

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan telah lama dikenal dan paling banyak dipergunakan. Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang terdiri dari campuran heterogen antara agregat kasar dan agregat halus. Selain itu, dalam campuran beton juga diberi bahan tambah yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non kimia pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut apabila dituang kedalam cetakan kemudian dibiarkan akan mengeras seperti batuan. Pengerasan tersebut terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara air dan semen sebagai perekat dengan agregat sebagai bahan pengisi, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah masa yang kuat.

Volume bahan bangunan menggunakan beton karena sifatnya yang mudah dibentuk sesuai dengan desain bangunan yang diinginkan dan dikarenakan salah satu kinerja utama beton yaitu memiliki kuat tekan yang besar. Dengan demikian, semakin banyak upaya dalam bidang konstruksi bangunan untuk membuatnya lebih canggih dan ekonomis. Kecanggihannya itu diwujudkan dalam pembuatan beton mutu tinggi yang sangat mendukung struktur bangunan teknik sipil. Karena penggunaannya dapat menghasilkan bangunan superior yang tidak diperoleh oleh beton normal, yaitu memiliki kekuatan yang tinggi mempertimbangkan ketahanan (keawetan) beton, memperpanjang masa layan serta kemudahan dalam pengerjaan beton. Selain keuntungan yang dimiliki beton, salah satu kekurangannya yaitu seperti kualitas beton dengan kekuatan yang diinginkan.

Dalam perbaikan bangunan-bangunan yang sudah tua atau rusak banyak ditemukan limbah atau bekas pecahan beton baik yang masih utuh maupun yang sudah pecah. Dalam hal ini peneliti bermaksud untuk memanfaatkan limbah pecahan beton tersebut untuk mengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton. Apakah dengan mengganti sebagian agregat kasar dengan limbah pecahan beton dapat mempengaruhi harga dari agregat kasar lebih irit tanpa mengurangi mutu kuat tekan dari beton.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **“Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah Pecahan Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar”**.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah pecahan beton terhadap kuat tekan beton.

1.3 Pembatasan masalah

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah sehingga penelitian yang dilakukan tidak meluas dan menjadi jelas batasannya. Adapun yang menjadi batasan masalah sebagai berikut :

1. Semen yang digunakan adalah semen pc tipe 1
2. Persentase limbah pecahan beton : 0%, 15%, 30%, 45%, dari jumlah agregat kasar yang digunakan dan tiap variasi jumlah pecahan beton 12 (dua belas) benda uji.
3. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter $d = 15$ cm dan $h = 30$ cm.
4. Jumlah seluruh benda uji kuat tekan adalah 48 benda uji.
5. Umur beton yang di uji adalah 7, 14, 21, 28 hari.
6. Mutu beton yang direncanakan $f'c$ 20 Mpa

1.4 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui sejauh mana limbah pecahan beton terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah pecahan beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar

1.5 Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan, bahwa penambahan limbah pecahan beton pada pemakaian tertentu dari campuran beton dapat meningkatkan kualitas beton dan dapat menutup rongga-rongga didalam beton,

sehingga limbah pecahan beton dapat dijadikan sebagai bahan tambah. Manfaat lain Dari penelitian ini diharapkan dapat mengatasi pemborosan penggunaan material alam. Disamping itu secara tidak langsung sudah mendukung gerakan menuju green Concrete, khususnya untuk perlindungan dan pelestarian lingkungan.

1.6 Metode penulisan

Urutan pokok permasalahannya maupun pembahasannya yang akan diuraikan dalam penelitian ini adalah :

BAB I : PANDAHULUAN

Dalam bab ini menguraikan latar belakang, tujuan dan manfaat penelitian, rumusan masalah, metode penelitian. Metode penulisan, time schedule, dan daftar pustaka.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang pengertian beton dan campuran-campuran pembentukan beton dan pecahan beton

BAB III : METOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang penggunaan bahan dan serta bahan penelitian.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini merupakan lanjutan dari bab sebelumnya yaitu pelaksanaan, pengelolaan yang telah diperoleh.

BAB V : PENUTUP

Bab ini merupakan bab terakhir atau bab penutup dari skripsi yang berisi kesimpulan dan saran-saran dengan tujuan yang baik untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air. Agregat merupakan bagian yang terbanyak dalam pembentukan beton sedangkan semen dan air akan membentuk pasta yang akan mengikat agregat. Tugas perekat yaitu menghubungkan pasir atau kerikil dan mengisi lubang-lubang diantaranya. Tambahan air baru memungkinkan pengikat dan pengerasan dari perekat.

2.2 Jenis-jenis beton

1. Beton Ringan

Beton ringan didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu kerikil, (batu apung) atau bahan semacam lainnya dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung, (Dipohusodo, 1994)

2. Beton Normal

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200-2500) kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah. Perencanaan campuran beton normal harus didasarkan pada data sifat-sifat bahan yang akan dipergunakan dalam produksi beton. Susunan campuran beton yang diperoleh dari perencanaan harus dibuktikan melalui uji coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan beton yang diisyaratkan.

3. Beton Berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat isi lebih besar daripada beton normal atau lebih dari 2400 kg/m³. Beton jenis ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya.

Menurut PBI 1971, beton diklarifikasi menjadi tiga (Wuryati samekto,2001):

1. Beton kelas I

Beton untuk pekerjaan-pekerjaan non-struktural dan dalam pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus.

2. Beton kelas II

Beton untuk pekerjaan structural secara umum dan dalam pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli.

3. Beton kelas III

Beton-beton untuk pekerjaan struktural dimana dipakai mutu dengan kekuatan tekan karakteristik yang lebih tinggi dari 225 kg/m³. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli.

2.3 Sifat-sifat Beton

2.3.1 Beton segar

Kemudahan pengerjaan umumnya dinyatakan dalam besaran nilai slump dan dipengaruhi oleh :

1. Kemudahan pengerjaan

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari slump yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain :

a. Jumlah air pencampur

Semakin banyak air, semakin mudah dikerjakan

b. Kandungan semen

Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannya makin tinggi.

c. Gradasi campuran pasir-kerikil

Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan syarat, akan lebih mudah dikerjakan.

d. Bentuk butiran agregat kasar

Agregat berbentuk pecah lebih mudah dikerjakan

- e. Butiran maksimum
- f. Cara pemadatan dan alat pematat

2. Pemisahan kerikil (*Segregation*)

Kecondongan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran adonan beton dinamakan segregasi. Hal ini akan menyebabkan gumpalan kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Penyebab pengaruh segregasi ini disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, campuran kurus atau kurang semen. Kedua, terlalu banyak air. Ketiga, besaran ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm. Keempat, semakin besar permukaan butir agregat, maka akan semakin mudah terjadinya segregasi.

Kecondongan terjadinya segregasi ini dapat dicegah atau dihindari jika memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Tinggi jatuh diperpendek
- b. Penggunaan air sesuai dengan syarat
- c. Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan
- d. Ukuran agregat sesuai dengan syarat
- e. Pemadatan baik

3. Pemisahan air (*Bleeding*)

Kecenderungan air untuk naik kepermukaan pada beton yang baru didapatkan dinamakan bleeding. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. Bleeding ini dipengaruhi oleh :

- a. Susunan butiran agregat
- b. Banyaknya air
- c. Kecepatan hidrasi
- d. Proses pemadatan

2.3.2 Beton Keras

1. Sifat jangka pendek

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa hal :

- a. Perbandingan air semen dan tingkat pemadatan
- b. Jenis semen dan kualitasnya

- c. Jenis dan kekasaran permukaan agregat
 - d. Pada keadaan normal, kekuatan bertambah sesuai dengan umur
 - e. Perawatan
2. Sifat jangka Panjang
- Rangkak adalah sifat dimana beton mengalami perubahan bentuk (deformasi) permanen akibat beban tetap yang bekerja padanya. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang untuk selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Hal ini dipengaruhi oleh :
 - a. Kekuatan rangkak berkurang berkurang bila kuat tekan makin besar
 - b. Perbandingan campuran. Bila FAS berkurang maka rangkak berkurang
 - c. Agregat. Bertambah bila agregat halus dan semen bertambah banyak
 - d. Umur. Kecepatan rangkak berkurang sejalan dengan umur beton
 - Susut adalah berkurangnya volume beton, jika terjadi kehilangan kandungan uap air akibat penguapan, dipengaruhi oleh :
 - a. Agregat. Berperan sebagai penahan susut pasta semen
 - b. Faktor air semen. Efek susut makin besar jika FAS makin besar
 - c. Ukuran elemen beton. Laju dan besarnya penyusutan berkurang jika volume elemen beton makin besar.

2.4 Material Beton

2.4.1 Semen Portland

Menurut ASTM C – 150. Semen Portland didefinisikan sebagai Semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling Bersama-sama dengan bahan utamanya.

Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013 – 81 atau standar uji bahan bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut.

Semen portland merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling klinker (yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan-bahan yang mengandung silika, alumina, dan oksid besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup

Kegunaan utama semen pada umumnya adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Sifat dan karakteristik Semen Portland :

a. Sifat Fisika Semen Portland

Sifat-sifat fisika semen Portland meliputi :

1. Kehalusan Butir

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan seting time menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Baiknya, semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal lebih tinggi. Dengan butiran partikel yang semakin halus maka reaksi hidrasi semakin cepat karena hidrasi dimulai dari permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak dan susut.

2. Kepadatan (*density*)

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3.15 Mg/m^3 pada kenyataannya berat jenis semen yang diperoleh berkisar $3.05 - 3.25 \text{ Mg/m}^3$. Variasi ini akan berpengaruh pada proporsi semen dalam campuran, pengujian berat jenis dilakukan dengan menggunakan *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C – 188.

3. Konsistensi

Konsistensi semen Portland lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi sangat bergantung pada rasio antara semen dan air serta aspek bahan semen dan kecepatan hidrasi.

4. Waktu pengikat

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras dihitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen sampai pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat dibedakan menjadi 2 yaitu :

1) Waktu ikat awal

Waktu ikat awal ialah waktu pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat keplastisan,

2) Waktu ikat akhir

Yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen beton mengeras. Waktu ikat awal minimal 60 menit, sedangkan waktu ikat akhir maksimum 8 jam tetapi tidak boleh bekurang dari 1 jam, sedangkan *final setting time* tidak boleh lebih dari 8 jam.

5. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, jumlah panas yang dikeluarkan tergantung pada susunan kimia, serta suhu pada waktu dilaksanakan perawatan. Dalam pelaksanaan perkembangan panas ini dapat mempengaruhi masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan, oleh karena itu perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan curing pada saat pelaksanaan.

b. Sifat dan karakteristik semen Portland

1) Senyawa kimia

Secara umum ada 4 senyawa kimia utama yang Menyusun semen Portland, yaitu :

- a. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) disingkat C3S
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{Si}_2$) disingkat C2S
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) disingkat C3A
- d. Tetrakalsium Aluminoforit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) disingkat C4AF

Tabel 2.1 Karakteristik senyawa penyusun semen portland

Nilai	Trikalsium Silikat $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ Atau C_3S	Dikalsium Silikat $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ Atau C_2S	Trikalsium Aluminat $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ Atau C_3A	Tetrakalsium Aluminoferrit $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ Atau C_4AF
Penyemenan	Baik	Baik	Buruk	Buruk
Kecepatan	Sedang	Lambat	Cepat	Lambat
Reaksi	-	-	-	-
Pelepasan	Sedang	Sedikit	Banyak	Sedikit
Panas	-	-	-	-
Hidrasi	-	-	-	-

Sumber. *Teknologi Beton, Paul Nugraha dan Anton*

Menurut SK SNI T – 15 – 1990 – 03 : 2, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Dan membagi semen semen Portland menjadi lima jenis yaitu :

Tipe I, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hamper semua jenis kontruksi.

Tipe II, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sifat dan panas hidrasi sedang. Semen tipe II memiliki kadar C_3A tidak lebih dari 8% dan digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam didalam tanah yang mengandung air agresif (Garam-garam dan sulfat) dan saluran air buangan.

Tipe III, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi. Semen tipe ini memiliki kadar C_3A serta C_3S yang tinggi dan butirannya digiling sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini dipergunakan pada daerah yang memiliki temperature rendah terutama pada daerah yang memiliki musim dingin.

Tipe IV, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Semen ini memiliki panas hidrasi yang rendah, kadar C_3S –

nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C3A – nya maksimum 5% digunakan untuk pekerjaan bending (bendungan), pondasi berukuran besar dan pekerjaan besar lainnya.

Tipe V, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat, semen tipe ini digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industry, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam prosentase yang tinggi.

1) Sifat kimia

Sifat kimia semen meliputi :

- kesegaran semen
- Sisa yang tak larut (*Insoluble Residue*)
- Panas hidrasi semen
- Kekuatan pasta semen dan faktor air semen (FAS)

2.4.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alami. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangatlah penting. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 60% -70% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar yang didapat secara alami atau buatan.

Agregat dalam campuran beton memiliki sifat-sifat yang sangat berpengaruh terhadap mutu campuran beton. Agregat yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat dan ketentuan yang diberikan oleh ASTM C-33-82 "*Standart Specification For Concrete Agragates*". Agregat dapat dibedakan beberapa jenis :

a. Jenis agregat berdasarkan berat

Ada 3 jenis agregat berdasarkan beratnya yaitu :

1. Agregat normal

Agregat normal yaitu agregat yang memiliki berat isi tidak kurang dari 1.2 kg/m³

2. Agregat ringan

Agregat ringan yaitu agregat yang memiliki berat isi 350 – 880 kg/m³ untuk agregat kasarnya dan 750 – 1200 kg/m³ pada agregat halusanya. Campuran dari kedua agregat tersebut memiliki berat isi maksimum 1400kg/m.

3. Agregat berat adalah agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari 2800kg/m³.

b. Jenis agregat berdasarkan bentuk

Pengujian standar yang digunakan dalam penentuan bentuk agregat ini adalah ASTM D-3398. Kalsifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah sebagai berikut :

1. Agregat bulat
2. Agregat bulat sebagian dan tidak teratur
3. Agregat bersudut
4. Agregat Panjang
5. Agregat pipih
6. Agregat pipih dan Panjang

c. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaan

Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaan dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Agregat jenis ini lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat permukaan kasar. Berdsarkan bentuk pngamatan agregat licin terbentuk akibat oleh air atau akibat patahnya batuan yang berlapis lapis
2. Berbutir (*granular*)
Pecahan agregat jenis ini berbentuk bulat dan seragam.
3. Kasar
Pecahannya kasar dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkrystal yang tidak dapat dengan terlihat jelas melalui pemeriksaan visual.
4. Kristalin (*crystalline*)

Agregat ini mengandung kristal-kristal yang tampak dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

5. Berpori dan berlubang – lubang

Tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya. Melalui pemeriksaan visual kita bisa mengamati atau melihat lubang-lubang agregatnya.

d. Jenis agregat berdasarkan ukuran butir nominal

Dari ukurannya, agregat dapat dibedakan menjadi 2 golongan yaitu agregat kasar dan halus.

1. Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976)
2. Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertinggal ayakan 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976)

e. Jenis agregat berdasarkan gradasi

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :

1. Gradasi sela (*gap gradation*)

Jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada, maka gradasi ini menunjukkan garis horizontal dalam grafiknya. Keistimewaan dari gradasi ini antara lain :

- a. Pada nilai faktor air semen tertentu, kemudahan pengerjaan lebih tinggi bila kandungan pasir lebih sedikit.
- b. Pada kondisi kelecakan yang tinggi, lebih cenderung mengalami segregasi, oleh karena itu gradasi sela dipakai pada tingkat kemudahan pekerjaan yang rendah, yang pematatannya dengan pengetaran (*vibration*)
- c. Gradasi ini tidak berpengaruh buruk terhadap kekuatan beton

2. Gradasi menerus

Didefinisikan jika jika semua agregat semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat lebih sering dipakai dalam campuran beton untuk mendapatkan angka pori yang kecil dan kemampuan tinggi sehingga

terjadi interlocking dengan baik, campuran beton memutuhkan variasi ukuran agregat. Dibandingkan dengan gradasi sela atau seragam, gradasi menerus adalah yang paling baik.

3. Gradasi seragam

Agregat yang memiliki ukuran yang sama didefinisikan sebagai agregat seragam. Agregat ini terdiri dari batas yang sempit dari ukuran fraksi, dalam diagram terlihat garis yang hampir tegak/vertical. Agregat dengan gradasi ini biasanya dipakai untuk beton ringan yaitu jenis beton tanpa pasir, atau untuk mengisi agregat gradasi sela, atau untuk campuran agregat yang kurang baik atau tidak memenuhi syarat.

Ada beberapa Sifat-sifat agregat yang sangat berpengaruh pada mutu campuran beton, yaitu :

A. Serapan Air dan Kadar Air Agregat

1. Serapan Air

Serapan air dihitung dari banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi jenuh permukaan kering atau kondisi SSD (Standard Surface Dry), dimana kondisi ini merupakan :

- a. Keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah atau mengurangi air dari pasta.
- b. Kadar air dilapangan lebih banyak mendekati kondisi SSD daripada kondisi kering tungku.

2. Kadar air

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat, Kadar Air agregat dapat dibedakan menjadi 4 jenis.

- a. Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair
- b. Kadar air kering udara, yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi sedikit mengandung air dalam porinya dan masih dapat menyerap air.
- c. Jenuh kering permukaan, yaitu keadaan dimana tidak ada air dipermukaan agregat, tetapi agregat tersebut masih mampu

menyerap air. Pada kondisi ini, air didalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton.

- d. Kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan kadar air campuran beton.

B. Berat Jenis dan Daya Serap Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan volume air. Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat tersebut.

Berat jenis agregat dibedakan menjadi 2 istilah, yaitu :

- a. Berat Jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori
- b. Berat Jenis semu, jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

C. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran bervariasi kemungkinan volume pori yang dihasilkan kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kepadatannya tinggi.

D. Modulus Halus Butir

Modulus halus butir adalah suatu indek yang dipakai untuk mendapatkan hasil ukuran kehalusan atau kekasaran agregat. Modulus halus butir didefinisikan sebagai jumlah persen (%) kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas susunan ayakan dan kemudian dibagi 100 (seratus). Susunan lubang ayakan itu adalah sebagai berikut : 40 mm, 20 mm, 10 mm, 4.8 mm, 2.4 mm, 1.2 mm, 0.60 mm, 0.30 mm dan 0.15 mm. Makin besar nilai modulus halus butir menunjukkan bahwa makin besar butiran agregatnya. Pada umumnya pasir memiliki modulus halus butir antara 1.5 sampai 3.8 sedangkan untuk kerikil dan batu pecah biasanya 5 sampai 8.

E. Ketahanan Kimia

Pada umumnya beton tidak tahan terhadap serangan kimia. Adapun bahan kimia yang biasanya menyerang beton yaitu serangan alkali dan serangan sulfat. Bahan kimia pada dasarnya bereaksi dengan komponen-komponen tertentu dari pasta semen yang telah mengeras sebagian besar tergantung pada jenis semen yang digunakan.

F. Kekekalan

Sifat dan kebiasaan ketahanan agregat terhadap perubahan cuaca disebut ketahanan cuaca atau kekekalan. Kebiasaan seperti ini merupakan petunjuk kemampuan agregat untuk menahan perubahan volume yang berlebihan yang disebabkan oleh perubahan-perubahan iklim pada kondisi lingkungan, misalnya pembekuan dan pencairan, perubahan suhu, musim kering dan musim hujan yang berganti-ganti. Kekekalan agregat dapat diuji dengan menggunakan larutan kimia untuk memeriksa reaksinya pada agregat. Syarat mutu untuk agregat normal adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus jika diuji dengan larutan garam sulfat (Natrium Sulfat, NaSO_4), bagiannya yang hancur maksimum 10% dan jika diujidengan Magnesium Sulfat (MgSO_4) bagiannya yang hancur maksimum 15%.
2. Agregat halus jika diuji dengan larutan garam sulfat (Natrium Sulfat, NaSO_4), bagiannya yang hancur maksimum 12% dan jika diuji dengan Magnesium Sulfat (MgSO_4) bagiannya yang hancur maksimum 18%.

G. Perubahan Volume

Penyebab faktor utama yang memicu terjadinya perubahan-perubahan dalam volume adalah pencampuran reaksi kimia antar semen dengan air seiring dengan mengeringnya beton. Jika agregat mengandung senyawa kimia yang dapat mengganggu proses hidrasi pada semen, maka beton yang direncanakan akan mengalami keretakan. ASTM C.330, memberikan ketentuan bahwa susut kering untuk agregat tidak boleh melebihi 0.10%. H.

H. Kotoran Organik

Bahan-bahan organik yang biasa dijumpai terdiri dari daun-daunan yang membusuk, humus dan asam. Apabila agregat terlalu banyak mengandung

bahan bahan organik maka proses hidrasi akan terganggu sehingga dapat menyebabkan penurunan mutu pada beton yang dihasilkan.

2.4.2.1 Agregat Halus



Gambar 2.1 Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Penelitian 2021

Menurut PBI (1971), syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus yang digunakan harus terdiri dari butir-butiran yang tajam, keras serta bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. apabila kadar lumpur melebihi 5% maka agregat halus harus dicuci.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abram – harder (dengan larutan NaOH)
4. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak harus memenuhi syarat-syarat berikut :
 - Sisa diatas ayakan 4 mm harus minimum 2% berat.
 - Sisa diatas ayakan 1 mm harus minimum 10% berat.
 - Sisa diatas ayakan 0.25 mm, harus berkisar antara 80% dan 95% berat

Gradasi Agregat Halus :

Menurut SK.SNI T – 15 – 1990 – 03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari British Standar di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam 4 daerah seperti pada tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2 Batas gradasi agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0.6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	0 - 10	0 -10	0 – 10	0 – 15

Sumber : *Teknologi Beton, Ir. Tri Muliono, MT*

Keterangan :

- Daerah I = Pasir Kasar
- Daerah II = Pasir agak Kasar
- Daerah III = Pasir agak Halus
- Daerah IV = Pasir Halus

2.4.2.2 Agregat Kasar



Gambar 2.2 Agregat kasar

Sumber: Dukumentasi Penelitian 2021

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 – 40mm atau lolos saringan No.88 (2,36mm). Ada pun persyaratan menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI '71) bahwa agregat kasar yang digunakan sebagai bahan campuran beton adalah :

- a. Agregat kasar dalam beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir yang pipih hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir yang pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat kasar harus dicuci.

- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- e. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan bejana pengujian dari Rudeloff dengan beban pengujian 20T, dengan harus memenuhi syarat-syarat berikut :
- Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9.5-19 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19-30 mm lebih dari 22%.
Atau dengan mesin pengaus Los Angeles, dengan tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
- a. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak harus memenuhi syarat-syarat berikut :
- Sisa diatas ayakan 31.5 mm harus 0% berat.
 - Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90 – 98% berat.
 - Selisih antara sisa – sisa kumulatif diatas 2 ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- b. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cekatan, $\frac{1}{3}$ dari tebal plat atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum antara tulangan – tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diijinkan, apabila penilaian pengawas ahli, cara – cara pengecoran beton itu benar sedemikian rupa hingga menjamin tidak terjadinya sarang – sarang kerikil atau pori – pori beton.

Gradasi Agregat Kasar :

Menurut pandangan British Standar (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik, sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 2.3

Tabel 2.3 Batas gradasi agregat kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
10	Okt – 35	25 – 35	40 – 85
4.8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Sumber : Teknologi Beton, Ir Tri Mulyono MT

Gradasi yang baik kadang sulit didapatkan langsung dari suatu tempat. Dalam praktek biasanya dilakukan pencampuran agar didapat gradasi yang baik antara agregat kasar dan agregat halus.

2.4.2.3 Limbah Pecahan Beton

Pecahan beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah pecahan beton penelitian, benda uji yang berbentuk silinder dengan perbandingan proporsi 1 : 2 : 3 atau setara dengan 175 mpa, yang berada di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas HKBP Nommensen Medan. dan ukuran limbah beton akan di pecah-pecahkan sebagai pengganti sebagian agregat kasar yakni 1 – 4 cm. Alat yang digunakan dalam pembuatan agregat limbah beton ini yakni Martil, Wadah tempat limbah, Sarung tangan, dan penggaris guna untuk mengukur besaran ukuran agregat.

Tindakan ini adalah upaya mengurangi dampak terhadap lingkungan dengan menggunakan kembali limbah beton untuk penggunaan beton baru. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar pengaruh

limbah beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan beton dan modulus elastisitas.

Beton adalah salah satu teknologi konstruksi dalam disiplin ilmu bahan yang selalu berkembang hingga saat ini. Sering kali bahan-bahan yang diperlukan untuk pembuatan beton diberbagai daerah menimbulkan kerusakan alam. Dalam pelaksanaan konstruksi, banyak pula limbah limbah beton hasil dari pengujian dan pembongkaran bangunan maupun jalan. Kontribusi limbah beton terhadap timbunan sampah konstruksi cukup besar. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya aktifitas konstruksi bangunan.

Di Indonesia, Sebagian banyak limbah konstruksi beton biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik. Sebagian besar dibuang begitu saja di lahan terbuka dan sebagian digunakan sebagai bahan timbunan atau urugan. Ketersediaan material tersebut sangat banyak. Sehingga potensi untuk mendaur ulang sangat mungkin untuk dilakukan. Sangat diperlukan suatu teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah-limbah beton. Salah satu contoh upaya mengurangi dampak tersebut adalah menggunakan kembali limbah beton untuk penggunaan beton baru. Hal ini menjadi alternatif bahan beton yang menguntungkan, karena agregat yang digunakan adalah agregat yang telah dibuang.

Berdasarkan hasil studi eksperimental atau penelitian , agregat daur ulang mengandung mortar sebesar 25 hingga 45% untuk agregat kasar, dan 70 hingga 100% untuk agregat halus. Di samping itu, pada agregat daur ulang juga terdapat retak mikro, dimana retak tersebut dapat ditimbulkan oleh tumbukan mesin pemecah batu (stone crusher) pada saat proses produksi agregat daur ulang yang tidak dapat membelah daerah lempengan atau patahan pada agregat alam. Selain itu, hasil dari pengujian eksperimental dengan sinar X (X-ray) terdapat perbedaan kandungan unsur-unsur kimia di dalam agregat daur ulang, yaitu unsur silika (Si) dan kalsium (Ca). Hal ini dikarenakan agregat daur ulang sebelumnya merupakan beton yang telah mengalami reaksi hidrasi, dimana unsur Si dan Ca yang terdapat pada agregat daur ulang diperoleh dari senyawa kalsium silika hidrat (C-S-H), ettringite (C-A S-H), dan Ca (OH)₂ pada pasta

semen yang masih menempel pada agregat alam. Oleh karena itu, unsur Ca pada agregat daur ulang lebih banyak dari pada unsur Si (Suharmanto, 2008).



Gambar 2.3 Limbah Pecahan Beton

Sumber : Dokumentasi Penelitian 2021

2.4.3 Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis – lapis beton.

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

1. Sifat *workability* adukan beton
2. Besar kecilnya nilai susut beton

3. Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu
4. Perawatan terhadap adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik
Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lain-lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut ini :
 1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
 2. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
 3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
 4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

Menurut SNI – 03 – 2847 – 2002 bahwa air yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oil, asam, alkali, garam, bahan organik atau bahan-bahan lainnya yang merugikan beton atau tulangan.
- b. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- c. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut :

Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

2.5 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Kesimpulan	Keterangan
(Indra Kusumawardhana, Mochamad Teguh,2017).	Dalam penelitian ini, dibuat benda uji silinder beton normal sebagai kontrol kekuatan beton. Kuat tekan rencana dipakai 25 MPa dengan mengikuti standar beton normal (SNI 03-2834- 2000). Untuk pembuatan benda uji silinder dengan substitusi agregat kasar limbah beton dipakai komposisi campuran setiap kelipatan 10% hingga maksimum 100%, sehingga jumlah total komposisi campuran sebanyak 10 variasi. Hasil uji kuat tekan beton menunjukkan bahwa substitusi agregat kasar dari limbah beton optimum terjadi pada variasi 40% dengan nilai kuat tekan rerata 31,85 MPa. Hal yang sama terjadi pada uji kuat tarik beton dengan nilai optimum ditemukan pada variasi campuran 40% dengan nilai kuat tarik rerata 3,87 MPa. Semakin banyak menggunakan agregat kasar dari limbah beton kekuatan beton mengalami penurunan.	Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Beton Limbah Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Normal
(Mulyati, Arman A, 2014).	Hasil pengujian benda uji dengan menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar dan agregat halus menunjukkan terjadinya penurunan nilai kuat tekan dari kuat tekan beton rencana. Nilai kuat tekan beton rata-rata tertinggi pada umur 28 hari dari penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar pada proporsi 60% dengan nilai kuat tekan 24,82 MPa, sedangkan dari	Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Normal

	penggunaan limbah beton sebagai agregat halus pada proporsi 80% dengan nilai kuat tekan 25,82 MPa.	
(Soelarso, Baehaki, Nur Fatah Sidik, 2016)	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan limbah beton, semakin besar penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan limbah pada beton dengan proporsi 25% menunjukkan penurunan rata-rata nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang cukup signifikan yaitu 45,39% dan 77,35%. Berlanjut proporsi berikutnya yaitu 50% menunjukkan penurunan 56,99% dan 77,45%. Proporsi 75% menunjukkan penurunan 61,65% dan 79,26%. Proporsi 100% menunjukkan penurunan 66,62% dan 79,12%. Variabilitas kualitas limbah mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan dan cenderung menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas.	Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas

2.6 Pengujian Beton Segar

Pada dasarnya pengujian beton segar dilakukan untuk melihat konsistensi campuran sebagai dasar untuk mengukur sifat mudah dikerjakan workability pekerjaan. Pengujian beton segar dapat dilakukan dengan

2.6.1 Slump

adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa kental adonan adukan beton yang akan diproduksi. Nilai slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan supaya mendapatkan beton yang sesuai dengan

standart, agar dapat dituangkan dan dipadatkan atau dapat memenuhi syarat workability. Cara uji Slump ialah salah satu cara untuk mengukur kelecakan beton segar, yang dipakai untuk memperkirakan tingkat kemudahan dalam pengerjaannya. Dimana semakin besar nilai slump berarti beton segar makin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan.

Cara pengujian slump yaitu dengan kerucut didirikan di atas alas yang telah dibersihkan, kemudian beton segar dimasukkan ke dalam kerucut dengan sekop kecil, kira-kira sepertiga tinggi kerucut. Dengan menggunakan batang besi, beton ditumbuk sebanyak 25 kali. Tambahkan lapisan kedua dan tumbuk 25 kali, tambahkan dan tumbuk beton sampai kerucut penuh. Angkat kerucut perlahan keatas dalam waktu 5-30 detik dan hitung berapa nilai dari slump.

Uji slump berguna untuk mengecek adanya perubahan kadar air. Bila jumlah air adalah konstan dan kadar lengas agregat konstan maka slump test berguna untuk menunjukkan adanya perbedaan pada gradasi atau adanya perbandingan berat yang salah. Kelemahan uji slump adalah tidak dapat mengukur kelecakan campuran beton yang kaku. Ada beberapa macam dari bentuk slump yang terjadi yaitu :

1. Slump yang benar (*True Slump*)

Suatu campuran yang telah dibuat dikatakan mempunyai true slump, jika kerucut beton mengalami penurunan secara seragam disetiap sisinya setelah kerucut diangkat.

2. Slump geser (*Shear Slump*)

Sebagian kerucut beton meluncur kebawah sepanjang bidang miring. Jika hal itu terjadi, maka pengujian slump harus diulang. Jika bentuk slump itu terjadi secara konsisten maka berarti sifat kohesi campuran yang diuji adalah kurang baik.

3. Slump runtuh (*Collapse Slump*)

Campuran dikatakan mempunyai *Collapse slump*, jika setelah kerucut diangkat campuran akan mengalami runtuh (*collapse*).



Gambar 2.4 Slump test

Sumber: Penelitian 2021

2.6.2 Test Bola Kelly

Test bola kelly dikembangkan di Amerika sebagai alternative *test slump* oleh J.W Kelly, Kelly ball test adalah uji lapangan sederhana dan murah yang mengukur kemampuan kerja beton segar dengan yang serupa dengan tes kemerosotan beton, tetapi lebih akurat dan lebih cepat dari pada tes kemerosotan (*slump test*).

2.6.3 Test Kekentalan Vebe

Test Kekentalan Vebe dikembangkan di Swedia oleh V. Barkner, Tes konsistensi Vee bee adalah tes laboratorium yang baik pada beton segar untuk mengukur kemampuan kerja secara tidak langsung dengan menggunakan konsistensi Vee-Bee. Vee bee test biasanya dilakukan pada beton kering dan tidak cocok untuk beton yang sangat basah.

Uji konsistensi Vee bee menentukan mobilitas dan kompatibilitas beton. Pada vee bee digunakan alat tes konsistensi pengukur vibrator, bukan menyentak. Vee bee test menentukan waktu yang dibutuhkan untuk transformasi beton oleh getaran.

Menurut 'IS 1199: 1959' (Metode Pengambilan Sampel dan Analisis Beton), kualitas beton ditentukan sebagai berikut :

- Jika waktu lebah hingga 20 hingga 15-10 detik maka beton dianggap sebagai konsistensi yang sangat kering.
- Jika waktu lebah hingga 10 hingga 7-5 detik maka beton dianggap sebagai konsistensi kering.
- Jika waktu lebah hingga 5 hingga 4-3 detik maka beton dianggap sebagai konsistensi plastik.
- Jika waktu lebah hingga 3 hingga 2-1 detik maka beton dianggap sebagai konsistensi semi-fluida.

2.6.4 Test Leleh (flow test)

Tes aliran (*flow test*) adalah tes laboratorium, yang memberikan indikasi kualitas beton sehubungan dengan konsistensi atau kemampuan kerja dan keterpaduan. Dalam tes aliran ini, massa standar beton mengalami penyentuhan. Tes ini umumnya digunakan untuk beton dengan daya kerja tinggi / sangat tinggi. Tes laboratorium serupa Bernama "*Flow Table Test*" dikembangkan di Jerman pada tahun 1933 dan telah dijelaskan dalam "BS 1881: 105: 1984". Metode ini digunakan untuk beton yang bisa dikerjakan dengan tinggi dan sangat tinggi yang akan menunjukkan tingkat kemerosotan beton. Menurut "M.S. Shetty" (Teori dan Praktik Teknologi Beton), nilai uji aliran dapat berkisar antara 0 hingga 150%.

2.6.5 Compacting Factor Test

Uji faktor pemadatan beton bekerja berdasarkan prinsip menentukan tingkat pemadatan yang dicapai oleh jumlah pekerjaan standar yang dilakukan dengan membiarkan beton jatuh melalui ketinggian standar. Ini dirancang khusus untuk penggunaan laboratorium, tetapi jika keadaan mendukung, tes ini juga dapat dilakukan dilokasi kerja/proyek.

Uji faktor pemadatan beton lebih tepat dan sensitif dari pada uji kemerosotan beton (*test slump*). Oleh karena itu lebih menguntungkan dan berguna untuk beton yang bisa dikerjakan atau beton kering yang umumnya digunakan ketika beton akan dipadatkan oleh getaran.

2.7 Pengujian Beton Keras

Sifat utama yang sangat penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai 1000 kg/cm² atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan. Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm² sampai 500 kg/cm². Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beton tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam satuan Mpa atau kg/cm². Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar ASTM C 39. Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah :

$$f_{ci} = \frac{P}{A} \times \frac{1}{\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

$$f_{ci} = \frac{\sum_{i=1}^n f'_{ci}}{n} \dots\dots\dots(2)$$

$$S_{ci} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_{ci} - \bar{f}'_{ci})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots$$

$$f_{cd} = \frac{f'_{ci}}{\gamma} - 1,64 S_{ci} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- P = Beban kuat teka (N)
- A = Luas penampang (cm²)
- Fu = faktor umur
- f'ci = Kuat tekan (MPa)
- f'cr = Kuat tekan rata-rata (MPa)
- f'c = Kuat tekan (MPa)

2.7.1 Uji Kuat Tekan Beton (*Compression test*)

Uji kuat tekan beton adalah pengujian yang dilakukan pada sampel beton, sampel ini akan diberi tekanan hingga mengalami kehancuran. Tujuannya adalah untuk mengetahui kekuatan beton terhadap gaya tekan, pengujian ini dapat dilakukan dengan cara :

- Siapkan cetakan beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang sudah diberi pelumas di bagian dalamnya. Hal ini untuk memudahkan dalam pelepasan beton nantinya.
- Buat adukan beton dengan kualitas yang sama seperti yang digunakan pada proyek penelitian, masukkan adukan ini ke dalam cetakan. Masukkan secara bertahap menjadi 3 lapisan yang sama.
- Ditiap lapisannya diberi tusukan hingga 25 kali dan ratakan bagian atas adukan. Jangan lupa catat tanggal dan jam pembuatan beton tersebut.
- Biarkan adukan beton ini selama 24 jam, kemudian rendam beton di dalam air selama beberapa saat sebelum dibawa ke laboratorium pengujian.
- Apabila telah keras maka beton siap diuji menggunakan mesin *Compression Test (CONTROL-ITALY)* yang akan memberikan tekanan.
- Catat hasil pengujian, lakukan pengujian pada hari berikutnya atau dalam rentang waktu tertentu. Untuk itu pastikan Anda membuat beberapa sampel beton untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

2.7.2 Uji Core Drill

Uji core drill dilakukan menggunakan alat core drill untuk mengambil beton yang sudah jadi untuk dijadikan sampel. Hal yang harus diperhatikan disini adalah pada saat pengambilan sampel beton jangan sampai merusak struktur bangunan atau mengenai tulangnya. Sampel ini kemudian akan diuji crusing test, meskipun sangat beresiko namun pengujian ini dapat dikatakan sangat akurat karena menggunakan sampel beton yang sudah jadi.

2.7.3 Hammer test

Hammer test dilakukan pada bagian bangunan seperti kolom, balok atau plat lantai menggunakan alat hammer test. Pengujian dilakukan pada 20 titik, namun

pastikan permukaan beton yang akan diuji sudah rata dan bila belum rata harus diratakan lebih dulu menggunakan gerinda. Hasil pengujian ini kemudian akan dihitung menggunakan standar deviasi untuk mengetahui kekuatan maupun tegangan karakteristik beton. Dari hasil inilah kita dapat mengetahui mutu beton.

2.7.4 Pengujian Ultrasonik atau Ultrasonic *non Destructive*

Ultrasonic non destructive adalah pengujian menggunakan gelombang ultrasonik sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada benda yang diuji seperti beton. Pengujian ultrasonik dilakukan menggunakan alat ukur kekerasan yang telah menerapkan gelombang ultrasonik dalam pengukurannya. Gelombang ini akan dirambatkan pada beton untuk mengetahui mutu dan kualitas beton. Pengujian ultrasonik sendiri mempunyai beberapa kelebihan seperti :

- Dapat mendeteksi keretakan beton serta kedalamannya.
- Menguji homogenitas beton.
- Pengujiannya tanpa merusak.
- Mendeteksi kerusakan permukaan serta perubahannya.
- Dapat mengukur modulus Elastisitas beton.
- Termasuk pengujian yang paling mudah dilakukan dengan hasil yang akurat.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah tata cara yang digunakan peneliti untuk mendapatkan hasil data yang nyata atau benar dengan bertujuan untuk menentukan kepastian jawaban atas permasalahan yang sedang diteliti. Metode penelitian adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu.

Metode penelitian mencakup prosedur dan teknik penelitian. Metode penelitian merupakan hal yang sangat penting untuk memecahkan masalah-masalah penelitian. Dengan menguasai metode penelitian, bukan hanya dapat memecahkan berbagai masalah penelitian, namun juga dapat mengembangkan bidang keilmuan yang digeluti. Selain itu, memperbanyak penemuan-penemuan baru yang bermanfaat bagi masyarakat luas dan dunia pendidikan.

3.2 Bahan Baku dan Peralatan

1. Semen

Semen berfungsi sebagai bahan pengisi dan pengikat pada campuran beton. Pada penelitian ini semen yang akan digunakan Semen Padang Tipe I kemasan 50 kg.

2. Agregat Halus

Agregat halus (pasir) yang digunakan adalah pasir yang berasal daerah Binjai dan sebelum melakukan kegiatan pembuatan beton terlebih dahulu dilakukan penyaringan untuk menentukan kelayakan pasir dan kandungan lumpurnya.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar atau batu pecah yang digunakan pada penelitian yaitu agregat kasar dari Binjai dengan ukuran $\pm 2-3$ cm

4. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas HKBP Nommensen Medan. Secara visual air tampak jernih, tidak berwarna dan tidak berbau. Layak digunakan untuk pencampuran beton

5. Limbah Pecahan Beton

Pecahan beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah pecahan beton penelitian, benda uji yang berbentuk silinder yakni dengan perbandingan proporsi 1 : 2 : 3 atau setara dengan kekuatan 175 mpa, yang berada di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas HKBP Nommensen Medan. dan ukuran limbah beton yang akan di pecah-pecahkan sebagai pengganti sebagian agregat kasar yakni 1 – 4 cm.

6. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Univeritas HKBP Nommensen Medan.

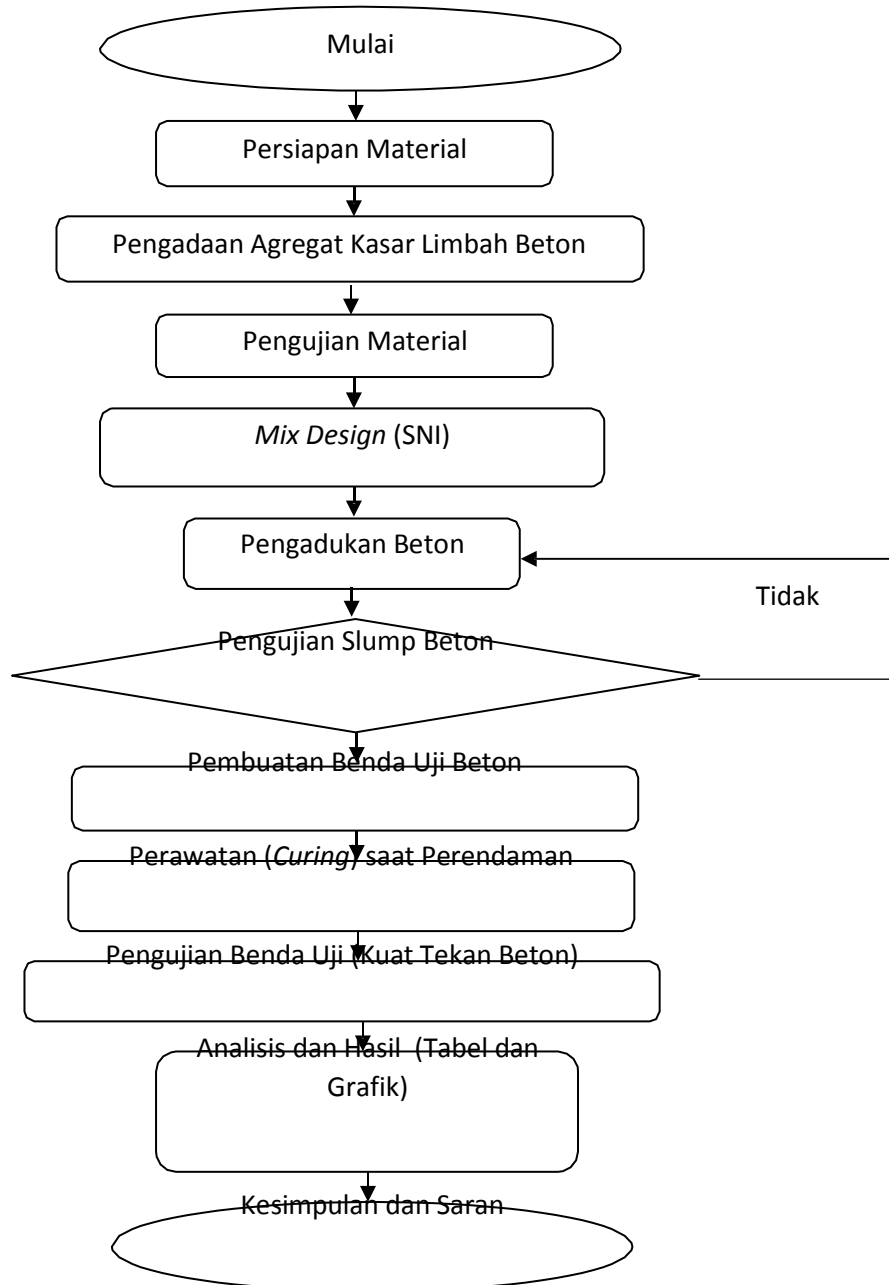
Tabel 3.1 Jumlah benda uji

KELOMPOK	JUMLAH PENGUJIAN KUAT TEKAN PADA UMUR				JUMLAH BENDA UJI
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	
Beton Normal	3	3	3	3	12
Beton dengan limbah pecahan beton					
15 %	3	3	3	3	12
30 %	3	3	3	3	12
45 %	3	3	3	3	12
JUMLAH	12	12	12	12	48

Tabel dibawah merupakan jumlah sampel yang akan di cetak dalam penelitian dilaboratorium dengan masing-masing variasi 3 sampel setiap umur betonnya.

3.3 Alur Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Alur Pelaksanaan Penelitian

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas HKBP Nommensen Medan.

3.5 Tahapan Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mendapatkan *mix design*. Pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam material tersebut sesuai dengan peraturan. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian material penyusun beton :

3.5.1 Pengujian Kehalusan Semen Portland (SNI 15-2530-1991)

Tujuan pengujian kehalusan semen adalah untuk menentukan nilai kehalusan semen Portland dengan cara penyaringan. Kehalusan semen Portland adalah perbandingan berat benda uji yang tertahan di atas saringan no.100 dan 200 dengan berat benda uji semula. Adapun Peralatan yang digunakan adalah saringan (No.100,200, dan PAN) timbangan ketelitian 0,1%, kuas. Berikut langkah-langkah untuk melakukan pengujiannya yakni: Benda uji semen dimasukkan ke dalam saringan No.100 yang terletak di atas saringan No.200 dan dipasang PAN di bawahnya. Lalu saringan digetarkan menggunakan mesin penggetar selama 5 menit. Setelah itu, timbang masing-masing benda uji yang tertahan di setiap saringan dan catat beratnya. Dan hitunglah berapa nilai kehalusan semen.

Rumus perhitungan :

$$\text{Kehalusan (F)} = \frac{A}{B} \times 100\%$$

Keterangan:

A = Berat benda uji semula

B = Berat benda uji yang tertahan pada saringan no.200

3.5.2 Pemeriksaan Berat Jenis Semen Portland (SNI 03-2531-1991)

Tujuan dari pemeriksaan ini ialah menentukan nilai berat jenis semen Portland dan untuk pengendalian mutu beton. Adapun Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini yakni: Botol Le Chatelier, Saringan No.200, Timbangan digital, Ember. Dan bahan yang digunakan yakni: Semen Portland Tipe I sebanyak 64 gram,

Air, Minyak tanah. Setelah peralatan dan bahan telah disiapkan berikut Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pengujiannya yakni; Persiapkan alat dan bahan. Saring semen dengan menggunakan saringan No.200 sebanyak 64 gram untuk satu sampel. Lalu ambil tabung Le Chatelier yang diisi dengan minyak tanah, lalu rendam tabung dengan air bersih ke dalam ember selama 20 menit. Setelah 20 menit, angkat tabung kemudian baca skala pada tabung (V_1). Skala pada tabung 0-1. Kemudian masukkan semen yang telah disaring ke dalam tabung Le Chatelier secara perlahan agar tidak ada semen yang menepel pada dinding tabung. Bisa menggunakan corong kaca. Kemudian tabung digoyang secara perlahan sampai gelembungnya hilang dan tidak ada lagi semen yang menempel di dinding tabung, Setelah itu, masukkan tabung Le Chatelier ke dalam ember, lalu rendam selama 20 menit. Setelah 20 menit, angkat tabung dan baca skala pada tabung (V_2). Kemudian hitunglah data yang telah didapat.

Rumus perhitungan :

$$BJ = \frac{w}{(V_2 - V_1)} \times d$$

Keterangan :

BJ	= Berat jenis semen Portland (gram/ml)
w	= Berat semen Portland (gram)
V	= Volume awal (ml)
V ₂	= Volume akhir (ml)
d	= Massa jenis air pada suhu ruang yang tetap 4C (1 gram / ml)

3.5.3 Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar dan Halus (SNI 03-1968-1990)

Tujuan Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat adalah untuk menentukan bagian butir (gradasi) agregat. Data distribusi butiran pada agregat diperlukan dalam perencanaan adukan beton .Peralatan yang digunakan: Timbangan dengan ketelitian 0,1 % dari agregat yang akan diuji, Saringan-saringan yang telah ditentukan ukuran lubangnya, Oven dengan pengatur suhu (110 ± 5) C, Alat penggetar, Talam atau wadah, Kuas pembersih, sikat kuning. Dan bahan yang digunakan yakni Pasir dan Kerikil. Prosedur-prosuder yang digunakan dalam

pengujiannya yakni: Bahan atau benda uji yang akan diuji di oven terlebih dahulu sampai mencapai berat tetap. Kemudian masukkan benda uji ke saringan yang telah disusun. Susunan saringan dimulai dari saringan paling besar diatas sampai paling kecil dibawah. Lalu getarkan mesin penggetar selama 15 menit. Setelah 15 menit Pisahkan benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan. Kemudian timbang dan catat berat benda uji yang telah dipisahkan. Dan hitung analisis agregat saringan.

Rumus perhitungan :

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i}{W} \right) \times 100}{100}$$

3.5.4 Pengujian Kadar Air Agregat (SNI 03-1971-1990)

Tujuan pengujian ini ialah untuk menentukan kadar air dalam suatu agregat dengan cara pengeringan. Dalam pengujian ini alat yang digunakan yakni timbangan, talam dan over dengan bahan uji agregat kasar sebanyak 6000 gram dan agregat halus sebanyak 1000 gram. Kemudian dilakukan pengujian dengan menimbang dan catat berat talam (W1), Kemudian masukan benda uji kedalamtalam kemudian timbang dan catat beratnya (W2), hitunglah berat benda uji (W3=W2-W1), setelah itu keringkan benda uji dalam oven dengan suhu (110 5)C, setelah kering timbang dan catat berat benda uji (W4)

Rumus perhitungan :

$$\text{Kadar air Agregat} = \frac{W_3 - W_4}{W_4} \times 100\%$$

Keterangan :

w3 = berat benda uji semula (gram)

w4 = berat benda uji sesudah penelitian (gram)

3.5.5 Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Pemeriksaan dalam penelitian ini adalah bertujuan untuk menentukan berat isi agregat halus dan kasar. Dengan menggunakan Timbangan yang ketelitiannya 0,1 gram, wadah silinder, sekop, mistar perata, tongkat pemadat sebagai peralatan yang digunakan dan agregat kasar dan agregat halus sebagai bahan digunakan dalam

pengujian berat isinya. Setelah alat dan bahan yang akan digunakan sudah disiapkan.

Lakukan pengujian pada agregat kasar dengan mengukur diameter dan tinggi dari wadah silinder yang akan digunakan terlebih dahulu menggunakan mistar. Lalu timbang dan catatlah berat wadah tersebut sebagai (W_1) kemudian isilah wadah dengan agregat kasar dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat yang dirojek sebanyak 25 kali secara merata. Pada saat lapis ke tiga, isi agregat kasar melebihi ukuran wadah. Rojok sebanyak 25 kali kemudian ratakan dengan mistar perata. Lalu timbang dan catatlah berat benda wadah beserta agregat kasar (W_2). Kemudian hitunglah berat agregat kasar dengan rumus ($W_3 = W_2 - W_1$).

Kemudian lakukan pengujian pada agregat halus dengan mengukur diameter dan tinggi dari wadah silinder yang akan digunakan terlebih dahulu menggunakan mistar. Lalu timbang dan catatlah berat wadah tersebut sebagai (W_1) kemudian isilah wadah dengan agregat halus dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat yang dirojek sebanyak 25 kali secara merata. Pada saat lapis ke tiga, isi agregat halus melebihi ukuran wadah. Rojok sebanyak 25 kali kemudian ratakan dengan mistar perata. Lalu timbang dan catatlah berat benda wadah beserta agregat halus (W_2). Kemudian hitunglah berat agregat kasar dengan rumus ($W_3 = W_2 - W_1$).

Rumus perhitungan :

$$\text{Berat Isi Agregat} = \frac{W}{V} \text{ kg/cm}^3$$

Keterangan :

W = Berat agregat (kg)

V = Volume Wadah (cm^3)

3.5.6 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI 1969-2008)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis dan penyerapan agregat kasar, dengan menggunakan Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, Saringan No.9,5 mm dan 4,75 mm, Oven dengan suhu pemanasan 110 5 C, Wadah baja, Gelas ukur, Kain lap, PAN sebagai alat dalam pengujian

menyiapkan agregat kasar sebanyak 2600 gram dibagi untuk 2 sampel pengujian dan air bersih. Setelah itu lakukan pengujian dengan menyiapkan semua alat dan bahan yang digunakan, lalu cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau kotoran yang melekat pada benda uji, setelah dicuci keringkan agregat dalam oven selama 24 jam setelah 24 jam dalam oven dinginkan agregat kemudian timbang (BK), lalu rendam agregat dalam air selama 24 jam, setelah selesai direndam 24 jam keluarkan benda uji dari air dan lap dengan menggunakan kain lap pada permukaannya, untuk mendapatkan agregat dalam keadaan SSD, kemudian timbang berat agregat tersebut dan catat sebagai Berat SSD. Masukkan agregat tadi ke dalam gelas ukur plastik sedikit ditambah air pada batas tertentu, setelah itu kocok agar tidak ada lagi gelembung udara dan kemudian timbang berat bejana + air + agregat (B), lalu keluarkan agregat, kemudian masukkan air pada batas tertentu, lalu timbang (BT). Setelah itu lakukan pengolahan data untuk menentukan nilai Bj kering, Bj SSD, Bj semu dan penyerapan berdasarkan rumus yang telah ditentukan.

Rumus perhitungan

- Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) $= \frac{W_1}{W_2 - W_3} \dots \dots \dots (1)$
- Berat Jenis SSD $= \frac{W_1}{W_2 - W_3} \dots \dots \dots (2)$
- Berat Jenis Semu $= \frac{W_1}{W_2 - W_3} \dots \dots \dots (3)$
- Penyerapan (Absorpsi) $= \frac{W_2 - W_3}{W_1} 100\% \dots \dots \dots (4)$

3.5.7 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles (SNI 2417-2008)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan tingkat keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles. Dengan menggunakan: Mesin Los Angeles, Saringan No.12,5 mm; 9,5 mm; dan saringan 2,36 mm, Bola baja sebanyak 8 buah, Timbangan digital ketelitian 0,01 gr, Oven, Wadah, Stopwatch dan agregat kasar sebanyak 5000 gram sebagai alat dan bahannya. Setelah alat dan bahan yang akan digunakan telah disiapkan timbang agregat kasar sebanyak 5000 gram, yaitu agregat yang lolos saringan 12,5 mm dan tertahan saringan 9,5 mm, Lalu cuci agregat tersebut hingga bersih dan oven selama 24 jam, dan setelah di oven

dinginkan agar suhunya sama dengan suhu ruang, Setelah dingin masukkan benda uji ke dalam mesin Los Angeles dan 8 buah bola baja, Nyalakan mesin dnegan kecepatan putaran 30-33 rpm yaitu sekitar 500 putaran selama 15 menit. Setelah selesai, keluarkan agregat dari mesin Los Angeles dan saring menggunakan saringan 2,36 mm. Timbang berat agregat yang lolos dan tertahan di saringan 2,36 mm dan setelah itu lakukan pengolahan data.

Rumus perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

3.5.8 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 1970-2008)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis dari agregat halus. Dengan menggunakan: Piknometer kapasitas 500 ml, Timbangan, Oven, Kerucut terpancung (cone), Batang penumbuk, Wadah, Saringan No.4 sebagai peralatannya dan Agregat halus dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram. Setelah alat dan bahan yang akan digunakan sudah disiapkan, periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisi benda uji ke dalam cone, masukkan benda uji ke dalam con sampai 3 bagian. Kemudian padatkan dengan batang penumbuk selama 25 kali, angkat kerucut. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak, apabila masih runtuh ulangi. Lalu ambil agregat halus 500 gram yang lolos saringan No.4 timbang berat piknometer. Setelah itu tambahkan air hingga mencapai 90% isi piknometer teresebut lalu timbang beratnya, kemudian buang airnya. Masukkan 500 gram agregat halus dalam kondisi SSD ke dalam piknometer kemudian tambahkan air hingga 90%, kemudian goyangkan piknometer sampai gelembung udara menghilang. Timbang piknometer berisi air dan benda uji dengan timbangan ketelitian 0,1 gram. Diamkan selama 24 jam dalam suhu ruangan. Setelah 24 jam keluarkan benda uji dengan cara menambahkan air kemudian saring untuk memisahkan air dengan agregat menggunakan saringan, kemudian masukkan ke dalam adah lalu keringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5)C selama 24 jam. Setelah 24 jam keluarkan benda uji dari oven, kemudian timbang benda uji tersebut. Dan catatlah beratnya.

Rumus perhitungan :

$$\text{Berat Uji (Bulk)} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2 + m_3)} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Berat Uji kering} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2 + m_3)} \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{Berat Uji semu} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2 - m_3)} \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

3.5.9 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus Dan Kasar (SNI 03-4428-1997)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan persentasi kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur seharusnya sebesar 5% dari berat agregat halus. Dengan menggunakan: Gelas ukur kapasitas 100 ml 2 buah sebagai peralatan yang digunakan, dan Agregat halus dan Larutan sebagai bahannya. Setelah alat dan bahan yang akan digunakan sudah disiapkan, masukkan pasir ke dalam gelas ukur sebanyak 15 ml dan 25 ml, lalu tambahkan air kedalam gelas ukur hingga mencapai 115 ml dan 125 ml, kemudian tutup permukaan gelas dan kocok untuk mencuci pasir dari lumpur. Setelah dikocok, simpan gelas ukur dan biarkan mengendap selama 24 jam. Setelah 24 jam ukur tinggi pasir dan lumpur yang ada di gelas ukur tersebut.

Rumus perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \times 100\%$$

Keterangan :

v1 = Pembacaan skala ke-1 (ml)

v2 = Pembacaan skala ke-2 (ml)

3.5.10 Pemeriksaan Keausan Limbah Pecahan Beton dengan Mesin Los Angeles (SNI 2417-2008)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan tingkat keausan agregat kasar (Limbah Pecahan Beton) dengan menggunakan mesin Los Angeles. Dengan menggunakan: Mesin Los Angeles, Saringan No.12,5 mm; 9,5 mm; dan saringan 2,36 mm, Bola baja sebanyak 8 buah, Timbangan digital ketelitian 0,01 gr, Oven,

Wadah, Stopwatch dan Agregat kasar (Limbah pecahan beton) sebanyak 5000 gram sebagai alat dan bahannya. Setelah alat dan bahan yang akan digunakan telah disiapkan, timbang agregat kasar sebanyak 5000 gram, yaitu agregat yang lolos saringan 12,5 mm dan tertahan saringan 9,5 mm. Lalu cuci agregat tersebut hingga bersih dan oven selama 24 jam, dan setelah di oven dinginkan agar suhunya sama dengan suhu ruang. Setelah dingin masukkan benda uji ke dalam mesin Los Angeles dan 8 buah bola baja. Nyalakan mesin dengan kecepatan putaran 30-33 rpm yaitu sekitar 500 putaran selama 15 menit. Setelah selesai, keluarkan agregat dari mesin Los Angeles dan saring menggunakan saringan 2,36 mm. Timbang berat agregat yang lolos dan tertahan di saringan 2,36 mm dan setelah itu lakukan pengolahan data.

Rumus perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

3.6 Tata Cara Pembuatan Rencana Mix Design Menurut SNI 03-2834-1993

Berdasarkan SNI 03-2834-1993, dalam perencanaan campuran beton harus memenuhi persyaratan berikut :

- a. Perhitungan perencanaan campuran beton harus didasarkan pada data sifat-sifat bahan yang akan dipergunakan dalam produksi beton.
- b. Komposisi campuran beton yang diperoleh dari perencanaan ini harus dibuktikan melalui campuran coba, yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan beton yang disyaratkan.

Langkah-langkah perencanaan komposisi campuran adukan beton normal menurut SNI 03-2834-1993 adalah sebagai berikut :

- a. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$) pada umur tertentu. Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan struktur dan kondisi setempat. Untuk struktur bangunan tahan gempa disyaratkan kuat tekan beton lebih dari 20 Mpa.
- b. Penetapan nilai deviasi standar (s). Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian dalam pelaksanaan pencampuran beton. Semakin baik tingkat pengendalian mutu, semakin kecil nilai deviasi standarnya. Jika jumlah benda uji minimal 30 buah, maka data standar deviasi yang dimiliki

bisa langsung digunakan. Jika jumlah benda uji kurang dari 30 buah, maka harus dilakukan penyesuaian.

- c. Menentukan nilai tambah atau *margin* (*m*)

$$m = 1,34s \text{ Mpa}$$

atau

$$m = 2,33s - 3,5 \text{ Mpa}$$

(diambil nilai yang terbesar dari kedua persamaan di atas)

Tabel 3.2 Mutu pelaksanaan, volume adukan dan deviasi standar

Volume pekerjaan		Deviasi Standar sd (MPA)		
Sebutan	Volume Beton (m ³)	Mutu Pekerjaan		
		Baik sekali	Baik	Dapat diterima
Kerikil	< 100	4,5 < s ≤ 5,5	5,5 < s ≤ 6,5	6,5 < s ≤ 8,5
Sedang	1000 – 3000	3,5 < s ≤ 4,5	4,5 < s ≤ 5,5	5,5 < s ≤ 7,5
Besar	> 3000	2,5 < s ≤ 3,5	3,5 < s ≤ 4,5	4,5 < s ≤ 6,5

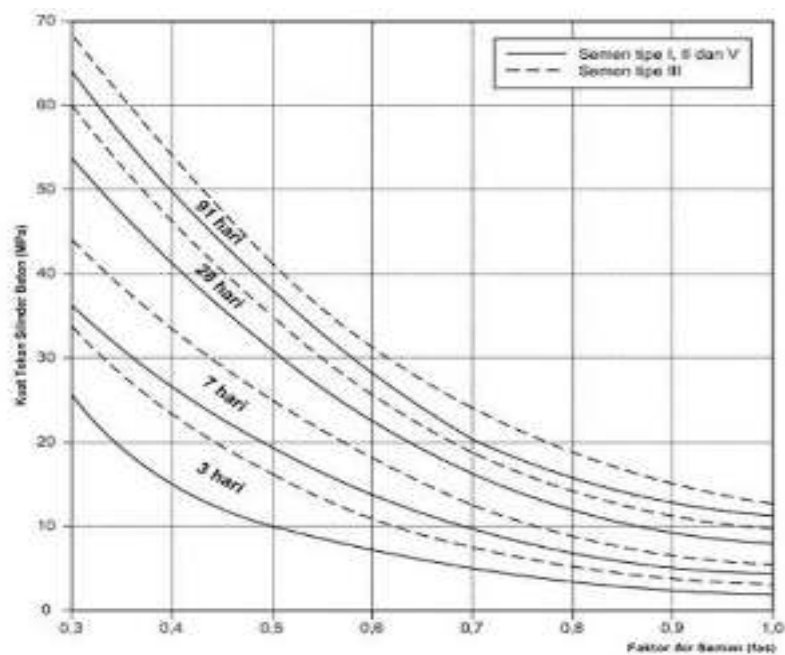
(Sumber : SNI 03-2834-1993)

- d. Menetapkan nilai kuat tekan rata-rata yang harus direncanakan dengan menggunakan rumus : $f'_{cr} = f'_c + m (sd \times 1,64)$
- e. Menetapkan jenis semen
- f. Menetapkan jenis agregat yang akan digunakan, baik untuk agregat halus maupun agregat kasar, harus jelas menggunakan agregat alami atau batu pecah/buatan.
- g. Menentukan nilai faktor air semen (FAS); untuk tahapan ini bisa dilakukan dengan dua cara yaitu :
1. Cara pertama : berdasarkan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu berdasarkan tabel

Tabel 3.3 Perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Portland tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	

(Sumber : SNI-03-2834-2002)



Gambar 3.2 Faktor air semen

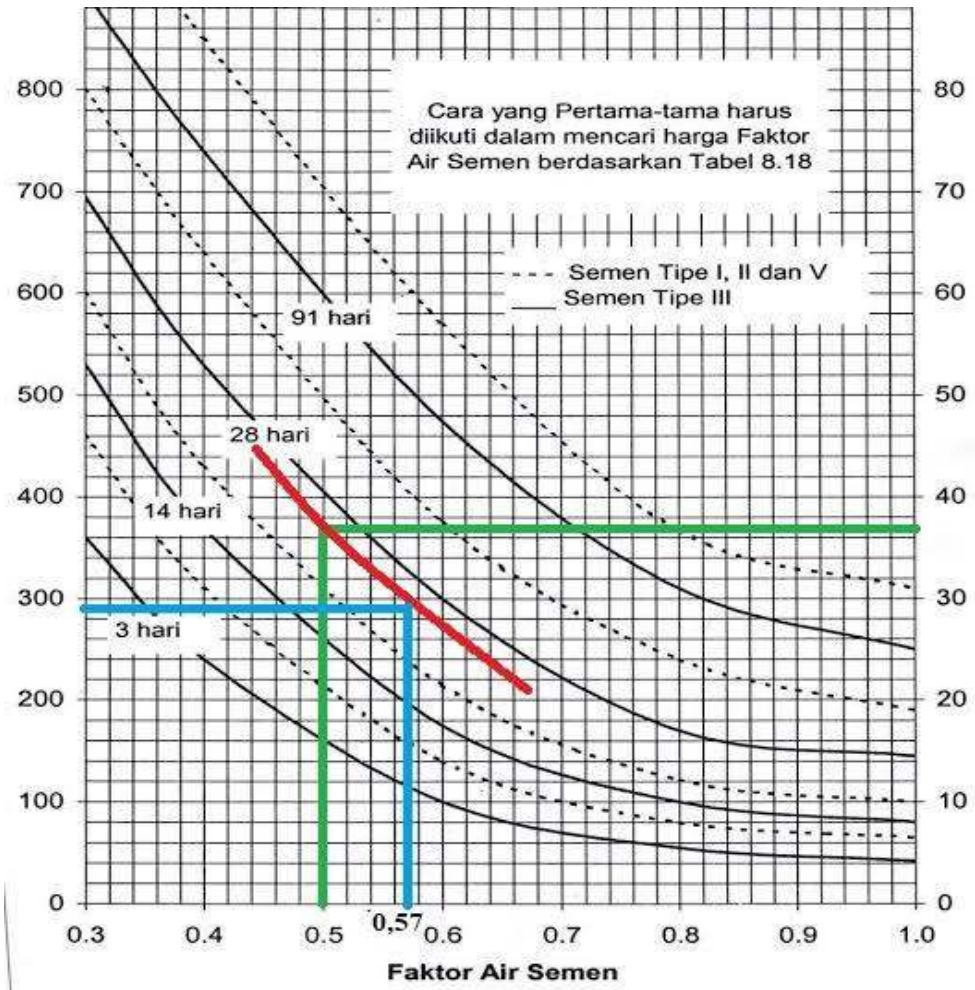
(Sumber : Penelitian 2021)

Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton (sebagai perkiraan nilai FAS dalam rancang campuran).

2. Cara kedua : untuk benda uji kubus, berdasarkan jenis semen yang digunakan, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata beton yang

direncanakan pada umur tertentu, dapat ditetapkan nilai faktor air semen dari Tabel 3.3. dan Gambar, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Perhatikan Tabel 3.3. di bawah ini. Berdasarkan data jenis semen, jenis agregat kasar, dan umur beton rencana, diperkirakan nilai kuat tekan beton yang akan diperoleh, jika
- b. dipakai faktor air semen, sebesar 0,5.
- c. Lihat Gambar. Lukislah titik A pada Gambar dengan nilai FAS 0,5 (sebagai absis) dan kuat tekan beton yang diperoleh dari Tabel 3.3. (sebagai ordinat). Kemudian pada titik A tersebut dibuat grafik baru yang bentuknya sama/mengikuti 2 buah grafik yang ada di dekatnya. Selanjutnya tarik garis mendatar dari sumbu tegak di sebelah kiri, sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan, sampai memotong grafik baru tersebut, lalu tarik garis ke baah untuk memperoleh nilai faktor air semen yang sesuai.
- h. Menetapkan nilai faktor air semen maksimum. Agar beton yang diperoleh awet dan mampu bertahan terhadap pengaruh lingkungan sekitarnya, perlu ditetapkan nilai FAS maksimum menurut tabel 3.3. Apabila nilai FAS maksimum ini lebih rendah dari pada nilai FAS yang diperoleh dari langka g, maka nilai FAS maksimum ini yang digunakan untuk langkah selanjutnya. Dengan kata lain nilai FAS yang terkecil dari Langkah g dan h, yang akan digunakan untuk tahap selanjutnya :



Gambar 3.3 Hubungan FAS Kuat Tekan Rata-Rata Silinder

- i. Menentukan kadar air bebas dari tabel 3.4

Tabel 3.4 Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3)

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10 mm	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20 mm	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40 mm	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber Diklat perkerasan kaku-2017)

Jika agregat halus alami dan agregat kasar batu pecah, kadar air bebas dihitung sebagai berikut :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} + \frac{1}{3}W_k$$

Dengan pengertian, W_h = jumlah air untuk agregat halus, W_k = jumlah air untuk agregat kasar.

Untuk permukaan agregat yang kasar harus ditambahkan air kira-kira 10 liter air/ m^3 beton.

- j. Hitung jumlah semen = kadar air / faktor air semen

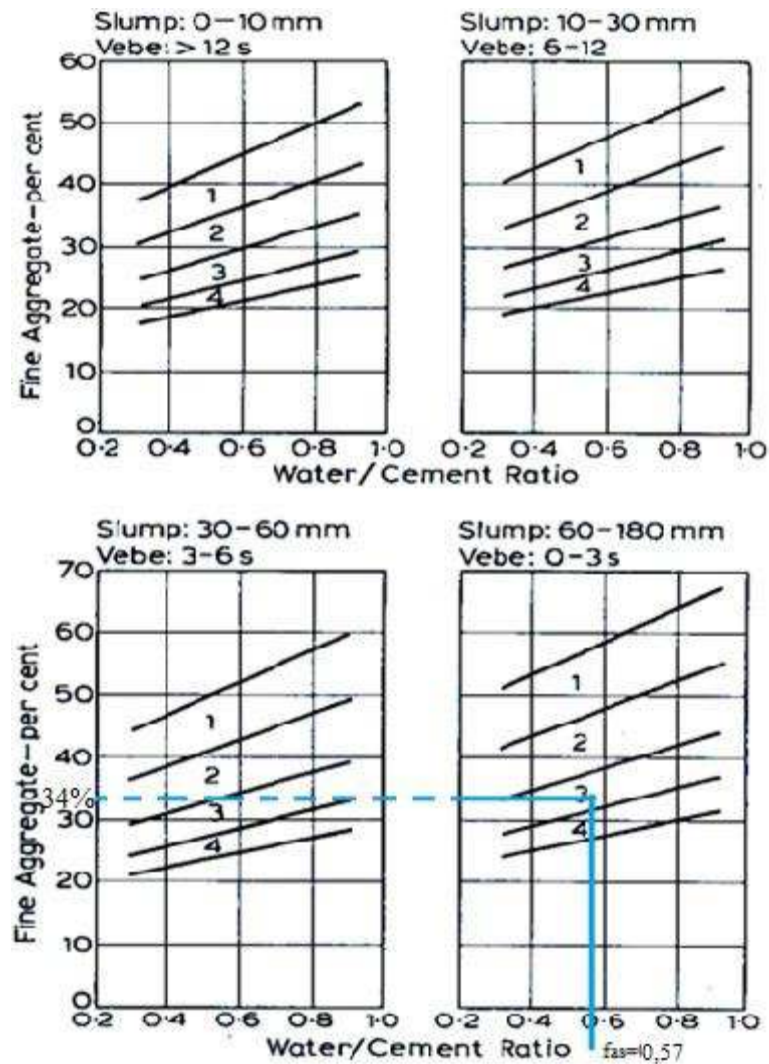
- k. Menentukan daerah gradasi agregat halus berdasarkan tabel dibawah

Tabel 3.5 Batas gradasi agregat halus SNI 03-2823-1993

Ukuran Saringan	Persentase Berat yang Lolos Saringan			
	Gradasi Zona I	Gradasi Zona II	Gradasi Zona III	Gradasi Zona IV
9,60 mm	100	100	100	100
4,80 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

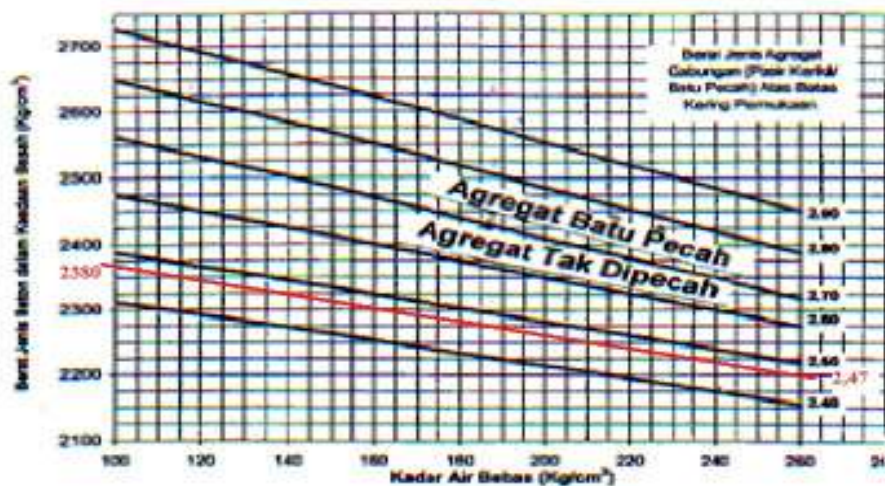
(Sumber : SNI-03-2823-1993)

1. Menentukan persentase agregat halus berdasarkan gambar 3.3



Gambar 3.4 Hubungan faktor air semen – proporsi agregat halus untuk ukuran butir maksimum 40 mm

- m. Hitung berat jenis relatif = $(\% \text{ agregat halus} \times \text{berat jenis agregat halus}) + (\% \text{ agregat kasar} \times \text{berat jenis agregat kasar})$.
- n. Menentukan berat beton basah menurut gambar 3.5



Gambar 3.5 grafik penentuan berat beton segar

o. Koreksi proporsi campuran yang disesuaikan adalah :

Semen, tetap = B1

Air = $B2 - (Cm - Ca) \times B3/100 - (Dm - Da) \times B4/100$

Agregat halus = $B3 + (Cm - Ca) \times B3/100$

Agregat kasar = $B4 + (Dm - Da) \times B4/100$

Keterangan :

B1 = berat semen/m³

B2 = berat air/m³

B3 = berat agregat halus/m³, SSD

B4 = berat agregat kasar/m³, SSD

Cm = kadar air agregat halus (%)

Ca = resapan agregat halus (%)

Dm = kadar air agregat kasar (%)

Da = resapan agregat kasar

3.7 Pembuatan Benda Uji

3.7.1 Tahapan penimbangan material

Menakar seluruh bahan yang digunakan dalam beton sesuai dengan *mix design* dan menimbang bahan-bahan tersebut agar sesuai dengan yang dibuat. Timbangan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah timbangan manual.

3.7.2 Tahapan pengadukan beton segar

Dalam pengadukan beton menggunakan alat mesin pengadukan campuran beton selama penelitian. Langkah-langkah dalam proses pengadukan menggunakan mesin pengaduk adalah sebagai berikut : Siapkan terlebih dahulu agregat-agregat yang akan di aduk. Lalu masukkan agregat halus dan semen terlebih dahulu dan memutar mesin pengaduk. Lalu masukkan agregat kasar dan putar kembali sampai campuran merata. Kemudian masukkan air sedikit demi sedikit sampai 50% air yang akan dimasukkan dan putar mesin pengaduk dengan tenaga mesin. Setelah campuran tersebut sudah kelihatan tidak kering lagi, masukkan sisa air berikutnya sedikit demi sedikit dan aduk kembali hingga rata sampai campuran terlihat homogen.

3.7.3 Tahapan test slump beton dengan kerucut Abram

Sediakan alat-alat *test slump* . yaitu kerucut Abram, Kemudian tuangkan beton segar ke dalam cetakan kerucut sebanyak 1/3 dari tinggi kerucut tersebut. Kemudian lakukan perojokkan atau pemadatan terhadap beton sebanyak 25 kali rojokan searah jarum jam. Lakukan kembali pemasukkan beton segar kemudian rojok kembali. Lakukan sampai cetakan kerucut penuh. Setelah penuh beton diratakan bagian atasnya, dan angkat tabung kerucut tersebut secara vertikal tanpa adanya gerakan horizontal. Dengan waktu tidak dari 52 detik. Kemudian letakkan tabung kerucut di samping beton yang tumpah dan penusuk tepat di atasnya. Ukur dengan meteran dari puncak coran ke tiang penusuk. Hasil pengukuran adalah nilai *slump* dari coran tersebut. Apabila nilai *slump* memenuhi syarat maka coran beton bisa digunakan. Selesaikan seluruh pekerjaan dari awal sampai akhir dengan waktu tidak lebih dari 2,5 menit.

3.7.4 Tahapan penuangan dan pemadatan beton segar

Tahapan ini merupakan tahapan memasukkan adukan beton ke dalam silinder, dengan memasukkan adukan beton sebanyak 3 kali, 1/3 dari silinder. Setiap 1/3 lapisan lakukan perojokkan sebanyak 25 kali secara merata. Setelah tiap lapisan dirojok, bagian luar silinder diketok menggunakan palu sebanyak 10 sampai 15 kali secara pelan-pelan untuk merapatkan lubang akibat rojokkan dan untuk

mengeluarkan udara yang terperangkap. Setelah silinder terisi penuh, ratakan permukaannya dan bersihkan silinder.

a. Tahapan perawatan benda uji

Perawatan benda uji dapat dilakukan dengan perendaman. Perawatan benda uji dilakukan untuk menghindari penguapan air pada benda uji.

Adapun cara perendamannya adalah sebagai berikut :

1. Setelah 24 jam dari beton dibuat maka cetakan beton silinder dibuka, lalu dilakukan perendaman terhadap sampel beton tersebut.
2. Perendaman dilakukan sampai umur 28 hari didalam air biasa.
3. Sebelum beton direndam terlebih dari dahulu diberi tanda atau kode penamaan pada permukaan sampel.

3.8 Tahapan pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 7, 14, 21 dan 28 hari.

- a. Alat yang digunakan: Timbangan manual dan CONTROL-ITALY sebagai alat penguji kuat tekan.
- b. Bahan yang digunakan: Adukan Beton (*Molen*)
- c. Tahapan pengadukan: Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian keringkan selama 24 jam, Setelah diredam 24 jam timbang dan mencatat berat sampel beton, kemudian letakkan sampel beton di atas alat penguji, lalu hidupkan mesin dan lakukan pembebanan secara perlahan. Lalu lakukan pembebanan sampai beton hancur, kemudian catat hasil beban maksimum.