saringan 4,75 mm (No.4).

Urutan proses pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah sebagai berikut:

1. Contoh uji dikeringkan hingga mencapai berat tetap dengan temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, diinginkan pada temperatur kamar selama satu sampai tiga jam untuk contoh uji dengan ukuran maksimum nominal 37,5 mm (saringan no. 1 $\frac{1}{2}$ in) atau lebih untuk ukuran yang lebih besar sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan pada temperatur (kira-kira 50°C). Sesudah itu rendam agregat tersebut di dalam air pada temperatur kamar selama (24 ± 4) jam. Pada saat menguji agregat kasar dengan ukuran maksimum yang besar, akan memerlukan contoh uji yang lebih besar, dan akan mudah di uji dalam dua atau lebih contoh yang lebih kecil, kemudian nilai-nilai yang diperoleh digabungkan dengan perhitungan-perhitungan pada pasal 7.
2. Apabila nilai-nilai penyerapan dan berat jenis akan dipergunakan dalam menentukan proporsi campuran beton agregatnya akan berada pada kondisi alaminya, maka persyaratan untuk pengeringan awal sampai berat tetap dihilangkan, dan jika permukaan partikel butir contoh terjaga secara terus-menerus dalam kondisi basah, perendaman sampai (24 ± 4) jam juga dapat dihilangkan. Sebagai catatan nilai-nilai untuk penyerapan dan berat jenis curah (jenuh kering permukaan) mungkin lebih tinggi untuk agregat yang tidak kering oven sebelum direndam dibandingkan dengan agregat yang sama tetapi diperlukan seperti pada pasal 6 butir a. Hal ini jelas, khususnya untuk partikel butiran yang lebih besar dari 75 mm (3 Inch) karena air tidak mungkin mampu masuk sampai butiran dalam waktu perendaman seperti yang disyaratkan.
3. Contoh uji dipindahkan dari dalam air dan guling-gulingkan pada suatu lembar penyerapan air sampai semua lapisan air yang terlihat hilang. Keringkan air dari butiran yang besar secara tersendiri. Aliran udara yang bergerak dapat digunakan untuk membantu pekerjaan pengeringan. Kerjakan secara hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi jenuh kering permukaan. Tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dan semua berat yang sampai nilai 1,0 gram terdekat atau 0,1 persen yang terdekat dari berat contoh, pilihlah nilai yang lebih besar.

4. Setelah ditentukan beratnya, segera tempatkan contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan tersebut di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air, yang mempunyai kerapatan (997 ± 2) kg/m^3 pada temperatur $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. Hati-hatilah sewaktu berusaha menghilangkan udara yang terperangkap sebelum menentukan berat tersebut, menggoncangkan wadah dalam kondisi terendam. Wadah tersebut harus terendam dengan kedalaman yang cukup untuk menutup contoh uji selama penentuan berat. Kawat yang menggantungkan kontainer tersebut harus memiliki ukuran praktis yang paling kecil untuk memperkecil kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam.
5. Contoh uji dikeringkan hingga mencapai berat tetap dengan temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, diinginkan pada temperatur-kamar selama satu sampai tiga jam, atau sampai agregat telah dingin pada satu temperatur yang dapat dikerjakan pada temperatur (kira-kira 50°C), kemudian tentukan beratnya. Gunakan berat contoh ini dalam proses perhitungan pada pasal.

Langkah-langkah perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar:

1. Berat jenis curah kering

Lakukanlah perhitungan berat jenis curah kering (S_d), pada temperatur air 23°C /temperatur agregat 23°C dengan rumus berikut ini:

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B-C)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

A= Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat benda uji kondisi jenuh permukaan di udara (gram)

C= Berat benda uji dalam air (gram)

2. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)

Lakukan perhitungan berat jenis curah jenuh kering permukaan (Ss), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dalam basis jenuh kering permukaan dengan rumus berikut ini:

$$\text{Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)} = \frac{B}{(B-C)} \quad (2.4)$$

Keterangan:

B= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram).

C= Berat benda uji dalam air (gram).

3. Berat jenis semu

Lakukan perhitungan berat jenis semu (Sa), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat agregat 23°C dengan cara berikut ini:

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A-C)} \quad (2.5)$$

Keterangan:

A= Berat benda uji kering oven (gram)

C= Berat benda uji dalam air (gram)

4. Penyerapan air

Hitunglah persentase penyerapan air (Sw) seperti dengan cara:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(B-A)}{B} \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan:

B= Berat benda uji kering oven (gram)

A= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram).

2.5.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam berbagai para pelaksanaan di laboratorium dalam melakukan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Cara uji ini digunakan untuk menentukan setelah (24±4) jam di dalam air berat jenis curah kering dan berat jenis semu, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering

permukaan, serta penyerapan air. Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian berat jenis agregat halus menurut SNI 1970:2008 yaitu:

1. Timbangan harus sesuai dengan persyaratan dalam SNI 03-6414-2002
2. Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
3. Kerucut terpancung.
4. Batang penumbuk.
5. Saringan No. 4 (4,75mm).
6. Oven suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
7. *Thermometer* dengan ketelitian pembacaan 1°C .
8. Talam.
9. Bejana tempat air.
10. Pompa hampa udara atau tungku.

Langkah-langkah pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yaitu :

1. Teliti pada seluruh penentuan berat, harus sampai ketelitian 0,1 gram
2. Isi piknometer dengan air sebagian saja. Segera setelah itu masukkan ke dalam piknometer (500+10) gram agregat halus dalam kondisi jenuh kering permukaan yang telah dipersiapkan sebelumnya. Tambahkan kembali air sampai kira-kira 90% kapasitas piknometer. Putar dan guncangkan piknometer dengan tangan untuk menghilangkan gelembung udara yang dapat digunakan untuk mempercepat pengeluaran gelembung udara dari dalam air diperbolehkan asalkan tidak menimbulkan pemisah dan merusak butiran agregat. Sesuaikan temperatur piknometer, air dan agregat pada $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, apabila diperlukan rendam dalam air yang bersirkulasi. Penuhi piknometer sampai batas pembacaan pengukuran. Timbang berat total dari piknometer, benda uji dan air. Pada umumnya dibutuhkan waktu 15 sampai 20 menit untuk menghilangkan gelembung udara dari dalam air bila menggunakan cara manual. Menyentuh ujung dari handuk

kertas ke dalam piknometer cukup efektif untuk menghilangkan buih yang timbul saat menggetarkan atau memutar untuk menghilangkan gelembung, atau dengan cara menambahkan beberapa tetes *isopropy alcohol* segera setelah gelembung udara dihilangkan buih yang terbentuk.

- a. Cara alternatif menentukan berat dapat dilakukan dengan menghitung jumlah air yang dibutuhkan untuk mengisi piknometer pada temperatur yang ditentukan secara volumetrik dengan menggunakan buret yang ketelitian 0,15 mL.
 - b. Langkah alternatif lainnya menggunakan labu Le Chatelier adalah dengan mengisi labu tersebut dengan air sampai pada posisi garis yang berada di antara 0 dan 1 mL. Catat pembacaan ini pada temperatur $(23 \pm 2)^{\circ} \text{C}$. Masukkan 55 gram agregat halus kondisi jenuh kering permukaan ke dalam labu. Setelah semua agregat halus dimasukkan, pasang tutup labu dan putar labu dengan sedikit dimiringkan untuk mengeluarkan gelembung udara yang terjebak, lanjutkan hingga tidak ada lagi gelembung yang naik ke permukaan. Baca posisi akhir pada labu ukur. Jika menggunakan alkohol untuk menghilangkan buih di permukaan air, volume alkohol yang dipergunakan (tidak lebih dari 1 mL) harus kurangi pada pembacaan terakhir (R2).
3. Agregat halus dikeluarkan dari dalam piknometer, keringkan sampai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$, dinginkan pada temperatur ruang selama $(1,0 \pm 0,5)$ jam dan timbang beratnya. Pada saat mengeringkan dan menimbang berat benda uji dari dalam piknometer, sisa dari contoh uji dalam kondisi jenuh kering permukaan boleh digunakan untuk menimbang berat kering ovennya. Benda uji ini harus diambil pada saat yang bersamaan dan selisih beratnya hanya 0,2 gram. Jika labu Le Chatelier digunakan, akan diperlukan benda uji yang terpisah untuk menentukan penyerapan air. Timbanglah (500 ± 10) gram benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan yang terpisah, keringkan sampai berat

tetap kemudian timbanglah kembali. Benda uji ini harus diambil pada saat yang bersamaan dengan yang dimasukkan ke dalam labu Le Vhatelier.

4. Berat piknometer ditimbang pada saat terisi air saja sampai batas pembacaan yang ditentukan pada $(23 \pm 2)^{\circ} \text{C}$.

2.5.4 Pengujian Kadar Air Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Peralatan yang digunakan dalam pengujian kadar air menurut SNI 03-1971-1990 adalah sebagai berikut:

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh.
2. Oven yang digunakan dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$.
3. Talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan benda uji.

Urutan proses pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut :

1. Timbangan dan catatlah berat talam (W_1).
2. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2).
3. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).
4. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai berat tetapnya.
5. Setelah kering, timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4).
6. Hitunglah berat benda uji kering ($W_s = W_4 - W_1$).

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan:

W_3 = Berat benda uji semula (gram)

W_5 = Berat benda uji kering (gram)

2.5.5 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Cara uji ini meliputi perhitungan berat isi dalam kondisi padat atau gembur, dan kadar udara dalam beton menurut SNI 03-4804-1998.

Peralatan yang digunakan yaitu:

1. Timbangan
2. Batang penusuk terbuat dari baja .
3. Alat penakar berbentuk silinder terbuat dari baja atau logam
4. Sekop atau sendok sesuai kebutuhan
5. Peralatan kalibrasi berupa plat gelas dengan tebal minimum 6 mm dan paling sedikit 25 mm lebih besar daripada diameter takaran yang dikalibrasi.

Prosedur pelaksanaan pengujian berat isi dan rongga udara sebagai berikut:

1. Kondisi padat
 - a. Cara tusuk
 - 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
 - 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 kali tusukan batang penusuk.
 - 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk seperti langkah diatas.
 - 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
 - 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
 - 6) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri.
 - 7) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.

8) Hitung berat isi agregat.

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad (2.8)$$

9) Hitung kadar rongga udara

$$M_{SSD} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right] \quad (2.9)$$

Keterangan:

M = berat isi agregat kondisi kering oven (kg/m^3)

G = berat agregat dalam penakar (kg)

T = berat penakar (kg)

M_{SSD} = berat isi jenuh kering permukaan (kg/m^3)

A = absorpsi (%)

b. Cara ketuk

- 1) Isi agregat dalam penakar dalam tiga tahap sesuai ketentuan.
- 2) Padatkan untuk setiap lapisan dengan cara mengetuk ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50 kali.
- 3) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 4) Tentukan berat penakar dan isinya sama seperti langkah pada a (6).
- 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah a (8) dan a (9).

2. Kondisi gembur

- a. Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- b. Ratakan permukaan dengan batang perata.
- c. Tentukan berat penakar dan isinya, dan berat penakar sendiri.
- d. Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.

- e. Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah pada butir b (5).

2.5.6 Pengujian Kadar Lumpur

Tujuan pengujian ini adalah untuk menghasilkan mutu beton yang baik (kuat tekan tinggi), maka bahan penyusun beton harus memenuhi syarat teknis. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F salah satu syarat teknis adalah agregat halus (pasir) tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat pasir.

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Gelas ukur.
2. Pengaduk.

Bahan yang digunakan adalah contoh pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air biasa.

Prosedur pelaksanaan:

1. Contoh benda uji dimasukan ke dalam gelas ukur.
2. Air ditambahkan pada gelas ukur untuk melarutkan lumpur.
3. Air ditambahkan pada gelas ukur untuk melarutkan lumpur.
4. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
5. Tinggi pasir (V_1) dan tinggi lumpur (V_2) diukur.
6. Kemudian hitung:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{(V_1 + V_2)} \quad (2.10)$$

Keterangan :

V_1 = tinggi pasir (gram)

V_2 = tinggi lumpur (gram)

2.5.7 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Mesin *Los Angeles* merupakan salah satu mesin untuk pengujian keausan/abrasi agregat kasar, fungsinya adalah kemampuan agregat untuk menahan gesekan, dihitung berdasarkan kehancuran agregat tersebut yang bergesekan dengan bola baja di dalam mesin. Besi bulat dan masif dengan ukuran dan berat tertentu yang digunakan sebagai beban untuk mengurus agregat pada mesin abrasi. Keausan merupakan perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula) menurut SNI 2417: 2008.

Beberapa gradasi agregat yang dapat dikelompokkan menurut SNI 2417:2008 sebagai berikut:

a. Gradasi A

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm (1 ½ Inch) sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm (3/8 Inch).

b. Grasi B

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 19,0 mm (3/4 Inch) sampai dengan agregat ukuran 9,5 mm (3/8 Inch).

c. Gradasi C

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 9,5 mm (3/8 Inch) sampai dengan agregat ukuran butir 4,75 mm (saringan No. 4).

d. Gradasi D

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 4,75 mm (saringan No. 4) sampai dengan agregat ukuran butir 2,36 mm (saringan No. 8).

e. Gradasi E

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 75 mm (3 Inch) sampai dengan agregat ukuran butir 37, 5 mm (1 ½ Inch).

f. Gradasi F

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 50 mm (2,0 Inch) sampai dengan agregat ukuran butir 25,0 mm (1,0 mm).

g. Gradasi G

Material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm (1 ½ Inch) sampai dengan agregat ukuran butir 19,0 mm (¾ Inch).

Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Mesin abrasi *Los Angeles*
2. Saringan No. 12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya.
3. Timbangan, dengan ketelitian 0,1% terhadap berat contoh atau 5 gram.
4. Bola-bola baja, dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 27/32 Inch) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram.
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur untuk memanasi sampai dengan $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
6. Alat bantu pan dan kuas.

Benda uji disiapkan dengan cara sebagai berikut:

1. Gradasi dan berat benda uji sesuai tabel.
2. Bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada temperatur $110^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7(tujuh) cara dalam berikut:

Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi *Los Angeles*:

1. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, jumlah putaran gradasi A, gradasi B, gradasi C dan gradasi D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, gradasi F dan gradasi G adalah 1000 putaran.
2. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No. 12 (1,79 mm), butiran yang tertahan di

atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

3. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No. 12 (1,70 mm) tanpa pencucian.

Untuk menghitung hasil pengujian, gunakan rumus berikut:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan :

a = berat benda uji semula, dinyatakan dalam gram

b = berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm), dalam gram

2.6 Rancangan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunannya. Karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan.

Pada dasarnya perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut.

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonominya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air per kubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa sesuai dengan teori perencanaan proporsi campuran adukan beton, pembuatan beton boleh menggunakan campuran

dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan slump tidak lebih dari 100 mm.

Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penekaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan beton akan lebih besar dari 20 MPa harus menggunakan campuran berat. Sebelum melakukan perancangan, data-data yang dibutuhkan harus dicari. Jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan, dapat diambil data yang telah ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu penyelesaian perancangan campuran beton.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk merancang suatu campuran beton adalah metode Departemen Pekerjaan Umum (SNI 7656:2012) Berikut langkah-langkah perancangan beton normal Metode Departemen Pekerjaan umum (SNI 7656: 2012).

2.6.1 Desain Campuran Beton SNI 7656:2012

Metode campuran beton SNI 7656:2012 tentang “Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa”. Metode ini mengacu pada ACI 211. 1- 91 yang berasal dari Amerika. Langkah-langkah dari pengerjaan campuran beton metode SNI 7656:2012 sebagai berikut.

2.6.1.1 Menetapkan Nilai Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Diterapkan

Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan (f'_c) sebesar 20 MPa. Direncanakan untuk konstruksi jembatan dan beton yang dibuat tanpa tambahan udara.

2.6.1.2 Menetapkan Deviasi Standar

Nilai deviasi standar diperoleh apabila fasilitas produksi beton telah mempunyai catatan hasil uji. Data hasil pengujian yang dijadikan sebagai dasar perhitungan standar deviasi harus:

- a. Mewakili material, prosedur kontrol kualitas, dan kondisi serupa, dan perubahan-perubahan pada material ataupun proporsi campuran dalam data pengujian tidak perlu dilakukan lebih ketat.

- b. Mewakili beton yang dibuat untuk memenuhi kekuatan yang disyaratkan pada kisaran 7 MPa.
- c. Terdiri dari sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlahnya sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian.

Fasilitas produksi beton yang tidak mempunyai catatan hasil uji kekuatan yang memenuhi persyaratan 30 benda uji tetapi mempunyai catatan uji tidak lebih dari 24 bulan lamanya, berdasarkan pada pengujian sebanyak 15 – 29 hasil pengujian secara berurutan, maka deviasi standar benda uji, s_s ditentukan sebagai hasil perkalian antara nilai deviasi standar benda uji yang dihitung dan faktor modifikasi (Tabel 2.5). Agar dapat diterima, maka catatan hasil pengujian yang digunakan harus memenuhi persyaratan dan hanya mewakili catatan tunggal dari pengujian-pengujian yang berurutan dalam periode waktu tidak kurang dari 45 hari kalender.

Tabel 2. 3 Faktor Modifikasi Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Modifikasi
Kurang dari 15	Gunakan Tabel 2.6
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 2847:2013

2.6.1.3 Menghitung Kuat Tekan Rata-rata

Kekuatan tekan rata-rata perlu f'_{cr} yang digunakan sebagai dasar pemilihan proporsi campuran beton menggunakan deviasi standar benda uji, s_s , dihitung menggunakan Persamaan 2.12 dan untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan $f'_c \leq 35$ MPa (SNI 2847:2013) dengan mengambil nilai terbesar.

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s_s \quad (2.12)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s_s - 3,5 \quad (2.13)$$

Kekuatan tekan rata-rata perlu f'_{cr} untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan sebesar f'_c 35 MPa dihitung menggunakan persamaan dan (SNI 2847:2013) dengan mengambil nilai terbesar

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s_s \quad (2.14)$$

$$f'_{cr} = 0,9 f'_c + 2,33 s_s \quad (2.15)$$

Dengan:

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata perlu (MPa)

f'_c = Kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

s_s = Deviasi standar (MPa)

Apabila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji kekuatan di lapangan untuk menghitung deviasi standar, maka kekuatan rata-rata perlu dihitung sesuai dengan Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Kuat Tekan Rata-rata apabila Tidak Tersedia Data Standar Deviasi

Kuat Tekan yang Disyaratkan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Perlu (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,1 f'_c + 5,0$

Sumber: SNI 2847:2013

2.6.1.4 Menentukan Nilai Slump

Nilai slump merupakan indikator untuk menentukan tingkat kekentalan dan kemudahan kerja dari beton segar. Apabila nilai slump tidak ditentukan, maka nilai slump tidak ditentukan, maka nilai slump dapat diperoleh berdasarkan Tabel 2.5 untuk berbagai tipe pekerjaan kontruksi. Nilai slump untuk metode pemadatan dengan tusukan maka perlu ditambah 25 mm.

Tabel 2. 5 Nilai Slump yang Dianjurkan Berbagai Konstruksi

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum ^f	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

Slump dapat ditambah bila digunakan bahan tambahan kimia, asalkan beton yang diberi bahan tambahan tersebut memiliki rasio air- semen atau rasio air – bahan bersifat semen yang sama atau lebih kecil dan tidak menunjukkan segregasi yang berarti *bleeding* berlebihan.

Slump boleh ditambah 25 mm untuk metode pemadatan selain dengan penggetaran seperti menggunakan tangan dengan rodding and spading (adapted from ACI 211.1).

2.6.1.5 Menentukan Ukuran Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan yaitu maks 20 mm. Ukuran agregat ditetapkan sesuai dengan nilai terkecil dari ketentuan berikut:

- 1/5 dari ukuran terkecil dimensi antara dinding-dinding cetakan/ bekisting
- 1/3 tebalnya pelat lantai
- $\frac{3}{4}$ jarak minimum antar masing-masing tulangan, berkas-berkas tulangan, atau tendon tulangan (pretensioning strands).

2.6.1.6 Menentukan Kadar Air dan Kadar Udara

Perkiraan kadar air pencampur dan kadar udara untuk berbagai nilai slumps dan ukuran agregat maksimum batu pecah dengan beton tanpa tambahan udara seperti pada tabel berikut:

Tabel 2. 6 Perkiraan Kadar Air dan Kadar Udara

Air (kg/m³) 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	150 mm
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	178	160	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
kadar udara (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Sumber: SNI 7656:2012

2.6.1.7 Menentukan Rasio Air Semen atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau w/ (c + p) yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh faktor keawetan. Untuk menentukan rasio air semen seperti pada tabel berikut:

Tabel 2. 7 Hubungan Rasio Air Semen dan Kekuatan Beton

Kekuatan beton umur 28 hari (MPa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52

Kekuatan beton umur 28 hari (MPa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber: SNI 7656: 2012

2.6.1.8 Menghitung Kadar Semen

Kadar semen per meter kubik beton dapat dihitung dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen yang digunakan.

Kebutuhan semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air pada (langkah 2.6.1.6) dengan rasio air semen (langkah 2.6.1.7).

2.6.1.9 Menghitung kadar Agregat Kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan. Volume agregat kasar persatuan volume beton dapat dilihat pada table 2.8

Tabel 2. 8 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
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
75	0,82	0,80	0,79	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber: SNI 7656: 2012

2.6.1.10 Menghitung Kadar Agregat Halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metode berdasarkan berat beton segar atau metode berdasarkan volume absolut.

1. Berdasarkan berat beton segar

Perkiraan awal berat beton segar pada tabel (SNI 7656:2012) Berdasarkan dari ukuran nominal maksimum agregat dan pengaruh udara pada campuran beton. Perkiraan awal tersebut digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan kadar air, semen, dan agregat kasar.

Tabel 2. 9 Perkiraan Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³	
	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

2. Berdasarkan volume absolut

Satuan volume beton dikurangi dengan jumlah volume dari bahan-bahan yang telah diketahui seperti air, semen, udara, dan agregat kasar. Volume beton sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

2.6.1.11 Penyesuaian Terhadap Kelembaban Agregat

Jumlah agregat harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang ada dalam agregat. Umumnya agregat berada dalam kondisi lembab sehingga berat keringnya harus ditambah sesuai dengan persentase banyaknya air yang di berada di dalam ataupun di permukaan agregat. Besarnya jumlah air tersebut yang harus ditambahkan ke campuran harus dikurangi sejumlah air bebas yang ada di agregat yaitu jumlah air dikurang air yang terserap oleh agregat.

$$\text{Agregat Halus (basah)} = C + [D_a \frac{C}{100}] \quad (2.16)$$

$$\text{Agregat Kasar (basah)} = D + [D_k \frac{D}{100}] \quad (2.17)$$

$$\text{Air} = B - [(D_a - C_a) \frac{C}{100}] - [D_k - C_k) \frac{D}{100}] \quad (2.18)$$

Dimana:

B = jumlah air bebas (kg / m^3)

C = jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = jumlah agregat kasar (kg / m^3)

D_a = Kandungan air pada agregat halus (%)

D_k = Kandungan air agregat kasar (%)

C_a = penyerapan agregat halus (%)

C_k = penyerapan agregat kasar (%)

2.7 Pengujian Slump

Pengujian slump adalah salah satu cara untuk mengetahui,serta menentukan konsistensi atau tingkat kualitas campuran beton adalah dengan cara melakukan pengujian slump menurut SNI 1972:2008 sebagai berikut. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Cetakan harus berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, tinggi 305 mm..
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
3. Pelat logam yang permukaannya kokoh, rata, dan kedap air.
4. Sendok cekung.
5. Mistar.

Benda uji yang digunakan adalah contoh beton segar yang mewakili campuran beton. Cara pengujian slump sebagai berikut:

1. Lap cetakan dan plat menggunakan kain basah.
2. Cetakan ditempatkan di atas plat.
3. Beton segar di tuangkan ke cetakan dalam 3 lapis, tiap lapis terdapat 1/3 isi cetakan lalu ditusuk sebanyak 25 tusukan dengan tongkat pemadat.
4. Jika penusukan selesai, gunakan tongkat untuk meratakan permukaan benda uji lalu singkirkan benda uji yang jatuh di sekitar cetakan, selanjutnya cetakan diangkat harus selesai.
5. Cetakan dibalik dan diangkat secara pelan di samping benda uji, kemudian hitung slump dengan mengukur tegak lurus antara ujung cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

2.8 Pembuatan Dan Perawatan di laboratorium

Kegiatan ini melingkupi cara pembuatan benda uji beton di laboratorium sesuai dengan ketentuan yang sudah ditentukan dengan tujuan untuk memperoleh benda uji di laboratorium yang memenuhi syarat. Pembuatan dan perawatan beton di lapangan menurut SNI 2493:2011 yaitu:

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Cetakan silinder dengan ukuran 15 cm, dan tinggi 30 cm.
2. Batang penusuk.
3. Palu karet.
4. Alat penggetar.
5. Alat pengambil beton.
6. Wadah pengambilan adukan yang akan diuji.
7. Peralatan saringan basah.
8. Alat uji untuk kadar udara.
9. Timbangan.
10. Pengaduk beton.

Adapun bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, semen, dan air.

Cara pembuatan beton sebagai berikut:

1. Agregat dan sebagian air pencampur dituangkan ke dalam mixer sebelum mulai pengadukan. Nyalakan pengaduk lalu tambahkan agregat halus, semen, dan air yang tersisa Ketika mesin sedang berjalan. Jika penambahan bahan tidak dapat dilangsungkan saat mesin sedang berjalan, maka mixer dimatikan dulu. Setelah seluruh bahan dimasukkan ke dalam mixer beton di aduk lagi selama 3 menit, lalu 3 menit berhenti, dan diteruskan 2 menit untuk diaduk sampai merata. Agar tidak terjadi segregasi mixer harus tertutup rapat saat berhenti, bersihkan sisa adukan lalu gunakan sekop untuk di aduk kembali hingga merata.

2. Pilih bagian campuran beton yang akan digunakan kedalam pengujian untuk cetakan benda uji yang mewakili perbandingan dengan keadaan sebenarnya. Jika beton tidak diaduk atau diambil sampelnya, tutup kembali untuk mencegah penguapan.
3. Pada masing-masing campuran beton hitung nilai slump nya.
4. Jika nilai slump sudah memenuhi nilai yang ditetapkan, agar tidak terjadi *segregasi* gunakan sekop untuk mencampur kembali beton segar yang ada di wadah.
5. Cara pemadatan bisa dilakukan dengan ditusuk atau di getar dari luar maupun dalam. Nilai slump dari adukan beton dapat mempengaruhi pemilihan teknik yang akan digunakan. Pemadatan dikerjakan dengan cara ditusuk apabila slump lebih dari 75 mm, pemadatan dapat dikerjakan dengan cara ditusuk atau di getar apabila nilai slump antara 25 hingga 75 mm, dan pemadatan dikerjakan hanya dengan cara di getar apabila nilai slump dibawah 25mm.
6. Jika benda uji berbentuk silinder, apabila kekentalannya memungkinkan permukaan beton diratakan dengan batang penusuk dan apabila kekentalan nya tidak memungkinkan diratakan dengan roskam. Semen Portland bisa digunakan sebagai perata lapisan tipis pada permukaan silinder.
7. Agar mencegah penguapan air dari beton segar, gunakan plat yang tidak menyerap dan tidak reaktif untuk menutup benda uji, seperti lembaran plastik yang kokoh dan kedap air ataupun goni basah.
8. Setelah 24 ± 8 jam pisahkan benda uji dari cetakan.
9. Rendam benda uji saat dilepaskan dari cetakan sampai pengujian kuat tekan dilakukan di dalam suhu air $23 \pm 1,7$ C. Perawatan juga bisa dilakukan dengan metode merendam beton di dalam air kapur jenuh atau disimpan di ruangan lembab. Hindari benda uji dari tetesan air atau aliran air.

2.9 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan salah satu andalan utama bahan ini. Kekuatan (strength) adalah kemampuan suatu bahan untuk memikul tegangan (stress) sampai runtuh. Kuat tekan merupakan kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton menentukan kualitas dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan, semakin tinggi pula mutu beton yang harus dihasilkan (Mulyono, 2019).

2.9.1 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Menurut Tjokrodinuljo (2007) kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Umur beton

Kuat tekan beton akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur. Laju kenaikan kuat tekan beton mula – mula cepat, semakin lama maka laju kenaikan itu semakin lambat setelah berumur 28 hari. Oleh karena itu, sebagai standar kuat tekan beton adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari. Menurut Tjokrodinuljo (2007) pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, disebutkan perbandingan kekuatan tekan (desak) beton pada berbagai umur beton seperti disajikan pada tabel 2.10 berikut ini.

Tabel 2. 10 Perbandingan Kekuatan Beton Berbagai umur

Umur Beton (Hari)	3	7	14	21	28	90	385
Semen Portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,120

Sumber: PBI, 1971

2. Faktor air semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dengan berat semen di dalam campuran beton. Nilai fas umumnya berkisar 0,4 sampai 0,6. Semakin tinggi nilai fas menunjukkan adukan beton semakin encer dan nilai kuat tekan semakin menurun.

3. Kepadatan

Kuat tekan beton akan berkurang apabila kepadatan beton berkurang. Beton yang kurang padat berarti berisi rongga – rongga udara sehingga kuat tekannya menjadi rendah.

4. Jumlah pasta semen

Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butiran agregat. Pasta semen akan berfungsi secara maksimal jika seluruh pori antar butiran agregat terisi penuh dengan pasta semen dan seluruh permukaan agregat terselimuti pasta semen.

5. Jenis semen

Semen Portland untuk campuran beton terdiri dari beberapa tipe, misalnya cepat mengeras dan sebagainya sehingga mempengaruhi terhadap kuat tekan betonnya.

6. Sifat agregat

Sifat agregat yang mempengaruhi kuat tekan beton di antaranya kekasaran permukaan, bentuk agregat, dan kuat tekan agregat.

2.9.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Metode ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dirawat di laboratorium maupun di lapangan. Pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 1974:2011 sebagai berikut. Peralatan yang digunakan antara lain:

1. *Compression Testing Machine* (CTM).
2. Timbangan.

Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut.

1. Ambil benda uji dari bak perendam lalu bersihkan dengan kain lembab.
2. Benda uji diukur dan ditimbang.
3. Letakkan benda uji pada mesin kuat tekan secara sentris, setelah itu mesin uji dinyalakan.
4. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur, catat beban maksimum yang diterima benda uji selama pembebanan, tipe kehancuran, dan kondisi visual benda uji.
5. Benda uji silinder
6. Kemudian hitung

2.9.3 Perhitungan Kuat Tekan Beton

Untuk menghitung kuat tekan beton dapat digunakan dengan rumus :

$$(f'c) = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (2.19)$$

Dengan:

$(f'c)$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

Faktor koreksi rasio panjang (L) dengan diameter (D) benda uji yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2. 11 Faktor koreksi rasio panjang (L) dengan diameter (D) benda uji

L/D	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Faktor	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

(Sumber: SNI-1974-2011)

Koreksi faktor di atas berlaku untuk beton ringan dengan bobot isi antara 1600 kg/m³ sampai dengan 1920 kg/m³ dan untuk beton normal. Koreksi faktor ini berlaku untuk kondisi kering atau basah saat pembebanan. Nilai yang tidak terdapat pada tabel harus ditetapkan dengan interpolasi.

2.10 Penelitian Terdahulu

2.10.1 Kamaluddin Lubis (2023)

Melakukan penelitian tentang “Pengaruh Abu Batu Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus Pada Kuat Tekan *Paving Block*”. Penelitian ini menggunakan abu batu pecah dengan persentase 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Penelitian ini bersifat eksperimental yang membuat rancang campuran *paving block* untuk mencari kuat tekan pada benda berukuran 20 x 10 x 6.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *paving block* dengan campuran abu batu pecah sebagai bahan tambah dari agregat halus, berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block* dengan nilai optimum pada varian 30% dengan nilai kuat tekan 24,74 MPa.

2.10.2 Asrullah (2020)

Asrullah dkk melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penambahan Limbah Abu Batu Terhadap Kuat Beton $f_c'20$ MPa Dengan Menggunakan Gradasi Split Berbeda”. Penelitian ini menggunakan abu batu pecah dengan persentase 0%, 1%, 2%, dan 3%. Mutu kuat tekan beton yang direncanakan pada penelitian ini adalah $f_c' 20$ MPa.

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa campuran beton dengan abu batu terhadap kuat tekan dapat menaikkan nilai kuat tekan beton pada beton normal nilai kuat tekan yang dihasilkan adalah 20,4 MPa, pada varian 1% abu batu dihasilkan 22,4 MPa, pada varian 2% abu batu dihasilkan 23,3 MPa, dan pada varian 3% abu batu dihasilkan 24,8 MPa. Pada penelitian ini belum ditemukan nilai kuat tekan optimum.

2.10.3 Mhd Almahi (2023)

Mhd Almahi dkk melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penambahan Abu Batu Terhadap Mix Design Campuran Beton K-225”. Penelitian ini menggunakan abu batu pecah dengan persentase 25%, 50%, dan 75%. Mutu kuat tekan beton yang direncanakan pada penelitian ini adalah k-225 atau memenuhi syarat dengan nilai 19,60 MPa.

Pada hasil pengujian pada penelitian ini, diketahui bahwa persentase abu batu yang optimum sebagai pengganti pasir yaitu pada variasi abu batu 50% dengan kuat tekan umur 28 hari sebesar 19,60 MPa. Oleh karena itu beton dengan variasi abu batu 50% dapat digunakan sebagai pengganti pasir karena kuat tekan yang dihasilkan memenuhi syarat mutu K-225.

Tabel 2. 12 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	Kamaluddin Lubis, Afrizal Naumar, Eko Prayitno (2023)	Pengaruh Abu Batu Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus Pada Kuat Tekan Paving Block	- Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (abu batu) - Tinjauan analisis (kuat tekan)	- Substitusi material (agregat halus dan semen) - Benda uji (beton) - Persentase substitusi agregat halus (0%, 5%, 10%, 20%) - Persentase substitusi agregat halus (0%, 20%, 40%, 60%)

No	Peneliti	Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan
2	Asrullah, Cecep Irwansyah, Mupli (2020)	Pengaruh Penambahan Limbah Abu Batu Terhadap Kuat Beton Fc'20 MPa Dengan Menggunakan Gradasi Split Berbeda	• Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (abu batu) • Tinjauan analisis (kuat tekan) • Mutu beton f'c 20 MPa	• Substitusi material (agregat halus dan semen) • Persentase substitusi semen (0%, 5%, 10%, 20%) • Persentase substitusi agregat halus (0%, 20%, 40%, 60%)
3	Mhd Almahi, Yelfidar, Syaiful Hendri Rawi (2023)	Pengaruh Penambahan Abu Batu Terhadap Mix Design Campuran Beton K-225	• Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (abu batu) • Tinjauan analisis (kuat tekan)	• Substitusi material (agregat halus dan semen) • Persentase substitusi agregat halus (0%, 5%, 10%, 20%) • Persentase substitusi semen (0%, 20%, 40%, 60%).