

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton disusun dari agregat kasar dan agregat halus (SNI 03-2834, 2000). Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

Beton pada umumnya mengandung rongga udara sekitar 1% - 2% pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat (agregat halus dan kasar) sekitar 60% - 70%. Meskipun hanya sebagai pengisi tetapi agregat juga berpengaruh terhadap sifat-sifat beton sehingga pemilihan agregat juga merupakan bagian penting dalam pembuatan beton.

Klasifikasi beton umumnya dilakukan berdasarkan berat jenis dan kuat tekannya. Berdasarkan berat jenisnya, beton dibagi atas beton ringan yang memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/m^3 , beton normal memiliki berat jenis 2400 kg/m^3 , dan beton berat memiliki berat jenis di atas 3200 kg/m^3 . Berdasarkan 10 kuat tekannya, beton dikategorikan sebagai beton mutu rendah yang memiliki kuat tekan kurang dari 20 MPa, sedangkan beton mutu sedang memiliki kuat tekan 20 – 40 MPa, dan beton mutu tinggi memiliki kuat tekan di atas 40 MPa.

2.1.1 Karakteristik Beton

Beton yang terbentuk dari pencampuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air memiliki sifat khusus. Dalam keadaan segar, beton harus mudah dikerjakan dan dalam keadaan keras beton harus mampu menerima beban tekan serta awet dalam menghadapi serangan kondisi lingkungan. Selain itu, beton juga dapat dirancang sesuai dengan peruntukannya dan kualitas yang diinginkan. Beton yang baik harus memenuhi 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.
3. Memiliki lekatan antara matriks dan agregat yang baik. Hal ini dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan kebersihan permukaan material alam.

Secara detail diuraikan sifat beton terbagi atas dua, yaitu sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah dicampur dan sifat beton dalam keadaan keras.

2.1.2 Sifat Beton Segar

Sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah dicampur, tiga sifat yang penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan agregat (*segregasi*), dan pemisahan air (*bleeding*).

1. Kemudahan pengerjaan (*workability*)

Workability adalah kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa homogenitas beton berkurang dan beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan. *Workability* akan lebih jelas pengertiannya dengan adanya sifat sifat sebagai berikut ini.

- a. *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.
- b. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat, dan tidak mengalami pemisah butiran (*segregasi* dan *bleeding*).
- c. *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang
- d. *Finishibility* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Unsur-unsur yang mempengaruhi *workability* antara lain sebagai berikut:

- a. Jumlah air yang digunakan dalam campuran beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton semakin mudah dikerjakan.
- b. Penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk diperoleh nilai faktor air semen (FAS) tetap.

- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- d. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- e. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
- f. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda.

2. Pemisahan agregat (*segregasi*)

Segregasi adalah kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton. *Segregasi* dapat terjadi karena turunnya butiran ke bagian bawah dari beton segar, atau terpisahnya agregat kasar dari campuran, akibat cara penuangan dan pemadatan yang salah. *Segregasi* tidak bisa diujikan sebelumnya, hanya dapat dilihat setelah semuanya terjadi. Secara nyata, kejadian *segregasi* beton dapat dilihat ketika pencampuran bahan yaitu nampak pemisahan antara agregat dan pasta semen. *Segregasi* pada beton disebabkan oleh:

- a. Campuran yang kurus atau kurang semen.
- b. Penggunaan air yang terlalu banyak.
- c. Gradasi agregat yang tidak sesuai standar.
- d. Campuran yang kasar atau kurangnya agregat halus.
- e. Tinggi jatuh pengecoran beton yang tertinggi.

Pemisahan kerikil dari adukan beton berakibat kurang baik terhadap sifat beton keras. Jika tingkat *segregasi* beton sangat tinggi, maka ketidaksempurnaan konstruksi beton juga tinggi. Hal ini dapat berupa keropos, terdapat lapisan yang lemah dan berpori, permukaan nampak bersisik dan tidak rata. Mengurangi kecenderungan tersebut, dapat dicegah dengan hal-hal berikut:

- a. Jumlah air dan semen yang tepat.
- b. Gradasi agregat yang memenuhi syarat.

- c. Cara pengangkutan, penuangan maupun pemadatan harus mengikuti tata cara yang benar.

3. Pemisahan air (*bleeding*)

Bleeding adalah pengeluaran air dari adukan beton yang disebabkan oleh pelepasan air dari pasta semen. Sesaat setelah dicetak, air yang terkandung didalam beton segar cenderung untuk naik ke permukaan membawa semen dan butir-butir halus, naiknya air bersamaan dengan turunnya bahan ke dasar disebabkan oleh pengaruh gravitasi akibat berat sendiri. Pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. *Bleeding* dipengaruhi oleh:

- a. Susunan butir agregat, jika komposisinya sesuai kemungkinan untuk terjadi *bleeding* kecil.
- b. Banyaknya air, semakin banyak air berarti makin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- c. Kecepatan hidrasi, semakin cepat beton mengeras makin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- d. Proses pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

Bleeding terjadi akibat ketidakmampuan bahan padat campuran untuk menangkap air pencampur. Ketika *bleeding* sedang berlangsung, air campuran terjebak di dalam kantong-kantong yang terbentuk antara agregat dan pasta semen (matriks). Sesudah *bleeding* selesai dan beton mengeras, kantong-kantong menjadi kering ketika berlangsung perawatan dalam keadaan kering. Akibatnya, apabila ada tekanan, kantong-kantong tersebut menjadi penyebab mudahnya retak pada beton dan bahan lembut semacam debu halus. Untuk mengurangi terjadinya *bleeding* maka dilakukan cara berikut:

- a. Memberi lebih banyak semen dalam campuran.
- b. Menggunakan air sesedikit mungkin.
- c. Menggunakan butir halus (pasir) lebih banyak.
- d. Menyesuaikan intensitas dan durasi penggetar sesuai dengan nilai *slump* campuran.

2.1.3 Sifat Beton Keras

Sifat beton dalam keadaan keras yaitu kekuatan beton (*concrete strength*), rangkai & susut (*Crawl and shrink*), kedap air (*waterproof*) dan tahan lama.

1. Kekuatan beton (*concrete strength*)

Beton baik dalam menahan tegangan tekan daripada jenis tegangan yang lain dan umumnya pada perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karena kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam kebanyakan kasus. Sifat kekuatan tekan merupakan sifat utama yang umum harus dimiliki oleh beton, sebab beton yang tidak cukup kekuatannya menurut kebutuhannya menjadi tidak berguna. Secara umum kekuatan beton dipengaruhi oleh dua hal yaitu faktor air semen dan kepadatannya.

2. Rangkai dan susut (*Crawl and shrink*)

Setelah beton mulai mengeras, beton akan mengalami pembebanan. Pada beton yang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastisitas murni pada waktu pembebanan singkat, sedangkan pada pembebanan yang tidak singkat beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai dengan lama pembebanannya.

Rangkai adalah peningkatan deformasi (regangan) secara bertahap terhadap waktu akibat beban yang bekerja secara konstan. Deformasi awal akibat pembebanan disebut sebagai regangan elastis, sedangkan regangan tambahan akibat beban yang sama disebut regangan rangkai. Rangkai timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Besarnya rangkai berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Rangkai akan lebih besar bila faktor air semen semakin besar. Agregat memberi pengaruh menghambat penyusutan.

Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban, jika terjadi kehilangan kandungan uap air akibat penguapan. Jika dihalangi secara merata, proses susut dalam beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah deformasi rangkai.

Proses rangkai selalu dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan dan sering kali memberikan pengaruh yang sama terhadap

deformasi. Pada umumnya, beton yang semakin tahan terhadap susut akan mempunyai kecenderungan rangkai yang rendah, sebab kedua fenomena ini berhubungan dengan proses hidrasi pasta semen. Rangkai dipengaruhi oleh komposisi beton, kondisi lingkungan dan ukuran benda uji atau elemen struktur. Pada prinsipnya rangkai merupakan fenomena bergantung pada beban sebagai fungsi waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkai dan susut adalah sebagai berikut:

- a. Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat).
- b. Rasio air terhadap jumlah semen (*water cement ratio*).
- c. Suhu pada saat pengerasan (*temperature*).
- d. Kelembaban pada saat proses penggunaan (*humidity*).
- e. Umur beton pada saat beban bekerja.
- f. Nilai *slump* (*slump test*).
- g. Lama pembebanan.
- h. Nilai tegangan.
- i. Nilai rasio permukaan komponen struktur.

3. Kedap air (*waterproof*)

Proses pengeringan beton, jumlah air yang dipakai tidak seluruhnya digunakan dalam proses hidrasi. Dimana hidrasi adalah reaksi kimia antara partikel semen dan air yang menghasilkan pasta semen atau bahan pengikat. Sebagian air terlepas sebagai *bleeding* dan menyebabkan terjadinya rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan.

4. Tahan lama (*durability*)

Durabilitas adalah kemampuan beton untuk menahan cuaca, serangan kimia, abrasi atau proses kerusakan lain. Dengan demikian durabilitas beton akan mempertahankan bentuk asli, kualitas dan kemampuan saat terekspose di lingkungan. Sifat ini terkait dengan kerusakan yang terjadi akibat kondisi lingkungan. Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan visual seperti perubahan warna dan tekstur atau dapat pula berupa kerusakan mekanis seperti penurunan kekuatan tekannya.

2.2 Bahan Penyusun Beton

2.2.1 Semen

Semen Portland adalah semen hidrolis 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 (SNI 2049, 2015).

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen Portland adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO_2) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe_2O_3 dan Al_2O_3) sekitar 7%-12%. Sifat-sifat semen Portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia. Berdasarkan terdapat lima tipe semen yang disajikan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Jenis Semen

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Tipe V	Semen Portland yang pemakaiannya menuntut syarat benar-benar tahan atas sulfat
Tipe IV	Semen Portland yang pemakaiannya menuntut panas hidrasi rendah
Tipe III	Semen Portland yang pemakaiannya membutuhkan syarat awal yang tinggi sesudah pengikatan
Tipe II	Semen Portland yang pemakaiannya membutuhkan ketahanan atas sulfat serta panas hidrasi

Sumber: (SNI 2049, 2015)

2.2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan maupun berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Kerikil sebagai hasil disintegrasi batuan karena diambil langsung dari sungai maka, mempunyai bentuk permukaan yang bulat tak beraturan, rata dan licin akibat gerakan-gerakan atau pengausan oleh air sehingga dapat mengurangi daya lekat dengan butiran agregat itu sendiri. Sedangkan, batu pecah diperoleh dari alat pemecah batu mempunyai bentuk permukaan yang tidak rata, tidak beraturan, bersudut tajam dan lebih kasar sehingga

dapat menambah daya rekat antara mortar dengan butiran agregat tersebut. Dengan demikian, dapat memperkecil *segregasi* dan beton yang dihasilkan lebih kuat.

Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-F, 1989) mempunyai syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Kadar bagian yang lemah bila diuji dengan goresan batang tembaga, maksimum 5%. Tabel berikut ini menunjukkan pengujian kekerasan agregat kasar.
2. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih dan panjang hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih dan panjang tersebut tidak melampaui 20% dari jumlah agregat seluruhnya.
3. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan
4. Sifat kekal apabila diuji dengan larutan jenuh geram sulfat, yaitu jika memakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12% dan jika memakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%.
5. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
6. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka, agregat kasar harus dicuci.
7. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
 - a. Sisa diatas ayakan 38 mm, harus 0% berat.
 - b. Sisa di atas ayakan 4,8 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
 - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.

Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-

berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diizinkan apabila menurut penilaian pengawas ahli cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa sehingga menjamin tidak terjadi *segregasi*.

2.2.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm (SNI 03-2834, 2000).

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus menurut Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-F, 1989) adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\pm 2,2$.
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
3. Sifat kekal apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat, yaitu jika memakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12% dan jika memakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Arti dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,060 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka, agregat halus harus dicuci.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams Harder. Untuk itu, bila diredam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap daripada warna larutan pembanding.
6. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air pada umur yang sama.
7. Susunan besar butir agregat halus harus memenuhi modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah

satu dalam daerah susunan butir menurut zona 1, 3, 3, dan 4 (SKBI/BS.882) dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

- a. Sisa diatas ayakan 4,8 mm harus maksimum 2% berat.
 - b. Sisa di atas ayakan 1,2 mm harus maksimum 10% berat.
 - c. Sisa di atas ayakan 0,3 mm harus maksimum 15% berat.
8. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir dengan alkali harus negatif.
 9. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat harus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.
 10. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan di atas.

Susunan besar butir agregat halus lebih penting daripada susunan besar butir agregat kasar karena agregat halus bersama dengan semen dan air membentuk mortar yang akan melekatkan dan mengisi rongga-rongga antar butiran agregat kasar sehingga beton yang dihasilkan permukaannya menjadi rata. Pemakaian agregat halus yang terlalu sedikit akan mengakibatkan hal-hal sebagai berikut:

1. Terjadi *segregasi* karena agregat kasar dengan mudah saling memisahkan diri akibat mortar yang tidak dapat mengisi rongga-rongga antara butiran agregat kasar dengan baik.
2. Campuran akan kekurangan pasir yang disebut *under sanded*.
3. Adukan beton akan menjadi sulit untuk dikerjakan sehingga dapat menimbulkan sarang kerikil.
4. *Finishing* akan menghasilkan beton dengan permukaan kasar.
5. Beton yang dihasilkan menjadi tidak awet.

Jika pemakaian agregat halus terlalu banyak, maka akan mengakibatkan hal-hal sebagai berikut:

1. Campuran menjadi tidak ekonomis.
2. Diperlukan banyak semen untuk mencapai kekuatan yang sama yang dihasilkan oleh campuran dengan perbandingan optimum antara agregat halus dan agregat kasar.
3. Campuran akan kelebihan pasir yang disebut *over sanded*.

4. Beton yang dihasilkan menunjukkan gejala rangkak dan susut yang lebih besar.

Berdasarkan terdapat batas gradasi agregat halus yang disajikan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Halus

Nomor	Lubang Ayakan (mm)	Persen berat yang lewat ayakan			
		1	2	3	4
4	4.76	90-100	90-100	90-100	95-100
8	2.38	60-95	75-100	85-100	95-100
16	1.19	30-70	55-90	75-100	90-100
30	0.59	15-34	34-59	60-79	80-100
50	0.297	5-20	8-30	12-40	15-50
100	0.149	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : (SNI 03-2834, 2000)

2.2.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan kurang lebih 25% dari berat semen. Namun, dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang kurang dari 0,35 sulit dilaksanakan kelebihan air yang ada digunakan sebagai pelumas. Penambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan berkurang. Selain itu, akan menimbulkan *bleeding*. Hasil *bleeding* ini berupa lapisan tipis yang mengurangi lekatan antar lapis-lapis beton. Fungsi air di dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pelicin bagi agregat halus dan kasar.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.
3. Penting untuk mencairkan bahan/material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Membasahi agregat untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia.
5. Memungkinkan campuran beton mengalir ke dalam cetakan.

Air yang dapat digunakan untuk campuran beton akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Air yang diserap dalam agregat, yang membuat agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry = SSD*).

2. Air yang ditambah selama proses pencampuran (*mixing*). Jumlahnya dikoreksi dengan air permukaan pada agregat dan atau tanpa air yang diserap dalam agregat, tergantung pada pengambilan dasar perhitungan dalam perbandingan air/semen (FAS).
3. Air permukaan pada agregat. Jumlah bervariasi serta mempengaruhi jumlah air total untuk campuran beton.

Persyaratan air yang digunakan adalah air harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pra-tekan dan beton yang ditanami logam aluminium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung *ion klorida* dalam jumlah yang membahayakan. Untuk perlindungan terhadap krosi, konsentrasi *ion klorida* maksimum yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, semen dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas diberikan .

2.2.5 Bahan Tambah

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih bersifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah dekilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya.

2.2.5.1 Kerang

Berdasarkan hasil penelitian “Timbulan dan Komposisi Sampah Wisata Pantai Indonesia, Studi Kasus: Pantai Pangandaran” oleh (Ashuri & Kustiasih, 2019) Rumah Makan Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, rata-rata timbulan yang dihasilkan dari rumah makan di Pantai Pangandaran adalah 0,21 kg/kursi/hari dengan fluktuasi timbulan dapat dilihat pada Gambar 8. Densitas sampah yang berasal dari rumah makan adalah 264,22 kg/m³. Sampah dari rumah makan diangkut ke TPS setiap hari untuk menghindari bau karena lebih dari setengah sampah yang dihasilkan oleh rumah makan adalah sampah dapur dan sisa makanan

pengunjung yang cepat membusuk (Gambar 9). Sebagian sampah dapur tersebut diambil oleh pekerja untuk dijadikan pakan unggas dan hewan ternak. Selain sampah dapur, rumah makan juga menghasilkan sampah batok kelapa sebanyak 20% namun sampah ini tidak dimanfaatkan dan langsung dibuang ke TPA. Sampah jenis lain yang banyak dihasilkan dari rumah makan adalah sampah cangkang kerang yang dikategorikan sebagai sampah residu sebanyak 9,28%.

Cangkang kerang terbagi dalam dua belahan yang diikat oleh ligamen sebagai pengikat yang kuat dan elastis. Ligamen ini biasanya selalu terbuka, apabila diganggu maka akan menutup. Cangkang terdiri dari tiga lapis yaitu:

1. Lapisan luar tipis, hampir berupa cangkang dan disebut periostracum, yang melindungi.
2. Lapisan kedua yang tebal, terbuat dari kalsium karbonat.
3. Lapisan dalam terdiri dari *mother of pearl*, dibentuk oleh selaput mantel dalam bentuk lapisan tipis. Lapisan tipis ini yang membuat cangkang menebal saat hewan bertambah tua.

Penggunaan kerang sebagai bagan substitusi pada beton dapat dilakukan dengan menghancurkannya kerang untuk dijadikan pengganti agregat dan bisa dengan menghancurkan kerang sehingga menjadi serbuk semen bahan tambah semen. Cangkang kerang merupakan bahan sumber mineral yang pada umumnya berasal dari hewan laut berupa kerang yang telah mengalami penggilingan dan mempunyai karbonat tinggi. Kandungan kimia cangkang kerang disediakan dalam tabel kandungan kimia serbuk cangkang kerang. Kandungan kimia serbuk cangkang kerang hijau dan kerang dara pada yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2.3 Kandungan Kimia Serbuk Cangkang Kerang Hijau dan Kerang Dara

Senyawa	Kadar % Kerang Hijau (<i>Perma Viridis L.</i>)	Kadar % Kerang Dara (<i>Andara Grandis</i>)
CaCO ₃	95.69	66.70
SiO ₂	0.22	7.88
Fe ₂ O ₃	1.00	0.03
MgO	3.08	22.28
Al ₂ O ₃	0.01	1.25

Sumber: (Liemawan dkk., 2015)

Kandungan komposisi kimia dalam serbuk cangkang kerang dapat disimpulkan hampir sama dengan kandungan komposisi kimia yang terkandung dalam semen dan diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan beton.

2.2.5.2 Kerang Dara (*Anadara granosa*)

Kerang darah (*Anadara granosa*) adalah salah satu kerang yang sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Nilai produksi kerang darah di Indonesia pada tahun 2011 yaitu 373,202 ton dan apabila di bandingkan tahun sebelumnya mengalami peningkatan hingga 44,12% (Esa dkk., 2021).

Produksi limbah cangkang kerang darah di daerah sukoharjo pada tahun 2019 diperkirakan sekitar 360 kg per harinya. Rata-rata ini didapatkan dari pengambilan data secara acak pada tempat yang memproduksi makanan kerang darah. Melihat produksi cangkang kerang darah disatu daerah cukup banyak dan tidak dimanfaatkan maka hal ini mendorong penulis memanfaatkan limbah cangkang kerang darah sebagai bahan tambah dan komplemen untuk membuat beton yang kuat dan ekonomis (Andika & Safarizki, 2019).

Kematangan gonad terjadi pada saat kerang dara mencapai ukuran sepanjang 18-20 mm dan berumur kurang dari satu tahun. Adapun pemijahan mulai terjadi pada ukuran 20 mm. Kerang ini hidup dalam cekungan-cekungan di dasar perairan di wilayah pantai pasir berlumpur.



Gambar 2.1 Kerang Dara

2.2.5.3 Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Kerang hijau (*Perna viridis*) atau dikenal sebagai *green mussels* adalah binatang lunak (Mollusca) yang hidup di laut, bercangkang dua dan berwarna hijau. Kerang hijau termasuk kelas Pelecypoda. Golongan biota yang bertubuh lunak (Mollusca). Mempunyai cangkang katup sepasang maka disebut sebagai Bivalvia.

Hewan ini disebut juga pelecys yang artinya kapak kecil dan podos yang artinya kaki. Jadi Pelecypoda berarti hewan berkaki pipih seperti mata kapak. Hewan ini mempunyai insang berlapis - lapis sering disebut Lamelli branchiate.

Kerang hijau merupakan salah satu jenis yang dikenal memiliki nilai ekonomis dan kandungan yang sangat baik untuk dikonsumsi, yaitu terdiri dari 40,8% air, 21,9% protein, 14,5% lemak, 18,5% karbohidrat dan 4,3% abu, sehingga menjadikan kerang hijau sebanding dengan daging sapi, telur, maupun daging ayam, dari 100 gram daging hijau mengandung 100 kalori (Ummah, 2019).

Kerang hijau hidup di laut tropis seperti Indonesia, terutama di perairan pantai dan melekatkan diri secara tetap pada benda-benda keras yang ada disekelilingnya. Kerang ini tidak mati walaupun tidak terendam selama air laut surut. Kerang hijau termasuk binatang lunak, mempunyai dua cangkang yang simetris, kakinya berbentuk kapak, insangnya berlapis-lapis satu dengan lainnya dihubungkan satu dengan lainnya dihubungkan dengan cilia.



Gambar 2.2 Kerang Hijau

2.3 Analisis Pengujian Bahan Penyusun Beton

Analisis pengujian bahan penyusun beton bertujuan untuk memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi standar kualitas dan spesifikasi teknis yang diperlukan seperti pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar, pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian kadar air agregat, pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat, pengujian kadar lumpur agregat halus, pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles.

2.3.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir (SNI 03-1968, 1990).

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar.

Cara pelaksanaan pengujian analisis saringan adalah sebagai berikut:

1. Peralatan
 - a. Timbangan dan neraca
 - b. Satu set saringan: 76,2 mm (3"); 63,5 mm (2 ½"); 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25,4 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); No 4 (4,75 mm); No 8 (2,36 mm); No 16 (1,18 mm); No 30 (0,600 mm); No 50 (0,300 mm); No 100 (0,150 mm); No 200 (0,075 mm).
 - c. Oven
 - d. Alat pemisah contoh
 - e. Mesin pengguncang saringan
 - f. Talam-talam
 - g. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya
2. Benda uji
 - a. Agregat halus
 - b. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian

Urutan proses dalam penyajian ini adalah sebagai berikut:

 - a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, sampai berat tetap.
 - b. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Perhitungan

Hitunglah persentase benda berat uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring.

2.3.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C. Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap quarry terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen (SNI 03-1970, 1990).

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan angka penyerapan dari agregat kasar dan halus. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan.

Cara pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut:

2.3.2.1 Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

1. Peralatan
 - a. Timbangan
 - b. Piknometer
 - c. Kerucut perpancung
 - d. Batang penumbuk
 - e. Saringan No.4 (4,75 mm)
 - f. Oven
 - g. Pengukur suhu
 - h. Talam
 - i. Bejana tempat air

- j. Pompa hampa udara
- k. Desikator
- 2. Benda uji
Agregat yang lewat saringan No.4 (4,75 mm)
- 3. Prosedur pengujian
 - a. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
 - b. Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membolak-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
 - c. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
 - d. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
 - e. Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C .
 - f. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
 - g. Timbang piknometer berisi air dan benda uji
 - h. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
 - i. Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (Bk).
 - j. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu 25°C (B).

4. Perhitungan

$$\text{a. Berat jenis curah } \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \quad (2.1)$$

$$\text{b. Berat jenis jenuh kering permukaan } \frac{500}{(B+500-Bt)} \quad (2.2)$$

$$\text{c. Berat jenis semu } \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \quad (2.3)$$

$$d. \text{ Penyerapan } \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

- Bk = Berat benda uji kering oven (gram)
 B = Berat piknometer berisi air (gram)
 Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
 500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.3.2.2 Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

1. Peralatan

- a. Keranjang kawat
- b. Tempat air
- c. Timbangan
- d. Oven
- e. Alat pemisah
- f. Saringan No.4 (4,75 mm)

2. Benda uji

Agregat yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm)

3. Prosedur pengujian

- a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven.
- c. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang (Bk).
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
- e. Keluarkan benda uji dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
- f. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj).

- g. Letakkan benda uji didalam keranjang goncangan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (Ba).

4. Perhitungan

a. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*) $\frac{Bk}{Bj-Ba}$ (2.5)

b. Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) $\frac{Bj}{Bj-Ba}$ (2.6)

c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) $\frac{Bk}{Bk-Ba}$ (2.7)

d. Penyerapan $\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$ (2.8)

Keterangan:

Bk = Berat jenis uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

2.3.3 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen (SNI 03-1971, 1990).

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menemukan kadar air agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Cara pelaksanaan pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut:

1. Peralatan
 - a. Timbangan
 - b. Oven
 - c. Talam
2. Benda uji
 - a. Agregat halus
 - b. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian
 - a. Timbang dan catatlah berat talam (W_1).
 - b. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2).

- c. Hitunglah berat uji

$$(W_3 = W_2 - W_1) \quad (2.9)$$

- d. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap.

- e. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4)

- f. Hitunglah berat benda uji kering

$$(W_5 = W_4 - W_1) \quad (2.10)$$

4. Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat } \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

W_3 = Berat benda uji semula (gram)

W_5 = Berat benda uji kering (gram)

2.3.4 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi. Berat adalah gaya gravitasi yang mendesak agregat. Agregat adalah material granular misalnya pasir, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu beton semen hidrolik atau adukan. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat (SNI 03-4804, 1998).

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

1. Peralatan
 - a. Timbangan
 - b. Batang penusuk
 - c. Alat penakar berbentuk silinder
 - d. Sekop atau sendok
2. Benda uji
 - a. Agregat halus
 - b. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian
 - a. Kondisi padat

- 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 x tusukan batang penusuk.
- 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk 25 x tusukan.
- 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) Tentukan berat penakar serta isinya dan berat penakar itu sendiri.
- 7) Catat beratnya.
- 8) Hitung berat isi agregat dengan rumus:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \text{ atau } M = (G - T) \times F \quad (2.12)$$

- 9) Hitung kadar rongga udara dengan rumus:

$$M_{SSD} = M \{1 + (A/100)\} \quad (2.13)$$

b. Kondisi gembur

- 1) Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebih 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.
- 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah di atas.

4. Perhitungan

a. Agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{(G - T)}{V} \text{ atau } M = (G - T) \times F \quad (2.14)$$

Keterangan:

M	= Berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m ³)
G	= Berat agregat dan penakar (kg)
T	= Berat penakar (kg)
V	= Volume penakar (m ³)
F	= Faktor penakar (m ³)

- b. Agregat dalam keadaan kering permukaan

$$M_{SSD} = M \{1 + (A/100)\} \quad (2.15)$$

Keterangan:

M_{SSD} = Berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m^3)

M = Berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m^3)

A = Absorpsi (%)

2.3.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur $< 5\%$ merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton (SNI S-04-F,1998).

Cara pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus adalah sebagai berikut:

1. Peralatan

- a. Gelas ukur
- b. Alat pengaduk

2. Benda uji

Sampel pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air

3. Prosedur pengujian

- a. Sampel benda uji dimasukkan ke dalam gelas ukur.
- b. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
- c. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
- d. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
- e. Tinggi pasir (V_1) dan tinggi lumpur (V_2) diukur.

4. Perhitungan

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{V_2}{(V_1 + V_2)} \times 100\% \quad (2.16)$$

Keterangan:

V_1 = Tinggi pasir (mm)

V_2 = Tinggi lumpur (mm)

2.3.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula). Mesin abrasi Los Angeles merupakan alat simulasi keausan dengan bentuk dan ukuran tertentu terbuat dari pelat baja berputar dengan kecepatan tertentu (SNI 2417, 2008).

Tujuan analisis pengujian keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

Cara pelaksanaan pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles adalah sebagai berikut:

1. Peralatan

a. Mesin Abrasi (*Los Angeles*)

Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28") panjang dalam 508 mm (20"), silinder berlubang untuk memasukkan benda uji, penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu, di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5").

b. Saringan No.12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya.

c. Timbangan

d. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm ($1 \frac{27}{32}$ ") dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram

e. Oven

f. Alat bantu pan dan kuas

2. Benda uji

a. Agregat kasar

3. Prosedur pengujian

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

1) Cara A: Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.

2) Cara B: Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.

- 3) Cara C: Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No 4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - 4) Cara D: Gradasi D, bahan lolos 6,3 mm sampai tertahan 2,36 mm (No 8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
 - 5) Cara E: Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - 6) Cara F: Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
 - 7) Cara G: Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- 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 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 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.
4. Perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.17)$$

Keterangan:

a = Berat benda uji semula (gram)

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

2.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) merupakan proses yang digunakan untuk merencanakan pembuatan beton normal dengan mutu yang sesuai dengan standar perencanaan (Luthfagiansa, 2023).

Tujuan dari *mix design* adalah untuk menentukan proporsi yang seimbang antara bahan penyusun beton, seperti semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Sehingga menghasilkan beton yang memenuhi kriteria *workability*, kekuatan, dan *durability* sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

2.4.1 Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Disyaratkan

Kuat tekan beton yang disyaratkan sesuai dengan persyaratan perencanaan dan kondisi setempat pada umur 28 hari, yaitu kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu hanya sebesar 5%. Berikut ini merupakan mutu beton dan penggunaannya di sajikan pada Tabel 2.4 dibawah :

Tabel 2.4 Mutu Beton dan Penggunaannya

Jenis Beton	f'_c (MPa)	Uraian
Mutu Tinggi	$f'_c \geq 45$	Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya
Mutu Sedang	$20 \leq f'_c < 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
Mutu Rendah	$15 \leq f'_c < 20$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, dan trotoar.
	$f'_c < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

Sumber: (Spesifikasi Umum, 2018)

2.4.2 Deviasi Standar (S_r)

Deviasi standar adalah metode analisa tingkat mutu dengan mengukur nilai deviasi (penyimpangan) pada beton. Jika penyimpangan pada beton nilainya besar maka nilai kuat tekan beton akan semakin kecil. Jika sebelumnya pernah melakukan pengujian dan mempunyai catatan hasil dari pembuatan beton yang mana berjumlah minimum 30 buah, maka diambil satu data hasil uji kuat tekan dari rata-rata uji

tekan dua silinder pada umur 28 hari. Jika jumlah data kurang dari 30 hari, maka dilakukan koreksi dengan faktor pengkali deviasi standar. Berikut ini merupakan Tabel 2.5 faktor deviasi standar disajikan dibawah:

Tabel 2.5 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15 kali	Tidak boleh
15 kali	1.16
20 kali	1.08
25 kali	1.03
30 kali	1.00
> 30 kali	1.00

Sumber: (SNI 03-2834, 2000)

Jika tidak mempunyai catatan hasil penelitian atau bila data uji kurang dari 15 buah, maka nilai margin diambil sebesar 12 MPa.

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya ditampilkan pada Tabel 2.6 dibawah ini:

Tabel 2.6 Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	S _d (MPa)
Memuaskan	2.8
Sangat Baik	3.5
Baik	4.2
Cukup	5.6
Jelek	7.0
Tidak Terkendali	8.4

Sumber: (SNI 03-2834, 2000)

Adapun deviasi standar ditetapkan berdasarkan mutu pelaksanaan, volume adukan ditampilkan pada Tabel 2.7 dibawah ini:

Tabel 2.7 Mutu Pelaksanaan, Volume Adukan dan Deviasi Standar

Volume Pekerjaan		Deviasi Standar sd (MPa)		
Sebutan	Volume Beton	Mutu Pekerjaan		
	(m ³)	Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	< 1000	$4.5 < s \leq 5.5$	$5.5 < s \leq 6.5$	$6.5 < s \leq 8.5$
Sedang	1000 – 3000	$3.5 < s \leq 4.5$	$4.5 < s \leq 5.5$	$5.5 < s \leq 7.5$
Besar	> 3000	$2.5 < s \leq 3.5$	$3.5 < s \leq 4.5$	$4.5 < s \leq 6.5$

Sumber: (Peraturan Beton Bertulang Indonesia, 1971)

2.4.3 Nilai Tambah (Margin)

Nilai Tambah dihitung menurut rumus :

$$M = 1.64 \times S_r \quad (2.18)$$

Keterangan:

M = Nilai tambah (margin)

1.64 = Tetapan statistik yang nilainya tergantung persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

Sr = Standar deviasi rencana

2.4.4 Kuat Tekan Rata – rata

Kuat Tekan Rata – rata yang ditargetkan dihitung menurut rumus berikut:

$$f'_{cr} = f'c + M \quad (2.19)$$

Keterangan:

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

$f'c$ = Kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

2.4.5 Jenis Semen

Standar tentang semen portland, terdapat lima jenis semen yang dibedakan berdasarkan penggunaannya ditampilkan pada Tabel 2.8 dibawah ini:

Tabel 2.8 Tipe Semen dan Fungsinya

Tipe Semen	Syarat Penggunaan	Pemakaian
I	Kondisi biasa, tidak memerlukan persyaratan khusus	Pekerasan jalan, gedung, jembatan biasa dan konstruksi tanpa serangan sulfat
II	Serangan sulfat konsentrasi sedang	Bangunan tepi laut, dam, bendungan, irigasi dan beton massa
III	Kekuatan awal tinggi	Jembatan dan pondasi dengan beban berat
IV	Panas hidrasi rendah	Pengecoran yang menuntut panas hidrasi rendah dan diperlukan <i>setting time</i> yang lama
V	Ketahanan yang tinggi terhadap sulfat	Bangunan dalam lingkungan asam, tangki bahan kimia dan pipa bawah tanah

Sumber: (SNI 15-2049, 2004)

2.4.6 Jenis Agregat

Jenis agregat ditentukan pada Tabel 2.9 dibawah ini:

Tabel 2.9 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang biasa dipakai di Indonesia

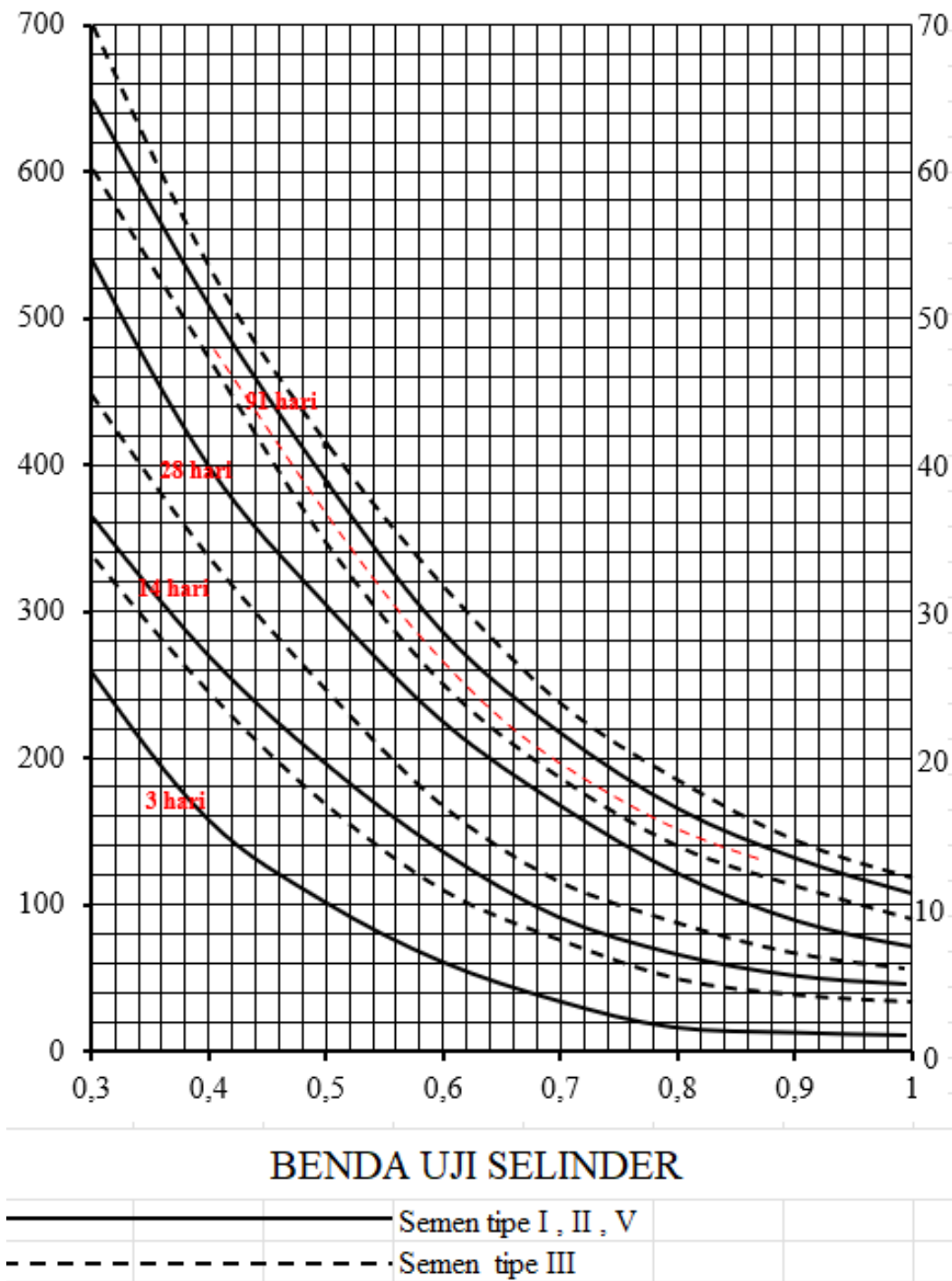
Jenis semen	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen <i>Portland</i> Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen <i>Portland</i> Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: (SNI 03-2834, 2000)

2.4.7 Faktor Air Semen Bebas

Untuk menentukan nilai faktor air semen bebas dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

1. Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan tabel 2 sesuai dengan jenis semen dan agregat yang akan dipakai.
2. Lihat grafik 1 untuk benda uji berbentuk silinder atau grafik 2 untuk benda uji berbentuk kubus.
3. Tarik tegak lurus keatas melalui FAS 0.5 sampai memotong kurva kuat tekan yang di dapat dari poin 1.
4. Tarik lengkung melalui titik pada poin 3 secara proporsional.
5. Tarik garis mendatar melalui kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan poin 4.
6. Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan FAS yang diperlukan.



Gambar 2.3 Grafik 1 Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Sumber : (SNI 03-2834, 2000)

Pada grafik diatas sumbu x sebagai FAS dan sumbu y sebagai kuat tekan silinder (MPa).

Langkah – Langkah :

1. Tarik secara vertical nilai FAS 0.5 sesuai dengan nilai pada tabel 2.

2. Kemudian Tarik secara horizontal nilai kuat tekan silinder 37 MPa ke kanan sampai berpotongan dengan nilai FAS 0.5
3. Setelah berpotongan kemudian dibuat garis parabola sesuai pada gambar parabola yang digambar baru. Setelah didapat garis parabola kemudian gunakan kuat tekan silinder yang direncanakan $f'_{cr} = 32$ MPa.
4. Kemudian tarik secara horizontal dari f'_{cr} sampai menyentuh parabola yang dibuat.
5. Kemudian tarik ke bawah secara tegak lurus sampai menyentuh nilai FAS dan kemudian dibaca nilai FAS yang akan dicari.

2.4.8 Faktor Air Semen Maksimum

Faktor air semen maksimum di tampilkan pada Tabel 2.10 dibawah ini :

Tabel 2.10 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0.60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0.52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0.60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0.60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton yang kontinu berhubungan : a. Air tawar b. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber: (SNI 03-2834, 2000)

2.4.9 Nilai *Slump*

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan dan jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai *slump* yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (triller) dapat dilakukan dengan nilai *slump* yang agak kecil. Nilai *slump* yang diinginkan dapat diperoleh dari Tabel 2.11 di bawah ini:

Tabel 2.11 Penetapan Nilai *Slump*

Pemakaian Beton	Maks	Min
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12.5	5.0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan struktur di bawah tanah	9.0	2.5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15.0	7.5
Pengerasan jalan	7.5	5.0
Pembetonan masal	7.5	2.5

Sumber: (SNI 03-2834, 2000)

2.4.10 Ukuran Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan.

Ukuran agregat ditetapkan sesuai dengan nilai terkecil dari ketentuan berikut:

1. $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
2. $\frac{1}{3}$ ketebalan pelat lantai, ataupun
3. $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan, kawat-kawat, bundel tulangan, tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

2.4.11 Kadar Air Bebas

Penetapan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat dan slump yang diinginkan. Kebutuhan air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen, bukan untuk peresapan air. Berikut ini perkiraan kadar air bebas ditampilkan pada Tabel 2.12 dibawah ini:

Tabel 2.12 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

Sumber: (SNI 03-2834, 2000)

Dengan catatan untuk suhu diatas 25°C , setiap kenaikan 5°C harus ditambah air sebanyak 5 liter/ m^2 adukan beton.

Kadar air bebas dihitung sebagai berikut :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk \quad (2.20)$$

Keterangan:

Wh = Jumlah air untuk agregat halus

Wk = Jumlah air untuk agregat kasar

2.4.12 Kadar Semen

Menghitung kadar semen didapat dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen digunakan.

2.4.13 Kadar Semen Maksimum

Dalam perencanaan ini, kadar semen maksimum tidak ditetapkan jadi dapat diabaikan.

2.4.14 Kadar Semen Minimum

Kadar semen minimum ditentukan berdasarkan penggunaan beton pada Tabel 2.9.

2.4.15 Faktor Air Semen Disesuaikan

Faktor air semen disesuaikan hanya dihitung jika ada perubahan jumlah semen dari hasil perhitungan menjadi jumlah semen minimum ataupun maksimum.

2.4.16 Susunan Besar Butir Agregat Halus

Susunan besar butir agregat halus adalah daerah gradasi agregat halus, yang didapatkan pada pengujian *properties* analisis saringan agregat halus berdasarkan (SNI 03-1968, 1990).

2.4.17 Persentase Agregat Halus

Persentase agregat halus diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, FAS dan daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan data tersebut dan grafik dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.

Sehingga, persentase agregat halus dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Persen agregat halus} = \frac{\text{Batas atas} + \text{Batas bawah}}{2} \quad (2.21)$$

2.4.18 Berat Jenis Relatif, Agregat (Kering Permukaan)

Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan) merupakan berat jenis yang dihitung berdasarkan kondisi saat SSD (*Saturated Surface Dry*) pada agregat.

Berat jenis relatif agregat halus dan kasar dalam kondisi SSD dapat dihitung dengan persamaan berikut:

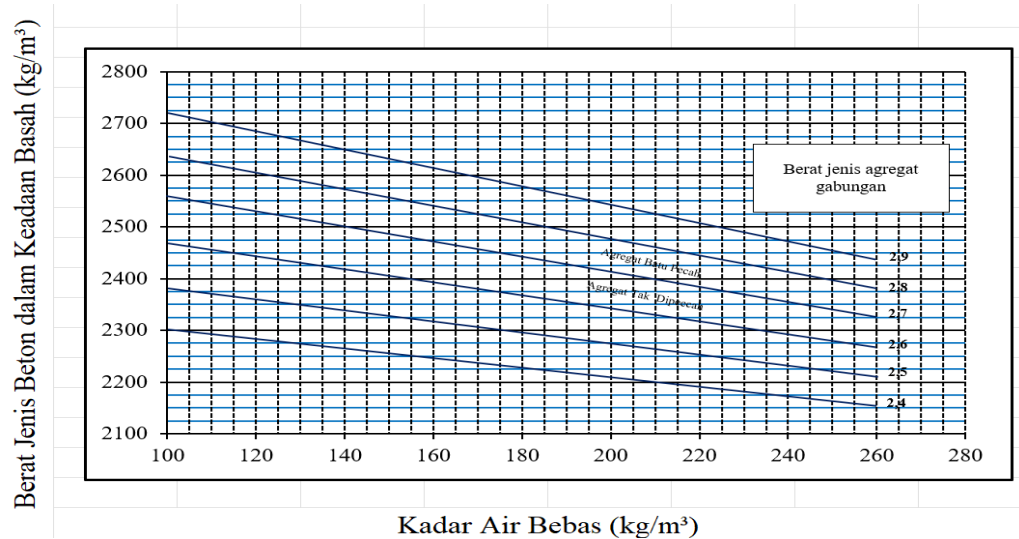
$$\text{BJ ag.gab} = (\% \text{ ag.halus} \times \text{BJ ag. halus}) + ((100\% - \% \text{ ag. kasar}) \times \text{BJ ag.kasar}) \quad (2.22)$$

Keterangan:

BJ ag.gab	= Berat jenis agregat gabungan
BJ ag.halus	= Berat jenis agregat halus
BJ ag.kasar	= Berat jenis agregat kasar
% ag.halus	= Persen agregat halus
% ag.kasar	= Persen agregat kasar

2.4.19 Berat Isi Beton

Penentuan berat isi beton menggunakan data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap meter³ beton. Berat isi beton ditentukan menggunakan grafik di bawah, dengan sumbu x adalah kadar air bebas dan sumbu y adalah berat isi beton.



Gambar 2.4 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan.

Sumber: (SNI 03-2834, 2000)

Berdasarkan grafik di atas berat isi beton dapat ditentukan dengan langkah- langkah sebagai berikut:

1. Buat kurva berat jenis agregat gabungan secara proporsional pada grafik.
2. Kemudian tarik garis secara vertikal dari kadar air bebas sampai menyentuh kurva B_j agregat gabungan yang telah dibuat.
3. Selanjutnya tarik garis secara horizontal, sehingga didapat berat isi beton.

2.4.20 Kadar Agregat Gabungan

Kebutuhan agregat gabungan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kadar ag.gab} = \text{berat isi beton} - \text{Jumlah semen} - \text{kadar air bebas} \quad (2.23)$$

Keterangan:

Kadar ag.gab = Kadar agregat gabungan

2.4.21 Kadar Agregat Halus

Kadar agregat halus adalah persentase fraksi pasir dikalikan jumlah agregat gabungan dan merupakan jumlah pasir yang diperlukan. Kebutuhan agregat halus

diperoleh dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halus.

Kadar agregat halus dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Kadar\ agregat\ halus = (\% ag\ halus) \times (kadar\ ag\ gab) \quad (2.24)$$

Keterangan:

% ag halus = Persentase agregat halus (%)

kadar ag gab = Kadar agregat gabungan (kg/m³)

2.4.22 Kadar Agregat Kasar

Kadar agregat kasar didapat berdasarkan agregat gabungan dikurangi kadar agregat halus yang sudah dicari sebelumnya.

$$Kadar\ agregat\ kasar = (kadar\ ag\ gab) - (kadar\ ag\ hls) \quad (2.25)$$

Keterangan:

Kadar ag gab = Kadar agregat gabungan kg/m³

Kadar ag hls = Kadar agregat halus kg/m³

2.4.23 Proporsi Campuran

Proporsi campuran beton merupakan perbandingan yang tepat antara bahan bahan penyusun beton, dengan proporsi yang benar akan memastikan bahwa beton mencapai kekuatan yang diinginkan dan memiliki karakteristik fisik yang diharapkan.

2.4.24 Koreksi Campuran

Setelah perancangan campuran selesai, perlu diingat bahwa proporsi yang didapat adalah proporsi yang mempunyai basis kondisi agregat tertentu. Metode DOE memakai basis kondisi agregat jenuh kering muka atau SSD (*Saturated Surface Dry*).

Saat pelaksanaan di lapangan, kondisi agregat yang akan digunakan dalam campuran beton adalah kondisi apa adanya atau tidak jenuh kering muka, sehingga harus ada penyesuaian dengan rancangan yang sudah dibuat. Untuk melakukan koreksi penyesuaian rancangan campuran diperlukan data kadar air dan resapan agregat. Koreksi harus dilakukan minimum satu kali per hari. Proporsi campuran disesuaikan dapat dihitung dengan rumus.

2.5 Pengujian Beton Segar (*Slump Test*)

Campuran beton segar dapat dikatakan mempunyai sifat baik bila memenuhi persyaratan utama campuran yaitu mampu memberikan kemudahan pekerjaan (*workability*), yaitu bila campuran tersebut tetap bertahan seragam ketika berlangsung proses pengangkutan, pengecoran dan pemadatan.

Kelecekan (*workability*) adalah kemudahan suatu campuran beton segar untuk dikerjakan dan dipadatkan. Tidak ada cara yang bisa langsung mengukur suatu kemudahan. Dulu kelecekan diukur secara visual saja, yaitu dengan kategori kaku (*stiff*), lecek (*workable*) dan plastis. Beton segar yang kaku berbentuk seperti tanah yang lembab, dan beton segar yang plastis berbentuk seperti lumpur tebal.

Namun karena kelecekan memegang peran penting dalam kualitas beton, kini kelecekan secara praktis diuji baik di lapangan maupun di laboratorium. Ada dua macam cara pendekatan, yaitu memberi pengaruh tertentu dan mengukur perubahan bentuk pada beton segar yang diakibatkannya atau sebaliknya. Pengaruh tersebut bisa secara statis dan dinamis.

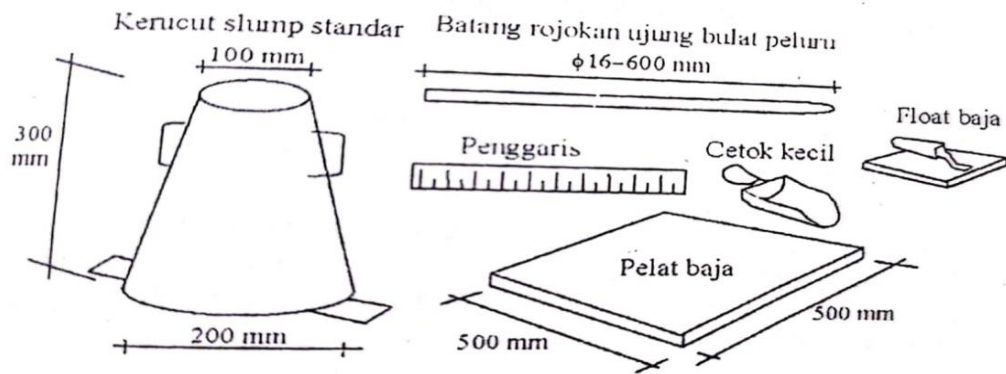
Slump test adalah salah satu cara untuk mengukur kecairan atau kepadatan dalam adukan beton. Semakin rendah nilai *slump* menandakan semakin kental kondisi beton segar yang ada di lapangan, sebaliknya semakin besar nilai *slump* berarti beton semakin encer kondisi beton segar di lapangan. Karena kelecekan beton segar sering diidentikkan dengan *slump*nya. Cara pelaksanaan pengujian *slump* adalah sebagai berikut:

2.5.1 Peralatan

Untuk melaksanakan pengujian *slump* diperlukan peralatan sebagai berikut:

1. Cetakan dari logam tebal minimal 1,2 mm berupa kerucut terpancung (*cone*) dengan diameter bagian bawah 203 mm, bagian atas 102 mm, dan tinggi 305 mm.
2. Bagian bawah dan atas cetakan terbuka
3. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 600 mm, ujung dibulatkan dibuat dari baja yang bersih dan bebas dari karat
4. Pelat logam dengan permukaan yang kokoh, rata dan kedap air
5. Sendok cekung tidak menyerap air

6. Mistar ukur



Gambar 2.5 Perlatan Pengujian *slump*

Sumber: (Nugraha, 2007)

2.5.2 Benda Uji

Pengambilan benda uji harus dari contoh beton segar yang mewakili campuran beton.

2.5.3 Cara Pengujian

Untuk melaksanakan pengujian *slump* beton berdasarkan (SNI 03-1972, 1990) harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Basahilah cetakan dan pelat dengan kain basah
2. Letakan cetakan di atas pelat dengan kokoh
3. Isilah cetakan sampai penuh dengan beton segar dalam 3 lapis. Tiap lapis berisi kira-kira $\frac{1}{3}$ isi cetakan. Setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata. Tongkat harus masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan. Pada lapisan pertama, penusukan lapisan tepi tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan cetakan.
4. Segera setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang jatuh di sekitar cetakan harus disingkirkan. Kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas. Seluruh pengujian mulai dari pengisian sampai cetakan diangkat harus selesai dalam jangka waktu 2,5 menit.
5. Balikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji. Ukurlah *slump* yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

2.5.4 Pengukuran *Slump*

Tingkat kekakuan pada campuran beton memberikan petunjuk berapa jumlah kapasitas air yang dibutuhkan. Maka dari itu, pengujian *slump* dapat memberikan informasi kekurangan, kelebihan maupun cukup tidaknya air yang dipakai pada campuran beton. Proses pengadukan beton sangat memperhatikan kadar air yang dapat menentukan *workability*. Campuran beton yang terlalu cair dapat menimbulkan mutu beton yang rendah dan proses pengeringan yang lambat. Sedangkan, campuran beton terlalu kering dapat menimbulkan adukan tidak merata dan sulit untuk pencetakan.

Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dilakukan dua kali pemeriksaan dengan adukan yang sama dan dilaporkan hasil rata-rata (dalam satuan cm).

2.6 Perawatan (*Curing*)

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab. Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai *final setting time*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur.

Jumlah air di dalam beton cair sebetulnya sudah lebih dari cukup (sekitar 12 liter per sak semen) untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang karena menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relatif cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudanya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan

retak. Beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat sekitar 50% daripada yang tidak dirawat. Jadi perawatan perlu untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air, karena hidrasi terjadi di dalamnya.

Perawatan beton ini dapat dilakukan dengan perendaman atau penguapan (*steam*) serta dengan menggunakan membran. Pemilihan cara mana yang digunakan semata-mata mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan. Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari:

1. Kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time* beton.
2. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama.
3. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

2.7 Kuat Tekan Beton

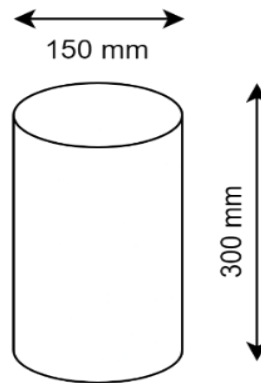
Kekuatan beton merupakan sifat beton keras yang paling penting. Kekuatan beton ditentukan dengan cara menghitung berapa beban maksimum yang dapat dipikul oleh suatu penampang beton melalui pengujian benda uji yang mempunyai bentuk tertentu.

Dalam pembuatan beton selalu diperhatikan sifat-sifat dari beton yang diinginkan. Sifat utama dan umum yang dikehendaki adalah sifat mekanis beton. Hal ini mempengaruhi dalam perhitungan dan pembuatan campuran beton. Sifat-sifat mekanis beton dapat dikaitkan dengan dua kondisi, yakni beton masih baru atau encer disebut beton segar dan beton dengan kondisi yang sudah mengeras disebut beton keras.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dari material penyusunnya ditentukan oleh faktor air semen, porositas dan faktor-faktor intrinsik lainnya seperti kekuatan agregat, kekuatan pasta semen, kekuatan ikatan atau ikatan antara semen dengan agregat.

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan suatu gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan (SNI 1974, 2011).

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.



Gambar 2.6 Ukuran Benda Uji

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan membuat benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji tersebut di tekan menggunakan mesin kuat tekan beton sampai pecah. Beban maksimum yang dapat memecahkan beton itu dibagi dengan luas penampang silinder maka diperoleh nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan dinyatakan dalam satuan MPa.

2.7.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton melalui benda uji silinder dengan umur pengujian tertentu, dan pengaruhnya terhadap konstruksi nantinya dengan cara mengevaluasi kekuatan tekannya. Apabila mutu pelaksanaan beton tepat dan benar, maka didapat mutu beton sesuai yang diinginkan.

2.7.1.1 Peralatan

1. Mesin penguji
2. Timbangan
3. Satu set alat pelapis

2.7.1.2 Prosedur Pengujian

1. Benda uji diletakan pada mesin tekan secara sentris
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik.
3. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur, dan catat beban maksimum yang diterima benda uji selama pembebanan
4. Catat tipe kehancuran dan kondisi visual benda uji beton

2.7.1.3 Perhitungan Kuat Tekan Beton

Hitung kuat tekan benda uji dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata. Nyatakan hasil dengan membulatkan ke 1 (satu) desimal dengan satuan 0,1 MPa.

Untuk menghitung kuat tekan beton dapat digunakan dengan rumus:

$$(f'c) = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (2.26)$$

Keterangan:

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

P = Beban maksimum yang diterima sebelum beton hancur (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

2.8 Penelitian Sebelumnya

2.8.1 Muhammad Hasbi Arbi (2015)

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Substitusi Cangkang Kerang Dengan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton”(Arbi, 2015). Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah cangkang kerang sekaligus menyelamatkan lingkungan pantai dari pencemaran sekaligus mencari inovasi baru pada teknologi beton. Substitusi cangkang kerang halus dengan variasi 5%, 10% dan 15% dari volume agregat halus.

Hasil pengujian beton diperoleh kuat tekan beton sebesar 20,6 MPa, 23,4 MPa dan 19,7 MPa. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa substitusi cangkang kerang optimum 5% meningkatkan kuat tekan maksimum (27,7 %) dari beton normal, sedangkan substitusi cangkang kerang 10% terhadap agregat halus meningkatkan kuat tekan beton 23,3 % dari beton normal, maka substitusi serbuk cangkang kerang 5% dan 10% dapat memberikan dampak positif terhadap peningkatan kuat tekan beton, sedangkan substitusi 15% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 4,4 dari beton normal.

2.8.2 Restu Andika, Hermawan Aski Safarizki (2019)

Penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (Anadara Granosa) Sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal” (Andika & Safarizki, 2019). Beton adalah bahan konstruksi yang banyak digunakan pada pembangunan pada saat ini. Beton didapat dari

pencampuran agregat bahan dan agregat kasar. Bahan berupa pasir, kerikil, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat berupa semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton. Pada penelitian ini beton dibuat dengan bahan tambah dan komplemen serbuk cangkang darah.

Proses perawatan dengan ditumbuk terlebih dahulu sehingga menghasilkan serbuk sebagai bahan rambah dan komplemen dengan persentase 5%; 7,5 % terhadap kuat tekan beton 20 MPa dalam waktu pengujian 1, 7, 28 hari menggunakan metode SNI. Hasil pengujian beton normal sebesar 22 MPa pada 28 hari. Beton bahan tambah serta komplemen diuji pada umur 1, 2, 28 hari. Mengalami peningkatan sebesar 7 MPa pada campuran bahan tambah 5% peningkatan 3 MPa pada bahan tambah 7,5 % serta mengalami penurunan pada komplemen sebesar 7 MPa.

2.8.3 Alfred Edvant Liemawan, Tavio dan I Gusti Putu Raka (2015)

Penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) Sebagai Bahan Campuran Kadar Optimum Agregat Halus pada Beton *Mix Design* dengan Metode Substitusi” (Liemawan dkk., 2015) Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang giat-giatnya melakukan pembangunan. Tetapi hal tersebut berbanding lurus dengan kebutuhan material yang semakin meningkat, salah satunya adalah kebutuhan material untuk pembuatan beton. Dalam tugas akhir ini dibahas tentang material substitusi pengganti semen yang ramah lingkungan, salah satunya menggunakan cangkang kerang. Cangkang kerang yang dipakai adalah cangkang kerang hijau (*Perna Viridis* L.) Cangkang kerang mengandung senyawa yang terkandung dalam semen. Untuk itu diharapkan cangkang kerang dapat dijadikan substitusi semen yang baik. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% kekuatan optimum 28 hari terjadi pada variasi 5% yaitu sebesar 20.98 MPa. Hasil rerata pengujian modulus elastisitas beton berturut-turut adalah, 41098.54 MPa, 26751.93 MPa, 24438.51 MPa, 18016.02 MPa dan 5375.01 MPa. Disamping itu serbuk cangkang kerang juga memberikan pengaruh pada berat volume beton, dengan berat volume paling ringan terjadi pada variasi beton 20% pada umur 14 hari dengan berat 9.710 kg.

2.8.4 Daliana Elvira , Meilandy Purwandito , Irwansyah (2023)

Penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Sebagai Agregat Terhadap Kuat Tekan Campuran Beton” (Elvira & Purwandito, 2023). Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan dan lain lainnya. Karna banyaknya limbah disekitar lingkungan penelitian ini memanfaatkan limbah cangkang kerang hijau berasal dari Desa Serang Jaya Hilir Kecamatan Pematang Jaya Kabupaten Langkat. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbandingan kuat tekan beton pada tiap variasi serbuk cangkang kerang terhadap agregat halus yaitu 0%, 5%, 10% dan 15% dan mengetahui kuat tekan beton dengan campuran serbuk cangkang kerang hijau dari tiap variasi campuran pada umur 14 hari dan 28 hari. Setelah penelitian didapatkan hasil bahwa. Kuat tekan beton umur 14 hari pada campuran beton campuran 0% serbuk cangkang kerang hijau terhadap berat agregat halus yaitu 12,00 MPa, 5% yaitu 12,34 MPa, 10% yaitu 11,88 MPa dan 15% sebesar 12,17 MPa. Sedangkan hasil rata-rata nilai kuat tekan beton umur 28 hari pada campuran beton 0% serbuk cangkang kerang hijau terhadap berat agregat halus yaitu 26,30 MPa, 5% yaitu 27,17 MPa, 10% yaitu 24,75 MPa dan 15% sebesar 26,53 MPa. Kuat tekan beton tertinggi terjadi pada persentase campuran serbuk cangkang kerang 5% yaitu 27,17 MPa dan persentasi terendah terjadi pada campuran serbuk cangkang kerang 10% yaitu 24,75%.