

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

2.1.1 Definisi Beton

Beton (*concrete*) merupakan campuran semen portland atau semen hidraulis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 2847-2019). Beton merupakan material konstruksi yang umum digunakan dalam berbagai proyek bangunan dan infrastruktur. Sifat-sifat beton terlebih dahulu direncanakan dan diawasi pemilihan material penyusunnya, sehingga didapatkan rasio yang tepat.

Beton mengeras melalui proses hidrasi antara air dan semen, sehingga menghasilkan senyawa kalsium silika hidrat yang membentuk pasta. Ketika pasta semen dan agregat halus digabungkan hasilnya akan menjadi mortar. Apabila mortar dan agregat kasar digabungkan maka tercipta campuran beton baru (Lase & Gulo, 2024). Kualitas material penyusun beton menentukan kualitas beton, karena beton yang memiliki kualitas baik, setiap butir agregatnya terbungkus seluruhnya oleh mortar. Penambahan material lain pada penyusun beton akan membedakan jenis beton.

2.1.2 Klasifikasi Beton

Beton diklasifikasikan berdasarkan sejumlah kriteria utama, seperti berat jenis, kelas dan mutu beton. Klasifikasi ini membantu dalam menentukan jenis beton yang sesuai dengan kebutuhan spesifik suatu proyek konstruksi. Adapun klasifikasi beton berdasarkan kriteria tersebut, yaitu:

2.1.2.1 Berdasarkan Berat Jenisnya

Beton jenis ini diklasifikasikan berdasarkan massa jenis material penyusunnya, terutama agregat yang digunakan dalam campuran. Pemilihan jenis beton berdasarkan berat jenis tergantung pada kebutuhan struktural, tingkat ketahanan terhadap kondisi lingkungan, beban yang akan diterima serta karakteristik lainnya yang diperlukan struktur.

Menurut Irianto et al. (2023), berdasarkan berat jenisnya beton dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu:

1. Beton berat merupakan beton yang menggunakan agregat khusus atau agregat tambahan berat yang memberikan densitas tinggi pada beton. Beton ini digunakan untuk struktur yang memerlukan massa lebih tinggi seperti untuk penghalang radiasi seperti di rumah sakit atau struktur lain yang memerlukan massa beton lebih tinggi. Beton jenis ini mempunyai berat jenis lebih besar dari 2500 kg/m^3 .
2. Beton normal merupakan jenis beton yang paling umum dan banyak digunakan dalam konstruksi. Beton ini menggunakan agregat alami seperti pasir dan kerikil sebagai material penyusunnya. Beton jenis ini memiliki berat jenis antara 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 dan normalnya diambil nilai sebesar 2400 kg/m^3 ; dan
3. Beton ringan merupakan jenis beton yang menggunakan agregat ringan atau agregat tambahan yang ringan yang membentuk gelembung udara didalamnya untuk mengurangi berat beton. Beton jenis ini memiliki daya insulasi yang lebih baik dibandingkan beton normal, sehingga cocok digunakan untuk dinding non-struktural, konstruksi blok berupa bata atau material pengisi. Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari 1900 kg/m^3 dan normalnya antara 1400 kg/m^3 sampai 1800 kg/m^3 .

2.1.2.2 Berdasarkan Mutu Beton

Beton dikelompokkan ke dalam beberapa kategori berdasarkan kemampuan beton untuk menahan tekanan yang diberikan. Beton dengan mutu tinggi digunakan untuk struktur yang lebih berat dan lebih kompleks, sedangkan beton dengan mutu yang lebih rendah digunakan untuk pekerjaan yang lebih ringan atau non-struktural.

Berdasarkan SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung pengelompokan mutu beton dibagi menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu:

1. Beton mutu tinggi merupakan beton untuk pekerjaan struktural dimana yang dipakai adalah mutu beton dengan kuat tekan yang karakteristiknya di atas 35 MPa. Pada pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga ahli. Digunakan untuk struktur khusus seperti jembatan, gedung tinggi, prategang, bendungan, atau elemen yang menahan beban besar dan lingkungan ekstrem;
2. Beton mutu sedang merupakan beton untuk pekerjaan struktural secara umum yang dalam pelaksanaannya diperlukan keahlian yang cukup dan dilakukan di bawah pimpinan tenaga ahli dengan kuat tekan yang karakteristiknya 20 MPa sampai 35 MPa. Digunakan untuk gedung bertingkat rendah-menengah, kolom, balok, pelat lantai, dan pondasi biasa. Ini adalah kategori mutu normal yang paling sering dipakai; dan
3. Beton mutu rendah merupakan beton yang karakteristiknya di bawah 20 MPa yang dalam pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Digunakan untuk elemen non-struktural seperti lantai kerja, atau pondasi dangkal sederhana dan tidak disarankan untuk struktur utama.

Adapun pengelompokkan mutu minimum beton struktural dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Mutu Minimum Beton Struktural

Jenis Elemen Struktur	f'_c (MPa)	σ'_{bk} (kg/cm ²)	Keterangan
Beton bertulang biasa	17	K200	Mutu minimum beton untuk elemen struktural seperti <i>sloof</i> , kolom rumah 1 lantai, atau pelat lantai sederhana.
Beton prategang	28	K325	Digunakan pada elemen prategang (balok, girder, dan slab pracetak) yang membutuhkan kekuatan awal tinggi.
Beton terekspos lingkungan agresif	$\geq 25 - 30$	K300 – K350	Diperlukan mutu lebih tinggi untuk ketahanan terhadap korosi dan serangan kimia. Nilai tergantung tingkat agresivitas lingkungan.

Sumber: SNI 2847-2019

2.1.3 Karakteristik Beton

Beton merupakan material yang memiliki karakteristik khusus sesuai tahap penggunaannya. Karakteristik beton merujuk pada sifat-sifat atau ciri fisik yang dimiliki oleh beton yang mempengaruhi kualitas dan kinerjanya dalam aplikasi konstruksi, baik pada saat beton masih dalam keadaan segar maupun setelah mengalami proses pengerasan.

Beton yang baik harus memenuhi 3 (tiga) syarat yaitu:

1. Memiliki bahan pengisi yang baik, yaitu dengan kekerasan butiran agregat yang baik dan gradasi agregat yang beragam;
2. Memiliki bahan perekat yang baik, yaitu dengan kualitas dan kuantitas semen yang baik serta jumlah air yang digunakan sesuai dengan kebutuhan semen; dan
3. Memiliki lekatan antara matriks dan agregat yang baik. Hal ini dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan kebersihan permukaan material alam.

Menurut Ahmad et al. (2017), secara rinci sifat beton terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu sifat beton dalam keadaan segar dan sifat beton dalam keadaan mengeras. Pada keadaan segar, yaitu sesaat setelah proses pencampuran, beton harus mudah dikerjakan dan ditempatkan. Sementara itu, dalam keadaan mengeras, beton harus mampu menerima beban tekan serta tahan terhadap pengaruh lingkungan yang dapat menyebabkan kerusakan.

2.1.3.1 Sifat Beton dalam Keadaan Segar

Sifat beton dalam keadaan segar merupakan karakteristik fisik dan mekanik beton sesaat setelah proses pencampuran, sebelum mengalami pengerasan. Pada tahap ini terdapat beberapa sifat utama yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Kemudahan pengerjaan (*workability*), merupakan kemampuan beton untuk dicampur, dipadatkan, dan dibentuk tanpa kehilangan kualitasnya. Beton dengan kandungan air yang cukup cenderung lebih mudah dikerjakan, namun tetap harus membentuk massa yang homogen. Kemudahan pengerjaan beton dapat dilihat dari nilai *slump* yang mencerminkan tingkat keplastisan adukan;

2. Pemisahan air (*bleeding*), merupakan kecenderungan air dari adukan beton keluar ke permukaan setelah proses pencampuran, akibat proporsi air berlebih atau pemadatan kurang optimal. Fenomena ini terjadi karena pengaruh gravitasi, di mana air naik ke permukaan dan partikel padat turun ke dasar melalui proses sedimentasi spesifik. Air yang terjebak membentuk kantong di antara agregat dan pasta semen, yang setelah beton mengeras dan mengering, menjadi titik lemah dan rentan retak akibat tekanan; dan
3. Pemisahan agregat (*segregasi*), merupakan kecenderungan butir-butir kasar terlepas dari campuran beton segar akibat penggunaan air berlebih, perbedaan gradasi agregat, dan campuran dengan jumlah semen yang minim sehingga pengikatnya tidak optimal. Tingkat segregasi beton yang tinggi menyebabkan ketidaksempurnaan konstruksi beton, seperti keropos, lapisan lemah dan berpori, serta permukaan yang bersisik dan tidak merata.

2.1.3.2 Sifat Beton dalam Keadaan Keras

Sifat beton dalam keadaan keras merupakan performa beton setelah proses hidrasi dan pengerasan selesai. Beton yang telah mengeras harus mampu menahan beban tekan, lentur, dan geser sesuai dengan fungsi strukturalnya. Pada tahap ini terdapat beberapa sifat utama yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Kekuatan (*strength*), merupakan kemampuan beton untuk menahan tekanan atau beban yang diberikan tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan, dengan nilai kuat tekan sebagai indikator utama. Kekuatan ini dipengaruhi oleh rasio air-semen, kepadatan campuran, serta sifat bahan penyusun seperti semen, agregat, dan proporsi campuran. Beton dengan rasio air-semen rendah namun cukup untuk hidrasi sempurna akan menghasilkan kekuatan optimal. Meskipun beton memiliki kuat tekan tinggi, beton lemah terhadap gaya tarik, sehingga perlu diperhitungkan dalam penggunaannya.
2. Penyusutan (*shrinkage*), merupakan perubahan volume beton yang terjadi akibat proses pengikatan dan pengerasan, di mana panas hidrasi menyebabkan pemuaian sementara. Setelah suhu menurun, beton mengalami penyusutan yang dapat menimbulkan retak rambut. Beton yang telah mengeras tetap dapat memuai dan menyusut tanpa merusak struktur, namun perlu disediakan

sambungan untuk mengakomodasi perubahan tersebut. Penyusutan juga dipengaruhi oleh kekeringan dan perubahan kadar air dalam beton.

3. Kekedapan air (*permeability*), merupakan kemampuan beton untuk menahan masuknya pergerakan air atau zat cair lainnya melalui pori-pori atau celah dalam strukturnya. Beton dengan tingkat permeabilitas rendah memiliki struktur yang lebih padat dan sedikit rongga, sehingga lebih tahan terhadap infiltrasi air atau bahan kimia sehingga dapat meningkatkan durabilitas beton, mencegah korosi pada baja tulangan, dan memperpanjang umur layanan struktur.
4. Sifat tahan lama (*durability*), merupakan kemampuan beton untuk mempertahankan kekuatan, bentuk, dan fungsi dalam jangka panjang meskipun terpapar kondisi lingkungan yang merusak, seperti suhu ekstrem, zat kimia, dan erosi. Kerusakan dapat berupa perubahan visual seperti warna dan tekstur, atau mekanis seperti penurunan kekuatan tekan. Lingkungan agresif seperti air laut, limbah industri, dan arus air yang cepat dapat mengikis permukaan beton, melepaskan agregat dari pasta semen, dan menurunkan kualitas serta keawetan beton secara keseluruhan.

2.1.4 Keunggulan dan Kelemahan Beton

Beton merupakan salah satu material konstruksi paling umum dan penting yang digunakan secara luas dalam berbagai jenis bangunan dan infrastruktur. Material ini memiliki sejumlah keunggulan dan kelemahan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi. Menurut Mulyono (2015), beton memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan, di antaranya:

2.1.4.1 Keunggulan Beton

Beton banyak digunakan dalam konstruksi karena memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya material pilihan utama, di antaranya:

1. Beton mudah diangkut dan dicetak dalam berbagai bentuk dan ukuran, sehingga dapat mengikuti desain arsitektur yang rumit dan memberikan kebebasan dalam perencanaan desain bangunan;
2. Ketersediaan material penyusun beton relatif mudah didapat, sehingga biaya pembuatan relatif lebih ekonomis;

3. Beton memiliki kuat tekan yang cukup tinggi, sehingga apabila dikombinasikan dengan baja tulangan dapat dikatakan mampu menopang struktur dengan beban berat;
4. Beton memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi, dibandingkan dengan bahan lainnya seperti kayu atau baja. Beton lebih tahan terhadap api dan tidak mudah terbakar, sehingga memberikan tingkat keselamatan yang cukup tinggi pada bangunan; dan
5. Beton termasuk bahan yang awet, tahan aus, dan tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan asalkan tidak terpapar langsung oleh kondisi yang ekstrem dan bahan kimia yang dapat merusak strukturnya, sehingga biaya perawatan cenderung minim.

2.1.4.2 Kelemahan Beton

Beton memiliki beberapa kelemahan yang bersifat struktural maupun fungsional, yaitu:

1. Beton memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu, beton perlu penambahan baja untuk meningkatkan kuat tarik;
2. Beton memiliki massa yang sangat berat, sehingga memerlukan pondasi yang kuat untuk menopang beban yang besar;
3. Beton mempunyai beberapa kelas kekuatan, sehingga perencanaan harus disesuaikan dengan bagian bangunan yang akan dibuat dan cara pelaksanaannya bermacam-macam;
4. Beton memiliki kelemahan dalam hal daur ulang, karena setelah beton digunakan dalam struktur akan sangat sulit untuk dipisahkan terutama dalam skala besar. Walaupun bisa didaur ulang, proses ini memerlukan teknologi yang lebih canggih dan mahal; dan
5. Kualitas beton tergantung pada cara pelaksanaannya di lapangan. Keberhasilan dalam mencapai kualitas yang diinginkan bukan hanya ditentukan oleh spesifikasi yang tepat tapi juga proses produksi dan pelaksanaan di lapangan.

2.1.5 Material Penyusun Beton

Material penyusun beton merupakan campuran dari beberapa bahan konstruksi yang saling bekerja sama untuk membentuk suatu material yang kuat

dan tahan lama. Untuk menghasilkan beton yang berkualitas, material penyusun beton seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambah (*admixture*) jika diperlukan, harus melalui tahap penelitian, seperti memilih bahan yang baik, perhitungan proporsi yang tepat, dan cara pengerjaan serta perawatan yang baik.

2.1.5.1 Semen

Semen merupakan jenis material yang memiliki sifat adhesi dan kohesi. Sifat adhesi adalah kemampuan untuk melekat atau menempel pada permukaan benda lain seperti agregat sehingga menciptakan ikatan yang kuat antar bagian-bagian tersebut setelah proses pengeringan. Sedangkan sifat kohesi adalah kemampuan untuk saling menarik partikel semen itu sendiri sehingga membentuk struktur yang padat dan keras setelah proses pengerasan.

Secara umum, semen dapat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu:

1. Semen hidraulis, merupakan semen yang mengeras apabila bereaksi dengan air dan stabil dalam air setelah mengeras. Semen jenis ini merupakan salah satu semen yang paling umum digunakan dalam dunia konstruksi karena memiliki kemampuan untuk mengeras dalam berbagai kondisi lingkungan, contohnya adalah semen portland; dan
2. Semen non hidraulis, merupakan semen yang dapat mengeras tetapi tidak stabil dalam air tetapi perlu udara untuk dapat mengeras. Semen jenis ini jarang digunakan karena keterbatasan penggunaan yang biasanya digunakan untuk konstruksi dalam kondisi kering, contohnya adalah semen kapur.

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

Semen dibagi menjadi beberapa jenis dan penggunaan, yaitu:

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

2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang;
3. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi;
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah; dan
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Semen terdiri dari beberapa unsur kimia utama, yaitu Kapur (CaO) yang berkontribusi terhadap pembentukan senyawa Trikalسيوم Silikat (C_3S) dan Dikalسيوم Silikat (C_2S) yang berperan dalam memberikan kekuatan awal dan jangka panjang beton, Silika (SiO_2) berfungsi sebagai komponen pembentuk silikat, sedangkan Alumina (Al_2O_3) dan Besi (Fe_2O_3) membentuk Trikalسيوم Aluminat (C_3A) dan Tetrakalسيوم Aluminoforit (C_4AF) yang memengaruhi waktu ikat dan warna semen. Selain itu, Magnesia (MgO) dan Sulfur (SO_3) serta alkali seperti Natrium (Na_2O) dan Kalium (K_2O) hadir dalam jumlah kecil namun signifikan, karena dapat memengaruhi kestabilan dimensi dan potensi terjadinya reaksi alkali-agregat.

2.1.5.2 Air

Air sebagai material penyusun beton berperan penting dalam memicu terjadinya reaksi hidrasi semen, memberikan kelembaban antara butir-butir agregat, dan memberikan kemudahan dalam proses pembuatan beton. Namun, proporsi penggunaan air dalam campuran beton perlu diperhatikan. Proporsi air yang terlalu banyak menyebabkan ikatan antar partikel renggang, sehingga muncul gelembung-gelembung udara setelah proses hidrasi selesai yang menyebabkan retak dan berkurangnya kuat tekan beton. Sedangkan, apabila proporsi air yang digunakan terlalu sedikit maka proses hidrasi antara semen dan air menjadi terhambat sehingga sulit dalam proses pengerjaannya dan melemahkan beton. Air yang digunakan untuk mencampur material penyusun beton bisa dari berbagai sumber, seperti air sungai, danau, kolam, dan lainnya selama memenuhi persyaratan kualitas tertentu.

Berdasarkan SNI 03-6861.1-2002, terdapat beberapa persyaratan air untuk campuran beton, yaitu:

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual;
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter;
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik, dan lain-lain);
4. Kandungan klorida (Cl) < 0.50 gram/liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO_3 ;
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%; dan

Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat di atas air mengandung klorida lebih dari 0.05 gram/liter.

2.1.5.3 Agregat

Agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis (SNI 2847-2019). Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya berkisar 60% sampai 70% dari berat campuran beton, sehingga sangat berpengaruh terhadap kualitas beton.

Agregat merupakan butiran material alami yang tidak hanya berperan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton, tetapi juga berperan penting terhadap sifat-sifat beton. Sifat yang paling penting dari suatu agregat adalah kuat dan tahan terhadap benturan serta tahan terhadap penyusutan. Beberapa sifat fisik dari beton yang dipengaruhi oleh sifat agregat adalah kalor jenis, kepadatan campuran, dan modulus elastisitas.

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, agregat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kategori berdasarkan gradasinya, yaitu:

1. Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai

ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat halus yang digunakan dalam konstruksi harus memenuhi standar kualitas tertentu seperti tidak mengandung zat organik lebih dari 0,5%, tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, dan tidak hancur akibat dari pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan. Penggunaan agregat halus dalam campuran beton harus dengan proporsi yang tepat. Terlalu banyak pasir yang digunakan menyebabkan beton menjadi lebih kental dan membutuhkan lebih banyak air. Sedangkan penggunaan pasir terlalu sedikit menyebabkan beton mengalami segregasi.

2. Agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Biasanya, agregat kasar dapat diperoleh dari berbagai sumber material, seperti batu gunung, batu sungai, atau hasil sampingan dari kegiatan penambangan. Penggunaan agregat sebagai material penyusun beton berfungsi untuk mengisi rongga-rongga pada beton. Akan tetapi, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pemilihannya, yaitu agregat harus bergradasi baik dan berukuran seragam, padat dan tidak berpori, serta tidak mengandung zat-zat yang bereaksi negatif terhadap alkali karena akan menyebabkan pembengkakan pada beton yang dapat mengarah pada retak dan kerusakan struktural.

2.1.5.4 Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan bahan berupa bubukan atau cairan, yang dibubuhkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya (SNI 7656-2012). Bahan tambah bisa berupa bahan kimia (*chemical admixtures*) atau bahan lainnya. Tujuan penggunaan bahan tambah, bergantung pada kapan ditamlehkannya yaitu pada fase segar (*fresh concrete*) atau setelah beton mengeras.

Pada beton segar, bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat beton sebelum pengerasan terjadi, yaitu mempermudah proses hidrasi, pengolahan dan penempatan beton. Sedangkan pada beton yang sudah mengeras berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan beton terhadap berbagai faktor eksternal.

Berdasarkan SNI 03-2495-1991, bahan tambah pada beton dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu:

1. Bahan tambahan tipe A, yaitu suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan;
2. Bahan tambahan tipe B, yaitu suatu bahan tambahan yang digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan beton;
3. Bahan tambahan tipe C, yaitu suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mempercepat waktu pengikatan dan menambah kekuatan awal beton;
4. Bahan tambahan tipe D, yaitu suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton;
5. Bahan tambahan tipe F, yaitu suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah diterapkan;
6. Bahan tambahan tipe E, yaitu suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah diterapkan dan juga untuk mempercepat waktu pengikatan serta menambah kekuatan awal beton; dan
7. Bahan tambahan tipe G, yaitu suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton;

2.2 Limbah Plastik

Sampah merupakan sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Peningkatan volume sampah dengan variasi yang semakin beragam disebabkan oleh pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin pesat serta pola konsumsi masyarakat terhadap produk sekali pakai. Banyak orang melihat sampah sebagai barang yang sudah tidak berguna dan harus segera dibuang, sehingga menimbulkan ancaman serius bagi lingkungan dan kesehatan. Paradigma masyarakat yang berorientasi pada pendekatan akhir dalam penanganan sampah

sudah saatnya ditinggalkan dan diganti dengan paradigma baru yaitu pengelolaan sampah.

Pengelolaan sampah adalah kegiatan sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penahanan sampah. Pengurangan sampah meliputi kegiatan pembatasan, penggunaan kembali, dan pendauran ulang, sedangkan kegiatan penanganan sampah meliputi pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir.

Berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008, sampah yang dikelola terdiri atas:



1. Sampah rumah tangga, merupakan sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
2. Sampah sejenis rumah tangga, merupakan sampah yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya.
3. Sampah spesifik, merupakan sampah yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau pengelolaan khusus meliputi:
 - a. Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun;
 - b. Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun;
 - c. Sampah yang timbul akibat bencana;
 - d. Puing bongkaran bangunan;
 - e. Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah; dan/atau
 - f. Sampah yang timbul secara tidak periodik.

Berdasarkan data dari Badan Pengendalian Lingkungan Hidup, penduduk di Kota Tasikmalaya menghasilkan sampah sekitar 121,705.09 di tahun 2024 dimana sebagian adalah sampah plastik. Plastik adalah material sintesis yang terbuat dari senyawa polimer, yaitu molekul-molekul kecil (monomer) hidrokarbon yang membentuk rantai panjang dengan struktur yang kaku dan padat setelah temperatur pembentukannya. Plastik memiliki titik didih dan titik beku yang beragam, tergantung dari monomer pembentuknya.

2.2.1 Jenis Plastik

Menurut Arwini (2022), plastik dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan sifat atau penggunaan plastik tersebut. Berikut beberapa tipe dan kode plastik yang umum ditemukan, yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis Plastik yang Umum Digunakan

No.	Jenis Plastik	
	Gambar	Keterangan
1		<p><i>Polyethylene Terephthalate (PET)</i></p> <p>Jenis plastik dengan logo segitiga bernomor 1, umum digunakan untuk botol air mineral, botol minyak, dan kemasan rumah tangga. Terbuat dari <i>Terephthalic Acid (TPA)</i> dan <i>Ethylene Glicol (EG)</i> yang dirancang untuk penggunaan sekali pakai. Penggunaan berulang dapat memicu pelepasan zat karsinogenik yang meningkatkan risiko pertumbuhan bakteri dan mengakibatkan kanker. PET memiliki sifat ringan, kuat, transparan, tahan air, dan permeabilitas terhadap gas.</p>
2		<p><i>High Density Polyethylene (HDPE)</i></p> <p>Jenis plastik dengan logo segitiga bernomor 2, umum digunakan untuk kemasan tidak tembus pandang seperti botol shampo, botol detergen, dan kantong sampah. Terbuat dari monomer etilena (C_2H_4) yaitu senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari minyak bumi atau gas alam yang direkomendasikan untuk penggunaan sekali pakai. Penggunaan terus menerus tidak disarankan karena plastik jenis ini melepaskan senyawa antimoni trioksida secara terus menerus. HDPE tahan terhadap benturan, tekanan, sinar UV, serta bahan kimia seperti asam dan alkali.</p>

No.	Jenis Plastik	
	Gambar	Keterangan
3	<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	
		Jenis plastik dengan logo segitiga bernomor 3, umum digunakan untuk pipa air, kabel listrik, dan mainan anak. Terbuat dari monomer <i>chloroethene</i> hasil kombinasi etilena dari minyak bumi dan klorin dari garam (NaCl). PVC sukar didaur ulang dan berpotensi berbahaya karena mudah lumer saat terkena panas dan minyak, sehingga penggunaannya sebagai bahan mainan anak telah dilarang di beberapa negara di Eropa.
4	<i>Low Density Polyethylene (LPDE)</i>	
		Jenis plastik dengan logo segitiga bernomor 4, umum digunakan untuk kantong plastik, tas belanja, dan kemasan makanan ringan. Terbuat dari monomer etilena (C_2H_4) dengan struktur yang lebih longgar dan fleksibel dibandingkan HDPE. LPDE mudah didaur ulang dan baik digunakan untuk barang-barang dengan kemasan yang fleksibel tetapi kuat.
5	<i>Polypropylene (PP)</i>	
		Jenis plastik dengan logo segitiga bernomor 5, yang mudah dibentuk dan sering digunakan untuk berbagai produk mulai dari kemasan makanan seperti yoghurt, margarin, saus, botol obat-obatan hingga komponen otomotif. PP terbuat dari monomer propilena (C_3H_6) yang diproses menggunakan katalis dalam kondisi suhu dan tekanan tertentu. Plastik jenis ini merupakan plastik paling aman untuk yang berhubungan dengan makanan dan minuman.

No.	Jenis Plastik	
	Gambar	Keterangan
6	<i>Polystyrene (PS)</i>	
		Jenis plastik dengan logo segitiga bernomor 6, penggunaan sekali pakai dengan contoh paling akrab yaitu sterofoam. PS terbuat dari monomer styrene (C_8H_8) yang didapat dari hasil dehidrogenisasi etilbenzena (C_8H_{10}) dengan bantuan katalis. Plastik jenis ini memiliki sifat keras dan kaku, mempunyai sifat elektrikal atau sifat daya air yang rendah. Biasanya digunakan untuk sendok garpu plastik, cangkir kopi busa, serta beberapa komponen elektronik dan peralatan listrik.
7	<i>Other (O)</i>	
		Jenis plastik yang tidak termasuk dalam kategori di atas. Plastik jenis ini umumnya terbuat dari bahan polimer yang jarang digunakan seperti <i>polycarbonate</i> atau memiliki karakteristik khusus dan sulit untuk didaur ulang. Biasanya digunakan untuk galon air isi ulang, iPod <i>compact cases</i> , dan <i>disk</i> (CD).

2.2.2 Penggunaan Limbah Plastik Jenis PET sebagai Bahan Tambah Campuran Beton

Penggunaan limbah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam campuran beton dilakukan sebagai bahan tambah, dengan proporsi berdasarkan persentase terhadap volume agregat halus. Penambahan ini berfungsi untuk mengisi ruang antar agregat kasar, sehingga memengaruhi kepadatan dan distribusi partikel dalam campuran beton. PET dipilih karena stabil secara kimia, kuat dan tahan lama, ringan dan mudah diolah, dapat mengurangi dampak lingkungan, serta sifat fisik PET lebih seragam dibanding plastik lain. Plastik PET memiliki massa jenis sekitar 1,35 – 1,38 gram/cc, sehingga membuatnya kokoh (Zulham et al., 2022). Contoh plastik jenis PET adalah seperti pada Gambar 2.1 (Azis, 2020).



Gambar 2.1 Contoh Plastik Jenis PET

Beberapa aspek yang perlu diperhatikan terkait sifat mekanik dan fungsional dari beton dengan campuran plastik PET, yaitu:

1. Berat jenis plastik PET yang lebih ringan dibandingkan dengan agregat halus biasa seperti pasir, dapat mengurangi berat jenis beton secara keseluruhan. Sehingga beton menjadi lebih ringan dan membutuhkan pengurangan beban;
2. Penggunaan plastik PET sebagai bahan tambah dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Sehingga diperlukan proporsi yang tepat agar tidak terjadi penurunan kuat tekan beton yang signifikan; dan
3. Beton yang mengandung plastik PET memiliki titik leleh yang rendah, sehingga tahan terhadap suhu ekstrem dan tidak reaktif terhadap air atau bahan kimia, sehingga memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi.

Sebelum digunakan sebagai bahan tambah, limbah plastik PET melalui beberapa tahap pengolahan, yaitu:

1. Tahap pembersihan, limbah plastik PET dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan berbagai zat asing yang mungkin menempel pada permukaannya, seperti sisa makanan, minyak, atau bahan kimia lainnya. Proses ini dilakukan agar tidak terjadi kontaminasi dalam campuran beton yang dapat memengaruhi reaksi kimia dan kualitas beton secara keseluruhan;
2. Tahap pemotongan atau pencacahan, plastik PET yang sudah melewati tahap pembersihan kemudian dipotong atau dicacah menjadi beberapa serpihan kecil

atau partikel yang memiliki ukuran sesuai dengan agregat halus; dan

3. Tahap pengujian material, plastik PET yang telah diproses kemudian dilakukan pengujian material sesuai dengan pengujian agregat halus. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan plastik PET memenuhi standar kualitas yang diperlukan sebagai bahan tambah pada campuran beton.

2.3 Analisis Pengujian Material Penyusun Beton

2.3.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat

Analisis saringan agregat merupakan salah satu metode pengujian standar yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir dari agregat, baik itu agregat halus maupun agregat kasar. Pengujian ini dilakukan dengan cara menyaring agregat melalui serangkaian ayakan dengan ukuran lubang yang berbeda, mulai dari yang paling besar hingga yang paling kecil. Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI ASTM C136-2012. Standar ini bertujuan untuk mengetahui proporsi partikel yang terdapat dalam agregat halus berdasarkan ukuran-ukuran tertentu, sehingga data yang didapat berguna khususnya yang terkait dengan porositas dan pengepakan (*porosity and packing*).

Metode uji analisis saringan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk analisis saringan agregat, yaitu:

- a. Timbangan;
- b. Saringan;
- c. Oven; dan
- d. Pengguncang saringan mekanis.

2. Benda uji

- a. Agregat halus dengan jumlah contoh uji setelah kering minimum 300 g.
- b. Agregat kasar dengan jumlah contoh uji minimum disesuaikan seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Berat Minimum Contoh Uji Agregat Kasar

No.	Berat Nominal Maksimum Bukaannya Saringan		Massa Minimum Contoh Uji	
	mm	inci	kg	lb
1	9,5	3/8	1	2
2	12,5	1/2	2	4
3	19,0	3/4	5	11
4	25,0	1	10	22
5	37,5	1 1/2	15	33
6	50,0	2	20	44
7	63,0	2 1/2	35	77
8	75,0	3	60	130
9	90,0	3 1/2	100	220
10	100,0	4	150	330
11	125,0	5	300	660

Sumber: SNI ASTM C136-2012

3. Prosedur pengujian

Prosedur pelaksanaan pengujian analisis saringan agregat halus adalah sebagai berikut:

- Keringkan contoh uji sampai massa tetap pada temperatur 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F);
- Pilih saringan berdasarkan urutan bukaan lebih besar ditempatkan di bagian atas dan menempatkan contoh uji di bagian atas saringan. Saringan diguncangkan dengan cara manual atau menggunakan peralatan mekanis dengan waktu yang cukup;
- Jumlah contoh uji pada saringan dibatasi sehingga semua butiran mempunyai kesempatan untuk mencapai bukaan saringan selama waktu pelaksanaan penyaringan. Jumlah contoh uji yang tertahan pada saringan ditunjukkan pada Tabel 2.4 untuk lima tipe ukuran bingkai saringan yang umum digunakan;

Tabel 2.4 Jumlah Contoh Uji Maksimum yang Diizinkan Tertahan pada Saringan (kg)

Bukaan Saringan	Dimensi Nominal Saringan				
	203,2 mm	254 mm	304,8 mm	(350 x 350) mm	(3,72 x 580) mm
	Luas Bidang Penyaringan (m ²)				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125,00					67,4
100,00				30,6	53,9
90,00			15,1	27,6	48,5
75,00		8,60	12,6	23,0	40,5
63,00		7,20	10,6	19,3	34,0
50,00	3,60	5,70	8,4	15,3	27,0
37,50	2,70	4,30	6,3	11,5	20,2
25,00	1,80	2,90	4,2	7,7	13,5
19,00	1,40	2,20	3,2	5,8	10,2
12,50	0,89	1,40	2,1	3,8	6,7
9,50	0,67	1,10	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,8	1,5	2,6
Perhitungan jumlah contoh uji maksimum yang diijinkan tertahan pada saringan diperhitungkan dengan 2,5 x (bukaan saringan (mm) x (luas efektif bidang saringan (m ²))) dalam satuan kg.					

Sumber: SNI ASTM C136-2012

- d. Lanjutkan penyaringan dengan waktu secukupnya sehingga setelah selesai tidak lebih dari 1% massa total contoh uji yang tertahan pada setiap saringan selama 1 menit. Kemudian pegang setiap saringan dengan posisi agak miring lalu ketuk sisi dari saringan dengan kecepatan sekitar 150 kali per menit, dan putar saringan sekitar 1/6 putaran pada setiap interval sekitar 25 kali. Untuk ukuran saringan lebih besar dari 4,75 mm (No.4), batasi contoh uji pada saringan dalam satu lapisan partikel. Jika ukuran susunan saringan penguji membuat gerakan penyaringan tidak praktis, gunakan saringan dengan diameter 203 mm (8 inci) untuk memverifikasi penyaringan yang memadai;
- e. Untuk campuran agregat kasar dan agregat halus, bagian contoh uji yang lebih halus dari saringan 4,75 mm (No.4) dapat didistribusikan menjadi

dua atau lebih susunan saringan-saringan untuk mencegah muatan berlebih pada setiap saringan. Untuk jumlah bagian yang lebih halus dari saringan 4,75 mm (No. 4) dapat dikurangi dengan menggunakan pemisah contoh uji mekanis;

- f. Untuk partikel yang lebih besar dari 75 mm (3 inci) dapat dilakukan penyaringan tangan, dengan menentukan bukaan saringan terkecil sampai setiap partikel bisa lolos;
- g. Tentukan massa contoh uji tertahan pada setiap saringan menggunakan timbangan dengan ketelitian 0.1% dari jumlah total contoh uji kering. Massa total contoh uji setelah penyaringan harus mendekati massa awal dari contoh uji yang ditempatkan pada saringan. Jika perbedaan lebih dari 0,3% massa awal contoh uji kering, hasilnya tidak boleh digunakan untuk syarat penerimaan; dan
- h. Jika contoh uji sebelumnya telah diuji dengan Metode Uji C117, tambahkan massa lolos saringan 75 μ m (No. 200) sesuai dengan metode tersebut kepada massa yang lolos saringan 75 μ m (No. 200) dengan penyaringan kering dari contoh uji yang sama pada metode ini.

4. Perhitungan

Massa setiap ukuran dari contoh uji awal dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1).

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (2.1)$$

Keterangan:

- A = Massa setiap ukuran pada jumlah contoh uji total
- W_1 = Massa setiap fraksi yang lolos saringan 4,75 mm (No. 4)
- W_2 = Massa bagian yang berkurang pada contoh uji lolos saringan 4,75 mm (No. 4) yang disaring
- B = Jumlah massa agregat halus dari agregat gabungan

2.3.2 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 4804-1998. Standar ini menetapkan metode uji yang digunakan untuk perhitungan berat isi

dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Berat isi agregat adalah berat persatuan isi, sedangkan rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat.

Metode uji berat isi dan rongga udara dalam agregat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat, yaitu:

- a. Timbangan;
- b. Batang penusuk;
- c. Alat penakar berbentuk silinder terbuat dari logam atau bahan kedap air dengan ujung dan dasar yang rata, kapasitas penakar sesuai dengan Tabel 2.5;

Tabel 2.5 Kapasitas Penakar untuk Berbagai Ukuran Agregat

No.	Ukuran Besar Beton Nominal Agregat (mm)	Kapasitas Maksimum Penakar (liter)
1	12,5	2,8
2	25,0	9,3
3	37,5	14,0
4	75,0	28,0
5	112,0	70,0
6	150,0	100,0

Sumber: SNI 4804-1998

- d. Sekop; dan
 - e. Peralatan kalibrasi berupa plat gelas dengan tebal minimum 6 mm dan paling sedikit 25 mm lebih besar daripada diameter takaran yang dikalibrasi.
2. Benda uji
- a. Agregat halus kering oven atau kering permukaan
 - b. Agregat kering oven atau kering permukaan
3. Prosedur pengujian

Prosedur pelaksanaan pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat adalah sebagai berikut:

a. Kondisi padat

1) Cara tusuk

- a) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata;
- b) tusuk lapisan agregat dengan 25 kali tusukan batang penusuk;
- c) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk seperti diatas;
- d) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi;
- e) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata;
- f) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri;
- g) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg;
- h) Hitung berat isi agregat dan kadar rongga udara.

2) Cara ketuk

- a) Isi agregat dalam penakar dalam tiga tahap sesuai ketentuan;
- b) Padatkan untuk setiap lapisan dengan cara mengetuk-ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50 kali;
- c) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata sampai rata;
- d) Tentukan berat penakar dan isinya; dan
- e) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat.

b. Kondisi gembur

- 1) Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat;
- 2) Ratakan permukaan dengan batang perata;
- 3) Tentukan berat penakar dan isinya, dan berat penakar sendiri;
- 4) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg; dan
- 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat.

4. Perhitungan

- a. Berat isi agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{(G - T)}{V} \text{ atau } M = (G - T) \times F \quad (2.2)$$

- b. Berat isi agregat dalam keadaan kering permukaan

$$M_{SSD} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right] \quad (2.3)$$

Keterangan:

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m³)

M_{SSD} = Berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m³)

G = Berat agregat dalam penakar (kg)

T = Berat penakar (kg)

V = Volume penakar (m³)

F = Faktor penakar (m³)

A = Absorpsi (%)

2.3.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air bertujuan untuk menentukan sifat fisik dan kualitas agregat sebagai material penyusun beton. Berat jenis merupakan perbandingan massa suatu bahan dengan massa air pada isi dan temperatur yang sama, sedangkan penyerapan air merupakan penambahan berat agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori, tetapi tidak termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya. Agregat dinyatakan kering ketika telah dipertahankan pada temperatur (110±5) °C dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan air yang ada (sampai berat tetap).

Berat jenis agregat dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan kondisi fisik agregat saat pengujian, yaitu berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, dan berat jenis semu. Berat jenis curah merupakan perbandingan antara berat agregat di udara mencakup rongga dalam partikel tetapi tidak termasuk rongga antar butir partikel, berat jenis jenuh kering permukaan merupakan perbandingan antara

berat agregat di udara setelah perendaman selama 15 - 19 jam termasuk air dalam rongga (tidak termasuk rongga antar butir partikel), dan berat jenis semu merupakan perbandingan antara berat agregat di udara yang tidak menyerap air.

2.1.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 1970-2016. Standar ini menetapkan metode uji yang digunakan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air setelah perendaman selama 15 jam sampai dengan 19 jam di dalam air.

Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk menghitung berat jenis dan penyerapan air, yaitu:

- a. Timbangan;
- b. Piknometer;
- c. Cetakan kerucut;
- d. Batang penumbuk;
- e. Oven;
- f. Alat pengukur temperatur; dan
- g. Alat bantu lain seperti, pompa vakum atau alat pemanas, ayakan, talam, dan bejana tempat air.

2. Benda uji

Agregat halus dengan jumlah contoh uji sekitar 1 kg.

3. Prosedur pengujian

Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan kira-kira 1 kg agregat halus, kemudian keringkan dalam oven dengan temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap. Biarkan benda uji mendingin, kemudian basahi dengan air atau rendam agregat ke dalam air selama 15 jam sampai dengan 19 jam;

- b. Buang air bekas rendaman lalu keringkan dengan menebarkan benda uji di atas permukaan terbuka yang rata dan tidak menyerap air, beri aliran udara yang hangat kemudian aduk atau bolak-balik benda uji untuk mencapai kondisi jenuh kering permukaan;
- c. Lakukan pengujian kerucut untuk memeriksa kelembaban dengan cara masukkan sebagian agregat halus yang sedang diperiksa ke dalam kerucut sampai penuh dan meluber. Kemudian padatkan secara perlahan dan merata dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali. Apabila pada saat cetakan diangkat dan pasir tersebut runtuh sedikit demi sedikit, maka kondisi jenuh kering permukaan jenuh tercapai telah tercapai;
- d. Masukkan agregat halus dalam kondisi jenuh kering permukaan ke dalam piknometer sebanyak 500 gram lalu tambahkan air kira-kira sampai 90% kapasitas piknometer. Putar dan guncangkan piknometer dengan tanah untuk menghilangkan gelembung udara didalamnya, kemudian timbang dan catat berat piknometer yang sudah berisi agregat dan air;
- e. Keluarkan agregat halus dari dalam piknometer dan keringkan sampai berat tetap dengan cara masukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Keluarkan agregat tersebut dari oven lalu dinginkan pada suhu ruangan selama kurang lebih 1 jam, kemudian agregat tersebut ditimbang; dan
- f. Timbang berat piknometer pada saat terisi air sampai batas pembacaan yang ditentukan yaitu pada temperatur $(23 \pm 1,7)^\circ\text{C}$.

4. Perhitungan

- a. Berat jenis curah

$$S_d = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (2.4)$$

- b. Berat jenis jenuh kering permukaan

$$S_s = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (2.5)$$

- c. Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (2.6)$$

d. Penyerapan air

$$A_w = \left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan:

S_d = Berat jenis curah (g)

S_s = Berat jenis jenuh kering permukaan (g)

S_a = Berat jenis semu (g)

A_w = Penyerapan air (%)

A = Berat benda uji kering *oven* (g)

B = Berat piknometer berisi air (g)

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (g)

S = Benda uji kondisi jenuh kering permukaan (g)

2.1.2.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 1969-2016. Standar ini menetapkan metode uji yang digunakan untuk menentukan berat jenis yang dinyatakan dengan berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu, serta penyerapan air. Pengukuran berat jenis dilakukan pada volume dan temperatur yang sama untuk menentukan konsistensi hasil.

Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk menghitung berat jenis dan penyerapan air, yaitu:

- a. Timbangan;
- b. Wadah contoh uji;
- c. Wadah (tangki air);
- d. Alat penggantung (kawat); dan
- e. Ayakan.

2. Benda uji

Agregat kasar yang telah dilakukan pengujian berat isi dengan berat minimum contoh uji untuk tiap ukuran maksimum nominal agregat disesuaikan seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Berat Minimum Contoh Uji untuk Tiap Ukuran Maksimum Nominal Agregat

No.	Ukuran Maksimum Nominal		Berat Minimum dari Contoh Uji
	mm	inci	kg
1	150,00	6	125
2	125,00	5	75
3	112,00	4 ½	50
4	100,00	4	40
5	90,00	3 ½	25
6	75,00	3	18
7	63,00	2 ½	12
8	50,00	2	8
9	37,50	1 ½	5
10	25,00	1	4
11	19,00	¾	3
12	12,50	½	2
13	9,50	3/8	2
14	4,75		2

Sumber: SNI 1969-2016

3. Prosedur pengujian

Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah sebagai berikut:

- a. Keringkan contoh uji pada temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan pada temperatur ruang selama 1 s/d 3 jam untuk contoh uji dengan ukuran maksimum nominal 37,5 mm sampai agregat

cukup dingin pada temperatur (50 °C). Setelah itu rendam agregat dalam air pada temperatur ruang selama 15 s/d 19 jam;

- b. Apabila nilai-nilai penyerapan dan berat jenis yang digunakan berada pada kondisi alami, maka persyaratan untuk pengeringan awal sampai berat dihilangkan. Akan tetapi, apabila permukaan butir partikel contoh uji terjaga terus-menerus dalam kondisi basah, maka direndam selama 15 s/d 19 jam;
- c. Pindahkan contoh uji dari dalam air ke dalam lembaran penyerap air dan gulung bolak-balik kemudian keringkan air dari butiran besar di atas permukaan terbuka. Apabila contoh uji mengering melewati kondisi jenuh kering permukaan maka rendam selama 30 menit dan lakukan kembali proses pengeringan sampai mencapai kondisi jenuh kering permukaan. Setelah itu tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan;
- d. Setelah berat ditentukan, tempatkan contoh benda uji di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air yang mempunyai kerapatan $(997 \pm 2) \text{ kg/m}^3$ pada temperatur $(23 \pm 1,7) \text{ }^\circ\text{C}$. Kemudian, guncangkan wadah dalam kondisi terendam untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan pertahankan ketinggian air dalam keadaan meluap; dan
- e. Keringkan contoh benda pada temperatur $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan pada temperatur ruang selama 1 s/d 3 jam, atau sampai agregat cukup dingin pada temperatur (50 °C). Kemudian tentukan beratnya untuk proses perhitungan.

4. Perhitungan

- a. Berat jenis curah

$$S_d = \frac{A}{(B - C)} \quad (2.8)$$

- b. Berat jenis jenuh kering permukaan

$$S_s = \frac{B}{(B - C)} \quad (2.9)$$

- c. Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{(A - C)} \quad (2.10)$$

d. Penyerapan air

$$A_w = \left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

S_d = Berat jenis curah (g)

S_s = Berat jenis jenuh kering permukaan (g)

S_a = Berat jenis semu (g)

A_w = Penyerapan air (%)

A = Berat benda uji kering *oven* (g)

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

C = Berat benda uji dalam air (g)

2.3.4 Pengujian Kadar Air

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 1971-2011. Standar ini menetapkan metode uji yang digunakan untuk menentukan persentase air yang dapat menguap dari dalam, contoh agregat dengan cara pengeringan. Hasil pengujian kadar air dapat digunakan untuk pekerjaan perencanaan campuran dan pengendalian mutu terhadap beton.

Metode uji kadar air total agregat dengan pengeringan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk menghitung berat jenis dan penyerapan air, yaitu:

- a. Timbangan;
- b. Pemanas;
- c. Wadah benda uji; dan
- d. Pengaduk.

2. Benda uji

- a. Agregat halus
- b. Agregat kasar

Pengambilan berat minimum contoh uji sesuai dengan Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Massa Minimum Benda Uji

No.	Ukuran Nominal Maksimum Agregat		Massa Minimum Benda Uji Agregat Normal
	mm	inci	kg
1	4,75	0,187 (No. 4)	0,5
2	9,50	3/8	1,5
3	12,50	½	2,0
4	19,00	¾	3,0
5	25,00	1	4,0
6	37,50	1 ½	6,0
7	50,00	2	8,0
8	63,00	2 ½	10,0
9	75,00	3	13,0
10	90,00	3 ½	16,0
11	100,00	4	25,0
12	150,00	6	50,0

Sumber: SNI 1971-2011

3. Prosedur pengujian

Prosedur pelaksanaan pengujian kadar air total agregat adalah sebagai berikut:

- Timbang benda uji sampai 0,1% massa terdekat (W_1). Dimana massa benda uji adalah massa wadah dan benda dikurangi massa wadah;
- Keringkan benda uji langsung dalam oven dengan temperatur 110 ± 5 °C dan jaga jangan sampai ada partikel yang hilang; dan
- Keluarkan agregat dari oven, setelah dingin timbang kembali benda uji kering sampai 0,1% massa terdekat (W_2).

4. Perhitungan

Perhitungan kadar air total (P), dapat menggunakan Persamaan (2.12).

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan:

P = Kadar air benda uji (%)

W_1 = Massa benda uji (g)

W_2 = Massa benda uji kering oven (g)

2.3.5 Pengujian Kadar Lumpur

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 03-4142-1996. Standar ini menetapkan metode uji yang digunakan untuk menentukan persentase jumlah bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih. Kadar lumpur agregat halus tidak boleh lebih dari 5%.

Metode uji kadar lumpur dengan pengeringan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk menguji kadar lumpur, yaitu:

- a. Saringan terdiri dari dua ukuran yaitu Nomor 200 (0,075 mm) dipasang di bagian bawah dan saringan Nomor 16 (1,18 mm) di atasnya;
- b. Wadah untuk mencuci benda uji;
- c. Timbangan; dan
- d. Oven.

2. Benda uji

Agregat halus dalam kondisi kering oven dengan berat tergantung pada ukuran maksimum agregat sesuai pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji

No.	Ukuran Maksimum Agregat		Berat Kering Benda Uji
	Ukuran Saringan	mm	gram
1	No. 8	2,36	100
2	No. 4	4,75	500
3	3/8	9,50	1000
4	¾	19,00	2500
5	≥ 1 1/2	≥ 38,10	5000

Sumber: SNI 03-4142-1996

3. Prosedur pengujian

Prosedur pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus adalah sebagai berikut:

- a. Timbang wadah tanpa benda uji, kemudian timbang benda uji dan masukan ke dalam wadah;

- b. Masukkan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam;
- c. Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan air pencuci sehingga mempermudah dalam memisahnya;
- d. Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan No. 16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan No. 200 (0,075 mm). Pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang;
- e. Ulangi pekerjaan langkah 3, 4, dan 5 sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih;
- f. Kembalikan semua benda uji yang tertahan saringan Nomor 16 (1.18 mm) dan Nomor 200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum 0,1 % dari berat contoh; dan
- g. Hitung persen bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) dengan rumus-rumus perhitungan seperti yang diuraikan pada Persamaan (2.13), Persamaan (2.14), dan Persamaan (2.15).

4. Perhitungan

- a. Berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \quad (2.13)$$

- b. Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \quad (2.14)$$

- c. Bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan:

W_1 = Berat kering benda uji + wadah (g)

W_2 = Berat wadah (g)

W_3 = Berat kering benda uji awal (g)

W_4 = Berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (g)

W_5 = Berat kering benda uji sesudah pencucian (g)

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

2.3.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Pengujian ini digunakan untuk menentukan ketahanan agregat kasar dengan ukuran 75 mm (inci) sampai ukuran 2,36 mm (saringan No. 8) terhadap keausan menggunakan mesin abrasi Los Angeles yang mengacu pada SNI 2417-2008.

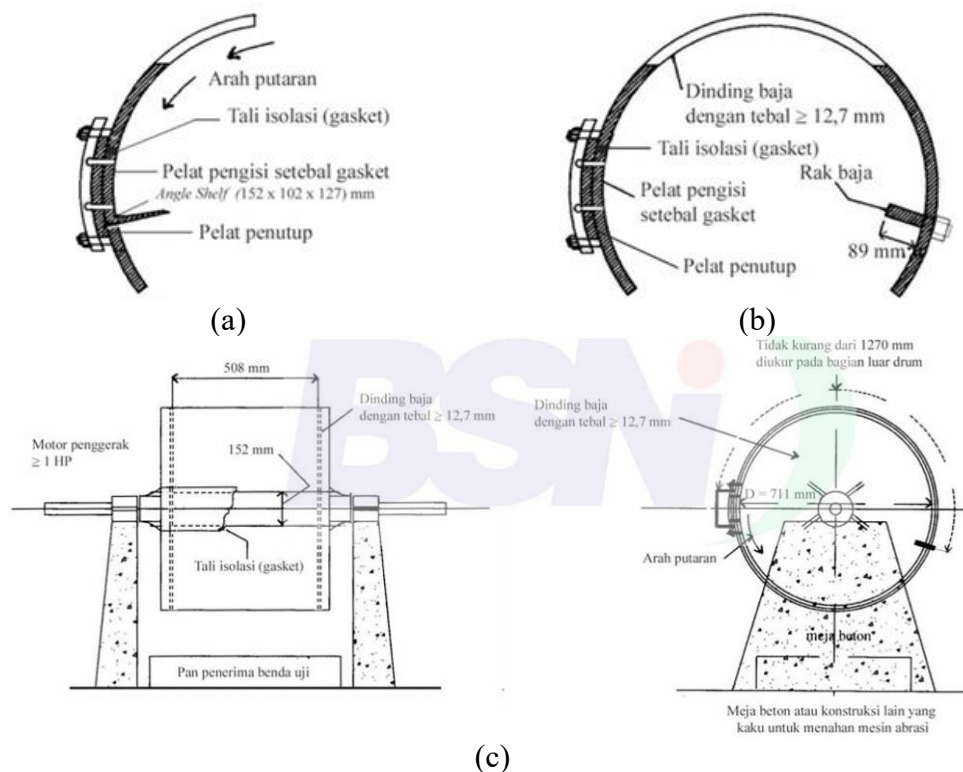
Metode uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk menguji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles, yaitu:

a. Mesin abrasi Los Angeles

Silinder baja tertutup diameter 711 mm dan panjang 508 mm dengan bilah melintang setinggi 89 mm, seperti pada Gambar 2.2 (SNI 2417-2008).



Gambar 2.2 Mesin Abrasi Los Angeles: (a) Alternatif Rak Sudut (b) Rak Baja dan Penutupnya (c) Spesifikasi Mesin Los Angeles

- b. Saringan No. 12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya;
 - c. Timbangan;
 - d. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm ($1 \frac{27}{32}$ inci) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram;
 - e. Oven; dan
 - f. Alat bantu pan serta kuas.
2. Benda uji
- Agregat kasar yang sesuai dengan 7 tipe gradasi sebagai berikut:
- a. Gradasi A, merupakan material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm ($1 \frac{1}{2}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ inci);
 - b. Gradasi B, merupakan material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ inci);
 - c. Gradasi C, merupakan material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 4,75 mm (saringan No. 4);
 - d. Gradasi D, merupakan 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, merupakan material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 75 mm (3 inci) sampai dengan agregat ukuran butir 37,5 mm ($1 \frac{1}{2}$ inci);
 - f. Gradasi F, merupakan material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 50 mm (2,0 inci) sampai dengan agregat ukuran butir 25,0 mm (1,0 inci); dan
 - g. Gradasi G, merupakan material agregat kasar dari ukuran butir maksimum 37,5 mm ($1 \frac{1}{2}$ inci) sampai dengan agregat ukuran butir 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ inci).
3. Prosedur pengujian
- Prosedur pelaksanaan pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles adalah sebagai berikut:
- a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu cara dari 7 (tujuh) cara seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Daftar Gradasi dan Berat Benda Uji

Ukuran Saringan				Gradasi dan Berat Benda Uji (gram)						
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci	Gram						
75,00	3,0	63,00	2 ½	-	-	-	-	2500±50	-	-
63,00	2 ½	50,00	2,0	-	-	-	-	2500±50	-	-
50,00	2,0	37,50	1 ½	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37,50	1 ½	25,00	1	1250±25	-	-	---	-	5000±25	5000±25
25,00	1	19,00	¾	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19,00	¾	12,50	½	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,50	½	9,50	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,50	3/8	6,30	¼	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,30	¼	4,75	No. 4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4,75	No. 4	2,36	No. 8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah Bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat Bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

- b. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles;
- c. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gradasi A, B, C, dan D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G adalah 1000 putaran;
- d. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No. 12 (1,70 mm). Butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap;
- e. 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. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di atas saringan No. 12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20; dan
- f. Metode pada butir (e) tidak berlaku untuk pengujian material dengan metode ASTM C 535-96 yaitu *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse aggregate by Abrasion and impact on the Los Angeles Machine*.

4. Perhitungan

Untuk menghitung hasil pengujian, gunakan Persamaan 2.16.

$$K_{\text{ausan}} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.16)$$

Keterangan:

a = Berat benda uji semula (g)

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (g)

2.4 Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Mix Design merupakan proses merancang dan memilih bahan yang sesuai untuk menentukan proporsi campuran yang tepat agar mencapai kekuatan yang diinginkan. Proses memerlukan pengetahuan tentang material penyusun dan proses pencampurannya, sehingga perancangannya cukup kompleks. Proporsi bahan beton di laboratorium memerlukan penyesuaian modifikasi dan kembali disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Tata cara pembuatan rancangan campuran beton yang digunakan pada penelitian ini adalah metode SNI 7656-2012.

Adapun langkah-langkah penentuan pemilihan campuran beton dengan metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan *slump*

Apabila *slump* tidak diisyaratkan, maka gunakan rentang nilai *slump* pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Nilai *Slump* yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

Tipe Konstruksi	<i>Slump</i> (mm)	
	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

2. Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum

Ukuran nominal agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- a. $1/5$ dari ukuran terkecil dimensi antara dinding-dinding cetakan/bekisting;
- b. $1/3$ tebalnya pelat lantai; dan
- c. $3/4$ jarak minimum antar masing-masing batang tulangan, berkas-berkas tulangan, atau tendon tulangan pra-tegang (*pretensioning strands*).

3. Perkiraan air pencampur dan kandungan udara

Banyaknya air untuk tiap satuan isi beton yang dibutuhkan agar menghasilkan *slump* tertentu tergantung pada:

- a. Ukuran nominal maksimum, bentuk partikel dan gradasi agregat;
- b. Temperatur beton;
- c. Perkiraan kadar udara; dan
- d. Penggunaan bahan tambahan kimia.

Perkiraan kebutuhan air untuk beberapa ukuran agregat dan target *slump* yang diinginkan, dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara untuk Berbagai *Slump* dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah untuk Beton tanpa Tambahan Udara

No.	Air (kg/m ³) untuk Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah								
	<i>Slump</i> (mm)	9,5 (mm)	12,7 (mm)	19 (mm)	25 (mm)	37,5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	150 (mm)
1	25 - 50	207	199	190	179	166	154	130	113
2	75 - 100	228	216	205	193	181	169	145	124
3	150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
4	>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam Beton (%)		3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Sumber: SNI 7656-2012

4. Pemilihan rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen

Rasio air-semen (w/c) merupakan perbandingan jumlah air terhadap semen dalam campuran beton. Semakin rendah rasio ini, semakin tinggi kuat tekan beton karena porositas berkurang. Nilai ideal untuk beton biasanya sekitar 0,45 – 0,55. sehingga dibutuhkan hubungan antara kekuatan beton dan rasio w/c atau w/(c+p) seperti pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Hubungan antara Rasio Air-semen (w/c) dan Kekuatan Beton

No.	Kekuatan Beton Umur 28 Hari (MPa)	Rasio Air-semen (Berat)	
		Beton tanpa Tambahan Udara	Beton dengan Tambahan Udara
1	40	0,42	-
2	35	0,47	0,39
3	30	0,54	0,45
4	25	0,61	0,52
5	20	0,69	0,60
6	15	0,79	0,70

Sumber: SNI 7656-2012

5. Perhitungan kadar semen

Kebutuhan semen untuk tiap satuan volume adalah sama dengan perkiraan kebutuhan air pencampur (langkah 3) dibagi rasio air-semen (langkah 4). Akan

tetapi, apabila persyaratannya memasukkan pembatasan pemakaian semen minimum secara terpisah selain dari persyaratan kekuatan dan keawetan, campuran haruslah didasarkan pada kriteria apapun yang mengarah kepada pemakaian semen yang lebih banyak.

6. Perkiraan kadar agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan, apabila volume agregat (kondisi kering oven) dengan jumlah tertentu dipakai untuk tiap satuan volume beton. Volume agregat kasar per satuan volume beton dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

No.	Ukuran Nominal Agregat Maksimum (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
1	9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3	19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
4	25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
5	37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
6	50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
7	75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
8	150,0	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber: SNI 7656-2012

Volume ini dipilih dari hubungan empiris untuk menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan untuk pekerjaan konstruksi secara umum. Untuk beton yang lebih kental (keleccakan rendah), seperti untuk konstruksi lapis lantai (pavement), nilainya dapat ditambah sekitar 10 %.

7. Perkiraan kadar agregat halus

a. Berdasarkan berat

Perkiraan awal berat beton didasarkan pada ukuran nominal maksimum agregat dan pengaruh udara pada campuran beton yang dapat dilihat pada Tabel 2.14. Perkiraan awal tersebut digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan air, semen, dan agregat kasar.

Tabel 2.14 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

No.	Ukuran Nominal Maksimum Agregat (mm)	Perkiraan Awal Berat Beton (kg/m ³)	
		Beton tanpa Tambahan Udara	Beton dengan Tambahan Udara
1	9,5	2280	2200
2	12,5	2310	2230
3	19,0	2345	2275
4	25,0	2380	2290
5	37,5	2410	2350
6	50,0	2445	2345
7	75,0	2490	2405
8	150,0	2530	2435

Sumber: SNI 7656-2012

Apabila diinginkan perhitungan berat beton per m³, maka dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.24).

Keterangan:

$$U = 100G_a(100 - A) + C(1 - G_a / G_c) - W(G_a - 1) \quad (2.17)$$

Keterangan:

U = Berat beton segar (kg/m³)

G_a = Berat jenis rata-rata gabungan agregat halus dan kasar, kering permukaan jenuh (SSD adalah *saturated surface dry*)

G_c = Berat jenis semen (umumnya = 3,15)

A = Kadar udara (%)

W = Syarat banyaknya air pencampur (kg/m³)

C = Syarat banyaknya semen (kg/m³)

b. Berdasarkan volume absolut

Volume absolute digunakan untuk mengetahui proporsi ruang yang diisi oleh agregat dan material lain dalam campuran beton. Ini penting secara teoretis tetap seimbang dan akurat dalam memenuhi volume 1 m³ beton, meskipun penakaran dilakukan berdasarkan berat. Untuk mendapatkan volume agregat halus yang disyaratkan, satuan volume beton dikurangi dengan jumlah seluruh volume dari bahan-bahan yang telah diketahui.

8. Penyesuaian terhadap kelembaban agregat

Jumlah agregat yang akan ditimbang harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang terserap didalamnya. Umumnya, agregat berada dalam keadaan lembab, sehingga berat keringnya ditambah sesuai dengan banyaknya air yang terserap maupun yang ada dipermukaan. Banyaknya jumlah air yang harus ditambahkan ke dalam campuran harus dikurangi sebanyak air bebas yang ada pada agregat, yaitu jumlah air dikurangi air terserap.

9. Pengaturan campuran percobaan

Proporsi hasil perhitungan harus diperiksa melalui pembuatan campuran percobaan yang dipersiapkan dan diuji menurut SNI 03-2493-1991 atau sesuai dengan proporsi campuran di lapangan. Pemakaian air harus tepat untuk menghasilkan *slump* yang disyaratkan pada saat memilih proporsi percobaan. Periksa kembali berat isi, jumlah yang dihasilkan dan kadar udara beton serta sifat pengerjaannya yaitu bebas dari segregasi, dan sifat penyelesaiannya.

2.5 Pengujian *Slump*

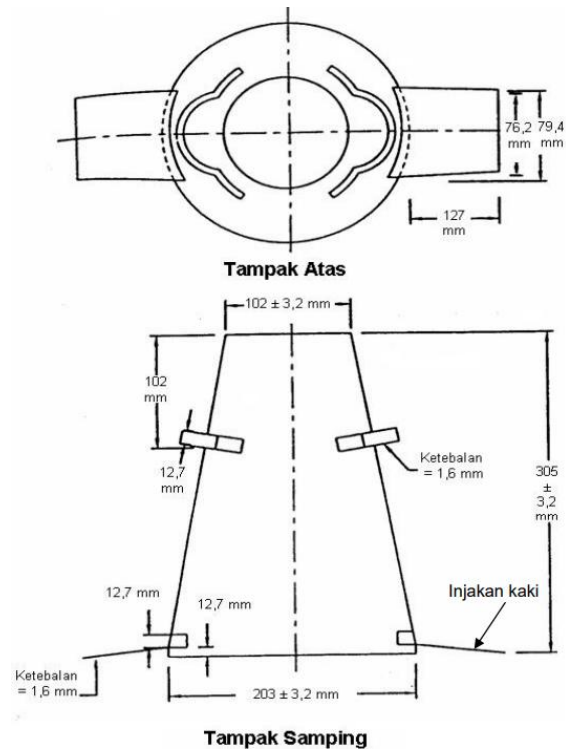
Slump beton merupakan penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat (SNI 1972-2008). Pengujian *slump* merupakan salah satu metode untuk mengukur konsistensi atau tingkat kekentalan campuran beton segar. Tes ini digunakan untuk menentukan *workability* (kemudahan beton untuk diproses dan dipadatkan) yang ditunjukkan dalam nilai tertentu, sehingga beton dapat mencapai tingkat kekentalan yang diinginkan. Dalam kondisi laboratorium, dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai *slump* umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton yang berbanding terbalik dengan kekuatan beton.

Pengujian *slump* mengacu pada SNI 1972-2008 , dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian *slump*, yaitu:

- a. Cetakan berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, dan tinggi 305 mm seperti pada Gambar 2.3 (SNI 1972-2008).



Gambar 2.3 Cetakan untuk Uji *Slump* (Kerucut Abrams)

- b. Pelat logam dengan permukaan yang datar dan rata, tidak menyerap air, dan kokoh;
 - c. Sendok sekop;
 - d. Batang penusuk yang terbuat dari baja dengan diameter 16 mm dan panjang sekitar 600 mm, memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola; dan
 - e. Penggaris.
2. Benda Uji
 3. Prosedur pengujian

Pengambilan benda uji dilakukan dari campuran beton yang mewakili jumlah keseluruhan volume produksi.

Prosedur pelaksanaan pengujian yang dilakukan pada pengujian *slump*, yaitu;

- a. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan kemudian basahi dan letakan *slump cone* secara vertikal di atas permukaan yang datar, kemudian isi dengan beton segar menggunakan sendok sekop hingga 3 lapis, setiap lapis sekira sepertiga dari volume cetakan. 1/3 dari volume cetakan *slump* diisi hingga ketebalan 67 mm dan 2/3 dari volume diisi hingga ketebalan 155 mm;

- b. Setiap 1/3 lapisan beton harus dipadatkan atau ditusuk sebanyak 25 kali dengan menekan tongkat baja secara merata, kemudian tambahkan lapisan berikutnya sampai cone penuh;
 - c. Setelah selesai dilakukan pemadatan, ratakan permukaan beton pada bagian atas cetakan menggunakan mistar baja dan bersihkan sisa benda uji yang ada di sekitar cone; dan
 - d. Lepaskan segera cetakan dari beton dengan cara mengangkat perlahan-lahan *slump cone* secara vertikal, kemudian ukur jarak penurunan menggunakan meteran atau penggaris untuk menentukan perbedaan tinggi antara cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji
4. Perhitungan

Perhitungan nilai *slump* menggunakan Persamaan 2.18.

$$\text{Nilai slump} = \text{tinggi alat} - \text{tinggi beton setelah penurunan} \quad (2.18)$$

2.6 Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan beton (*curing*) merupakan proses yang dilakukan setelah beton berumur 24 jam dan dikeluarkan dari cetakan, bertujuan untuk memastikan proses pengerasan (hidrasi) semen berlangsung secara optimal dan menjaga supaya tidak terjadi susut (*shrinkage*) yang berlebihan pada beton akibat penguapan air yang cepat. Berdasarkan SNI 03-2847-2002, beton harus dirawat pada suhu diatas 10°C dan dalam keadaan lembab untuk sekurang-kurangnya selama 7 hari setelah pengecoran kecuali jika dengan perawatan dipercepat.

Dibandingkan dengan beton yang dibuat tanpa perawatan, beton yang dirawat lebih padat, tahan aus, dan tahan lama. Jika beton dibiarkan terpapar sinar matahari secara langsung, bagian luar beton akan cepat kehilangan air sehingga menyusut dan terjadi keretakan akibat panas yang berfluktuasi antara bagian dalam dan bagian luarnya.

Menurut Juniarti (2023) terdapat beberapa metode perawatan beton yang umum digunakan, yaitu:

1. *Dry Curing* (perawatan kering), merupakan metode perawatan beton yang menggunakan material atau teknik tertentu untuk menghalangi penguapan air

beton dan menjaga kelembapan secara pasif yang sering disebut dengan *membran curing*. Metode jenis ini dilakukan dengan memberikan selaput tipis pada permukaan beton yang terbentuk dari bahan kimia. Bahan kimia yang digunakan harus mengering dalam 4 jam setelah diaplikasikan untuk mencegah permukaan beton berkerut. Metode ini umum digunakan pada proyek di daerah yang sulit mendapatkan air.

2. *Wet Curing* (perawatan basah), merupakan metode perawatan beton yang menggunakan cara penyiraman atau menyelimuti beton dengan kain basah untuk memastikan kelembapan permukaan beton selama proses pengerasan. Metode jenis ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu merendam beton dalam genangan air seperti pada Gambar 2.4 (Juniarti, 2023), menyelimuti permukaan beton dengan kain basah, menyirami permukaan beton secara kontinu, dan menggunakan uap atau disimpan di ruangan yang lembab. Metode perendaman merupakan metode yang paling umum digunakan karena berfungsi untuk menjaga kestabilan kadar air dan suhu pada beton tersebut dan dilakukan sesuai dengan umur yang sudah direncanakan.



Gambar 2.4 Metode Perawatan Beton

Proses perawatan beton dilakukan sesuai dengan SNI 2493-2011, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam perawatan benda uji, yaitu:

- a. Artco; dan
 - b. Bak rendam.
2. Benda uji
Benda uji yang digunakan adalah beton segar yang telah dicetak dan dilepas dari cetakan setelah 24 jam.
3. Prosedur pengujian
Prosedur pengujian yang dilakukan pada perawatan benda uji dengan cara perendaman beton, yaitu:
 - a. Isi bak perendam menggunakan air dan pastikan air yang digunakan bersih dan tidak terkontaminasi zat lain;
 - b. Buka beton dari cetakan \pm 24 jam setelah pencetakan dan pastikan beton yang akan direndam tidak mengalami segregasi;
 - c. Angkat dan masukkan beton ke dalam bak perendam, kemudian pastikan beton terendam sepenuhnya untuk menjaga kelembaban;
 - d. Lakukan proses perendaman sesuai umur yang direncanakan dan periksa kondisi perendaman secara berkala untuk memastikan tidak ada kontaminasi atau perubahan suhu drastis; dan
 - e. Setelah proses perendaman selesai, beton diangkat dan dikeluarkan dari dalam air perendaman, kemudian dibiarkan di dalam ruangan terbuka dan dilakukan pengujian kuat tekan sesuai umurnya.

2.7 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban yang harus ditanggung oleh beton per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton mengalami kehancuran jika dibebani oleh suatu gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan (Bachtiar et al., 2021). Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan memberi beban aksial pada benda uji hasil pengecoran dan *curing*, untuk menilai kemampuan beton menahan tekanan per satuan luas dan dibandingkan dengan kuat tekan rencana.

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh kualitas material, komposisi beton, usia beton, dan perawatan beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk memantau perkembangan dan menilai mutu akhir, di mana umur 28 hari dijadikan standar evaluasi mutu. Umur 21 hari tidak digunakan karena

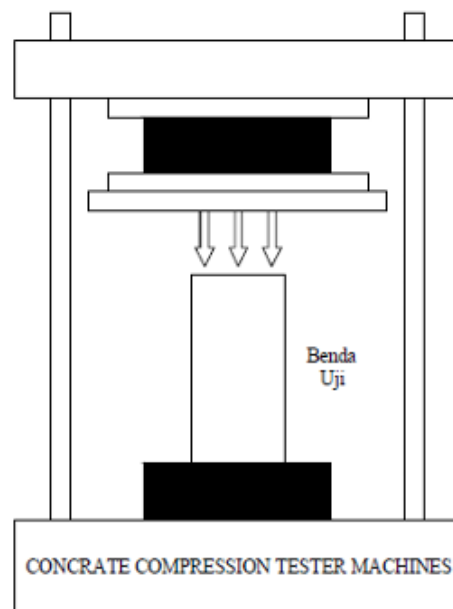
berada di antara fase transisi dan dinilai tidak memberikan nilai teknis tambahan yang signifikan dalam evaluasi struktur beton.

Proses pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan SNI 1974-2011 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian kuat tekan beton, meliputi:

- a. Mesin uji tekan beton menggunakan *Compression Testing Machine* seperti pada Gambar 2.5 (SNI 1974-2011).



Gambar 2.5 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

- b. Timbangan; dan
- c. Pelapis permukaan beton.

2. Prosedur pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan pada pengujian kuat tekan beton, yaitu:

- a. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman, kemudian ditimbang dan dilakukan pengukuran dimensi pada masing-masing benda uji;
- b. Benda uji diletakkan pada alas pembebanan mesin uji kuat tekan beton, kemudian mesin dihidupkan dan diberikan pembebanan secara berangsur-angsur hingga pembebanan maksimum;

- c. Mesin dimatikan dan besarnya pembebanan maksimum dicatat pada saat benda uji mulai mengalami keretakan; dan
- d. Menghitung kuat tekan beton, yaitu besarnya beban per satuan luas.

3. Perhitungan

Cara perhitungan kuat tekan beton dapat menggunakan Persamaan (2.19) dan nyatakan hasilnya dengan membulatkan ke 1 (satu) desimal dengan satuan 0,1 MPa.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2.19)$$

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Benda uji kuat tekan umumnya berbentuk silinder, namun kubus sering digunakan di lapangan dan menghasilkan nilai lebih tinggi. Untuk perbandingan, hasil silinder dikali 1,25 menjadi perkiraan kubus, sedangkan hasil kubus dikali 0,8 menjadi perkiraan silinder. Jika perbandingan panjang (L) terhadap diameter (D) benda uji kurang dari 1,8, maka koreksi hasil dengan mengalikan faktor koreksi yang sesuai seperti pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Faktor Koreksi Rasio Panjang dengan Diameter 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

Koreksi faktor di atas berlaku untuk beton ringan dan beton normal. Faktor koreksi berlaku untuk kuat tekan beton nominal 15 MPa sampai dengan 45 MPa. Untuk angka di atas 45 MPa perlu dilakukan uji perbandingan yang lebih lanjut di laboratorium.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dapat dijadikan dasar atau acuan sebagai bahan pertimbangan dengan penelitian yang hendak dilakukan. Teori atau temuan-temuan hasil dari penelitian sebelumnya sangat penting sehingga dapat dijadikan sebagai data pendukung. Beberapa penelitian terdahulu tercantum dalam Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	Noviyanthy Handayani, Amelia Faradila, Imam Juara, & Dian Larasati	2021	Perilaku Kuat Tekan Beton Normal Terhadap Penambahan Serat Botol Plastik Jenis PET	Metode Penelitian Eksperimental	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah PET sebesar 0,2% terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 1,80% dari nilai kuat tekan beton normal. Namun pada variasi penambahan limbah PET sebesar 1% terjadi penurunan kuat tekan beton sebesar 0,66% dari kuat tekan beton normal yaitu 22,25 MPa menjadi 22,10 MPa. Elsi (2019) melakukan penelitian yang sama dengan menambahkan plastik PET pada campuran beton tetapi dengan variasi yang berbeda, yaitu 0,25%, 0,5%, 1% dan tanpa tambahan apapun terhadap beton normal (0%). Dari hasil penelitian tersebut diperoleh hasil nilai kuat tekan yang meningkat untuk variasi 0,25% sebesar 1,31% dari beton normal dan pada variasi 1% mengalami kenaikan sebesar 4,17%.

No.	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Judul	Metode	Hasil Penelitian
2	Wahyudi, Indriani, & Utomo	2023	Analisis Kuat Tekan Beton Modifikasi <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	Metode Penelitian Eksperimental	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton PET 0,25% memiliki nilai kuat tekan yang lebih baik dibandingkan beton normal. Pada umur 7 hari terjadi selisih kuat tekan sebesar 3,40%; pada umur 14 hari sebesar 17,84%; pada umur 21 hari sebesar 31,01%; dan pada 28 hari sebesar 12,96%. Berdasarkan uraian diatas dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan PET sebanyak 0,25% terhadap agregat halus meningkatkan nilai kuat tekan beton dibandingkan dengan beton normal sehingga pemanfaatan plastik PET sebagai bahan campuran beton dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan material alam.

No.	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Judul	Metode	Hasil Penelitian
3	Renaldi, Jasman, & Adnan	2024	Pemanfaatan Limbah Serat Plastik PET Terhadap Kuat Tekan Beton	Metode Penelitian Eksperimental	Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan rata-rata tertinggi pada penambahan limbah plastik PET dengan umur beton 28 hari yaitu pada penambahan 1% plastik PET dengan nilai kuat tekan sebesar 23,307 MPa yang mengalami penurunan sebesar 7% dari kuat tekan beton normal yang nilainya 25,006 MPa. Penambahan 2% plastik PET dengan nilai kuat tekan sebesar 21,703 MPa yang mengalami penurunan sebesar 13% dari kuat tekan beton normal. Penambahan 3% plastik PET dengan nilai kuat tekan sebesar 19,816 MPa yang mengalami penurunan sebesar 20% dari kuat tekan beton normal. Variasi 2% dan 3% plastik PET tidak dapat memberikan pengaruh yang lebih baik pada mutu beton karena nilai kuat tekan yang didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan beton variasi normal dan variasi 1% plastik PET.

No.	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Judul	Metode	Hasil Penelitian
4	Musyafir, Gaus, & Zulkarnain	2025	Analisis Kuat Tekan Beton Beragregat Halus Pasir Batu apung dengan Penambahan Serat Plastik PET Sebagai Bahan Campuran	Metode Penelitian Eksperimental	Hasil pengujian menunjukan bahwa beton dengan campuran pasir batu apung dan bahan tambah plastik memiliki kuat tekan yang berbeda. Beton dengan 0,4% serat plastik menunjukkan kuat tekan maksimal, yaitu 15,45 MPa, meningkat 2,66% dibandingkan beton tanpa bahan tambah serat plastik yang memiliki kuat tekan 13,47 MPa. Pada kadar plastik 0,6% dan 0,8%, kuat tekan mengalami penurunan dengan nilai masing-masing 8,09 MPa dan 7,07 MPa.

No.	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Judul	Metode	Hasil Penelitian
5	Indriani, Ngudiyono, & Mahmud	2025	Pengaruh Penambahan Serat <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton <i>Preplaced Aggregate Concrete</i> (PAC)	Metode Penelitian Eksperimental	Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat PET pada beton menyebabkan penurunan kuat tekan. Kuat tekan maksimum diperoleh pada penambahan serat 0% sebesar 32,083 MPa, sedangkan kuat tekan minimum diperoleh pada penambahan serat 1% sebesar 23,213 MPa. Dapat diketahui bahwa penurunan kuat tekan sebesar 27,647% pada persentase serat 1% dibanding 0%. Penurunan yang terjadi karena serat PET mengganggu proses injeksi mortar yang memicu adanya rongga udara sehingga menurunkan kepadatan beton.