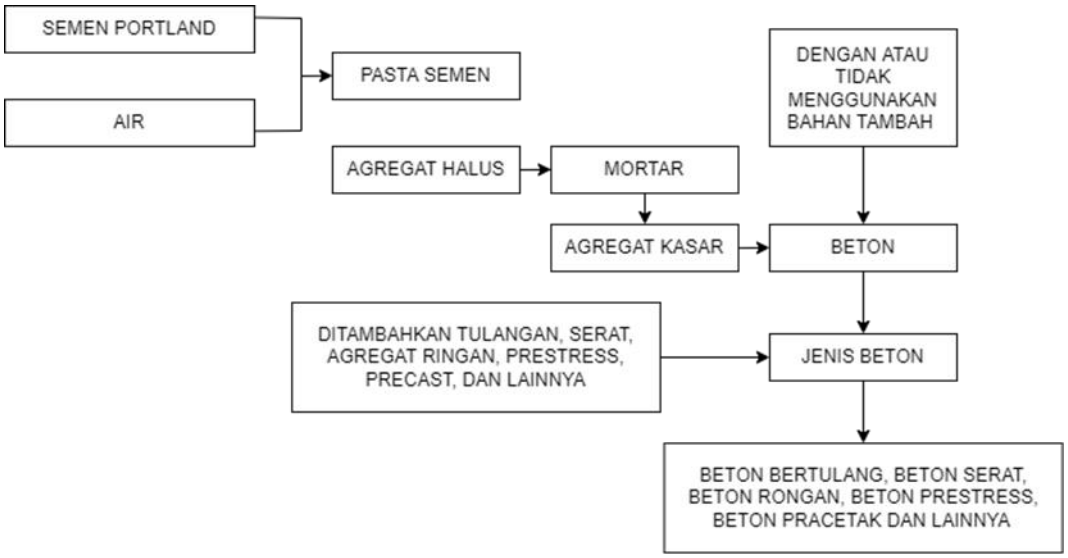
BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Beton

Menurut (SNI 2847, 2013), tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f'c) pada umur 28 hari.



Gambar 2.1 Proses Terbentuknya Beton
Sumber : (Mulyono, 2019)

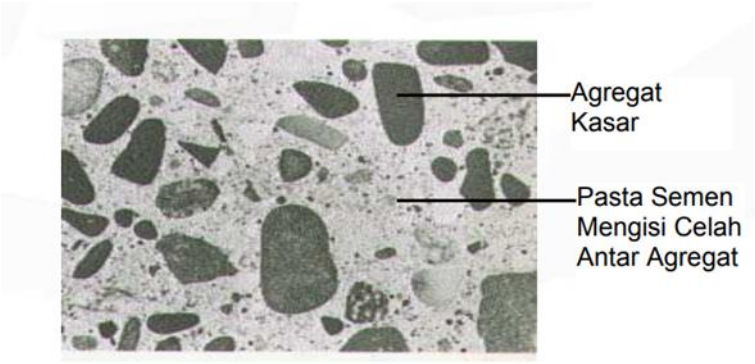
Klasifikasi beton umumnya dilakukan berdasarkan berat jenis dan kuat tekannya. Berdasarkan berat jenisnya, beton dibagi atas beton ringan yang memiliki berat jenis di bawah 1.800 kg/m^3, beton normal memiliki berat jenis 2.400 kg/m^3, dan beton berat memiliki berat jenis di atas 3.200 kg/m^3. Berdasarkan 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 keadaaan 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.



Gambar 2.2 Potongan Beton
Sumber : (Arsalani, 2023)

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

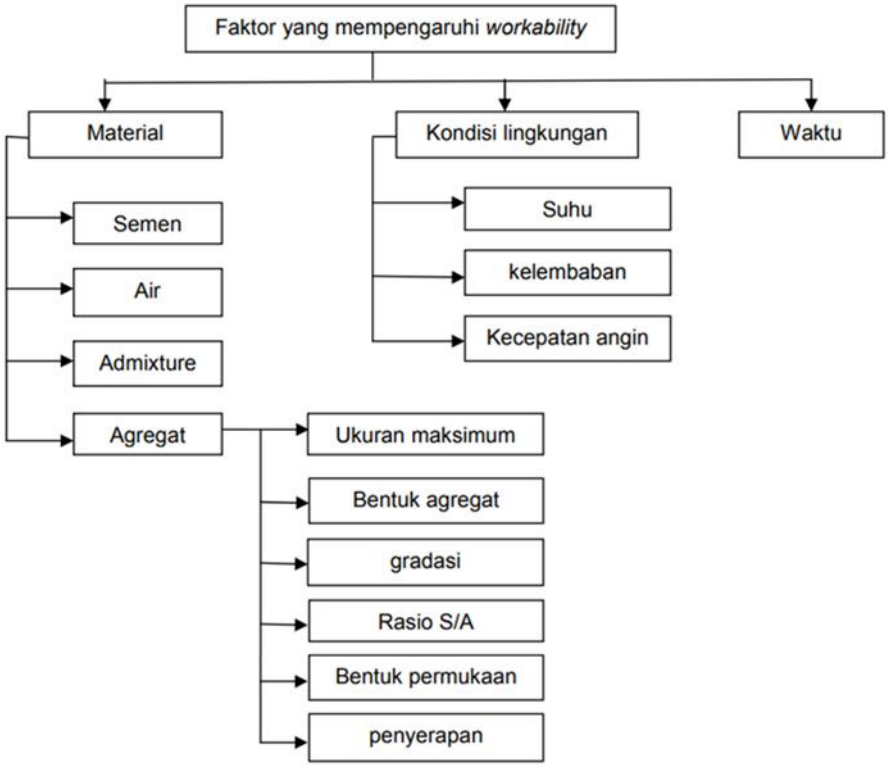
Sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah dicampur, 3 (tiga) sifat yang penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), Pemisahan Agregat (*segregasi*), dan pemisahan air (*bleeding*).

1. Kemudahan pengerjaan (*workability*)

   Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk dikerjakan, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan maupun sifatnya secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain :

   a. Jumlah air, makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar untuk dikerjakan.

b. Kandungan semen, makin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air untuk memperoleh nilai FAS (*W/C Ratio*) tetap.
c. Gradasi campuran pasir dan kerikil, Jika campuran pasir dan kerikil memenuhi syarat yang sesuai dengan standar, maka akan lebih mudah dikerjakan.
d. Bentuk butiran agregat kasar, agregat berbentuk bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
e. Butir maksimum, kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan, makin besar kerikil makin sulit untuk dikerjakan.
f. Cara pemadatan dan alat pemadat, menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan jumlah air yang lebih sedikit dibandingkan dengan dipadatkan menggunakan tangan.



Gambar 2.3 Faktor yang mempengaruhi *workability* beton segar
Sumber : (Arsalani, 2023)

1. *Workability* juga mengandung makna bahwa adukan mudah untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat dihilangkan. Meski

demikian, adukan tersebut harus merupakan suatu massa yang homogen dan tidak terjadi pemisahan antara bahan penyusun. Selain itu, beton juga harus memiliki sifat mobilitas yang baik atau mudah mengalir dalam cetakan. Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan *slump*. Percobaan dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dengan tinggi 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm. makin besar nilai slump berarti adukan semakin encer dan mudah untuk dikerjakan. Pada umumnya nilai *slump* berkisar antara 5 – 12,5 cm.

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. Untuk 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 (*laitance*). *Bleeding* dipengaruhi oleh :

a. Susunan butir agregat, jika komposisinya sesuai kemungkinan untuk terjadi *bleeding* kecil.
b. Banyaknya air, makin banyak air berarti makin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.
c. Kecepatan hidrasi, makin 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. 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 memiliki 4 (empat) sifat penting yang harus diperhatikan yaitu kekuatan beton *(concrete strength)*, rangkak & susut *(Crawl and shrink)*, kedap air *(waterproof)* dan tahan lama *(durability)*.

1. Kekuatan beton *(concrete strength)*

   Keunggulan beton dapat menahan tekanan daripada jenis tegangan yang lain, dan umumnya sifat ini bermanfaat pada perencanaan struktur beton. 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 kekuatan tekannya menurut kebutuhannya menjadi tidak berguna. Secara umum kekuatan beton dipengaruhi oleh dua hal yaitu faktor air semen dan kepadatannya.

   Beton dengan faktor air semen kecil sampai dengan jumlah air semen cukup untuk hidrasi semen secara sempurna akan memiliki kekuatan yang optimal. Selain itu, memang untuk keadaan yang berada kuat desak beton dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya sifat semen, sifat agregat, kepadatan, perbandingan antara bahan batuan dan semen dan sebagainya.

   Kuat tarik beton berkisar $\frac{1}{18}$ kuat tekan beton saat umurnya masih muda dan menjadi $\frac{1}{20}$ sesudahnya. Kuat tarik berperan penting dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu didalam prakteknya, kuat tekan dan tarik selalu diikuti oleh kuat geser.

2. Rangkak 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 menunjukan sifat elastistisitas murni pada waktu pembebanan singkat, sedangkan pada

pembebanan yang tidak singkat beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai dengan lama pembebanannya.

Rangkak 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 rangkak. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Besarnya rangkak berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Rangkak 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 rangkak.

Proses rangkak 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 rangkak yang rendah, sebab kedua fenomena ini berhubungan dengan proses hidrasi pasta semen. Rangkak dipengaruhi oleh komposisi beton, kondisi lingkungan, ukuran benda uji atau elemen struktur. Pada prinsipnya rangkak merupakan fenomena bergantung pada beban sebagai fungsi waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak 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 udara relatif/nisbi 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 layan saat *ter-ekspose* 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 merupakan istilah yang umum digunakan untuk menggambarkan campuran bahan organik dan anorganik yang menyusunnya. Secara umum semen adalah material yang mempunyai sifat *adhesive* dan *kohesif* yang dapat mengikat butiran-butiran mineral menjadi satu kesatuan yang kompak. Dalam pengetian sehari – hari semen yang dikenal *Hydraulic Cement* atau semen hidrolis karena kemapuannya beraksi dengan air dan mengeras dalam konsisi tanpa udara. Kemampuan mengeras dalam kondisi tanpa udara membedakannya dengan semen lainnya yang dapat beraksi dengan air akan tetapi proses reaksinya masih tergantung kepada karbondioksida untuk mendapatkan peningkatan tegangan dalam proses pengerasannya (Duma, 2008).

Semen hidrolis terbagi atas 3 (tiga) yaitu :

1. Semen *Portland*
2. Semen Alumina
3. Semen Alamiah

2.2.2 Semen Portland

Menurut (SNI 15-7064: 2004), semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen, 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.

2.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834, 2000). Berdasarkan (SK SNI S-04-F, 1989) tentang spesifikasi bahan bangunan bagian A , terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar (Muliyah dkk., 2020) :

1. Butir keras dan tidak berpori,
2. Jumlah butir pipih dan panjang dapat dipakai jika kurang dari 20 % berat keseluruhan,
3. Sifat kekal,
4. Tidak mengandung zat-zat alkali,
5. Kandungan lumpur kurang dari 1 % (terhadap berat kering),
6. Ukuran butir beranekaragam.

Tabel 2.1 Gradasi Standar Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	**Persen berat yang lewat ayakan**	
	Berat butiran maksimum	
	40 mm	20 mm
40 mm	95 – 100	100
20 mm	30 – 70	95 – 100
10 mm	10 – 35	25 – 100
4,8 mm	0 – 5	0 – 10

Sumber : (Partama dkk., 2018)

2.2.4 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batuatau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (SNI 03-2834, 2000). Berdasarkan (SK SNI S-04-F, 1989)

tentang spesifikasi bahan bangunan bagian A , terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus (Muliyah dkk., 2020) :

Harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.

1. Butirnya harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh perubahan cuaca, yaitu terik matahari dan hujan.
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka harus dicuci.
3. Tidak mengandung bahan-bahan organik karena dapat mengadakan reaksi dengan senyawa-senyawa semen portland sehingga mengurangi kualitas adukan betonnya.
4. Tidak mengandung pasir laut karena mengakibatkan korosi pada tulangan.
5. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8.

Tabel 2.2 Gradasi Standar Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	**Persentase Lolos (%)**
9,5	100
4,75	95 - 100
2,36 (No.8)	80 - 100
1,18 (No.16)	50 - 85
0,6 (No.30)	25 - 60
0,3 (No.50)	10 - 30
0,15 (No.100)	2 - 10

Sumber : (ASTM C-33, 1997)

2.2.5 Air

Menurut (SNI 03-2834, 2000), menjelaskan air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organis lainnya yang dapat merusak beton atau tulangannya.

Air merupakan bahan dasar perekat semen dengan bahan penyusun beton lainnya. Bila dicampurkan dengan semen, air akan melakukan reaksi hidrasi membentuk pasta semen yang dapat mengikat fragmen-fragmen bahan penyusun beton lainnya. Selain sebagai perekat, air juga berfungsi sebagai pelumas dalam proses pembuatan beton. Komposisi air yang dierlukan untuk bereaksi dengan

semen sekitar 25% dari berat semen. Penggunaan air yang berlebihan dari jumlah yang dibutuhkan akan mengurangi kekuatan beton sendiri (Muliyah dkk., 2020).

Fungsi Air dalam Campuran Beton:

1. Sebagai pelicin agregat halus dan kasar merupakan air berfungsi sebagai bahan pelumas yang memudahkan distribusi semen ke seluruh permukaan agregat, baik agregat halus maupun kasar. hal ini membantu dalam pencampuran dan pemadatan campuran beton.
    a. Reaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen merupakanair diperlukan untuk mengaktifkan proses hidrasi semen, di mana air bereaksi dengan partikel semen untuk membentuk pasta semen yang mengikat agregat dan memberikan kekuatan pada beton.
    b. Membasahi agregat untuk perlindungan dan reaksi kimia merupakan air juga berperan dalam membentuk kondisi yang ideal di antara agregat dan semen, melindungi agregat dari kekeringan dan memungkinkan reaksi kimia yang diperlukan untuk kekuatan beton yang optimal.
    c. Mengalirkan campuran beton ke dalam cetakan merupakan konsistensi campuran beton yang sesuai dengan kebutuhan memungkinkan campuran untuk mengalir dengan baik ke dalam cetakan, mengisi seluruh area cetakan dengan baik dan tanpa segregasi.

Asal dan Persyaratan Air untuk Beton:

1. Air yang diserap dalam Agregat (*SSD - Saturated Surface Dry*) Ini adalah air yang telah diserap oleh agregat, membuatnya dalam keadaan jenuh kering permukaan. Kondisi *SSD* ini mempengaruhi jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton.
    a. Air yang Ditambahkan selama Proses Pencampuran harus dikoreksi dengan mempertimbangkan jumlah air yang sudah ada di permukaan agregat (*SSD*) atau tanpa air yang terserap dalam agregat, sesuai dengan rasio air/semen yang dihitung.
    b. Air permukaan pada agregat merupakan kadar air yang ada pada permukaan agregat juga mempengaruhi total jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton.

Persyaratan untuk air yang digunakan:

1. Bersih dan Bebas dari kontaminan berbahaya
   a. Air yang digunakan harus bersih, tidak mengandung minyak, asam, alkali, zat organik, atau bahan lain yang dapat merusak beton atau tulangan.
   b. Idealnya, air yang digunakan adalah air tawar yang dapat diminum.
   c. Tidak mengandung ion klorida berbahaya
   d. Khusus untuk beton pra-tekan dan beton yang menggunakan logam aluminium, air tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
   e. Konsentrasi maksimum ion klorida dalam beton yang telah mengeras tidak boleh melampaui nilai yang telah ditetapkan untuk menghindari korosi.

2.2.6 Kerang

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

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan salah satu sumber daya perikanan Indonesia yang paling banyak diperoleh dari penangkapan di alam, mengandung daging sekitar 30% dari berat keseluruhan. Produksi kerang termasuk kerang hijau menghasilkan cangkang kerang hijau yang besar pula, sehingga berpotensi menimbulkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Komposisi utama yang terdapat di dalam cangkang kerang hijau adalah kalsium karbonat (CaCO3) sebesar 99,5% . Penelitian lain menunjukkan bahwa kandungan kalsium dari cangkang kerang hijau adalah kalsium karbonat (CaCO3) dan dapat didekomposisi menjadi kalsium oksida (Aridhani dkk., 2021).

Pada umumnya limbah cangkang kerang tidak digunakan kembali dan hanya dibuang, oleh karena itu perlu dikaji manfaat limbah cangkang kerang apabila dicampurkan ke dalam campuran beton normal.

Tabel 2.3 Persentase Senyawa Kimia pada Kerang Dara dan Kerang Hijau

Komponen	Nama Senyawa	*Anadara Granosa* (%)	*Perna Viridis* (%)
$CaCO_3$	Kalsium Karbonat	67,70	95,69
SiO_2	Silikon Dioksida	7,88	0,22
Fe_2O_3	Besi (III) Oksida	0,03	1,00
MgO	Magnesium Oksida	22,28	3,08

Komponen	Nama Senyawa	*Anadara Granosa* (%)	*Perna Viridis* (%)
AL_2O_3	Aluminium Oksida	1,25	0,01

sumber : (Liemawan dkk., 2015)

Gambar 2.4 (a) Kerang Dara dan (b) Kerang Hijau

2.3 Pengujian *Properties* Beton

2.3.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (*Sieve Analysis*)

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Acuan yang digunakan pada pengujian ini berdasarkan (SNI 03-1968, 1990) tentang metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar. Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menetukan 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 dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji;
   b. Satu set saringan ; 3,75 mm (3”); 63,5 mm(2 ½”), 50,8 mm (2”); 37,5 mm (1 ½”); 25 mm (1”); 19,1 mm (3/4”); 12,5 mm (1/2”); 9,5 mm (3/8”); No.4 (4,75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm);
   c. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 ± 5) ˚C ;
   d. Alat pemisah contoh ;

e. Mesin pengguncang saringan ;
f. Talam-talam ;
g. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.

2. Benda uji
   a. Agregat halus
   b. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian

   Urutan proses dalam penyajian ini adalah sebagi berikut:
   a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5) ^{o}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^{o}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^{o}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^{o}C. Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap quarry terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Acuan yang digunakan pada pengujian ini berdasarkan (SNI 03-1969, 1990) tentang metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Acuan yang digunakan pada pengujian ini berdasarkan (SNI 03-1970, 1990) tentang metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. 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 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 ± 5) ^{o}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 teteapi masih dalam keadaan tercetak.

d. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai

4. Perhitungan

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

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

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

d. Penyerapan $\frac{(500-Bk)}{Bk}\ x\ 100\%$ (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 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

1. Peralatan
   a. Keranjang kawat
   b. Tempat arsir
   c. Timbangan
   d. Oven
   e. Alat pemisah contoh
   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 ± 5) ^{o}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*) $\frac{Bk}{Bj - \text{Ba}}$ (2.5)

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

c. Berat jenis semu (apparevt spesific gravity) $\frac{Bk}{\text{Bk} - \text{Ba}}$ (2.7)

d. Penyerapan $\frac{Bj - Bk)}{Bk}\ x\ 100\%$ (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. Acuan yang digunakan pada pengujian ini berdasarkan (SNI 03-1971, 1990) tentang metode pengujian kadar air agregat. 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 benda uji (W_3)
   d. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu (110 ± 5) ^oC sampai beratnya tetap.
   e. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4)
   f. Hitunglah berat benda uji kering (W_5)
4. Perhitungan
   a. $Berat\ benda\ uji\ semula\ W_3 = W_2 - W_1$ (2.9)
   b. $Berat\ benda\ uji\ \ kering\ W_5 = W_4 - W_1$ (2.10)
   c. $Kadar\ air\ agregat\ \frac{(W_3 - W_5)}{W_5}\ x\ 100\%$ (2.11)

   Keterangan

   W_1 = Berat talam

   W_2 = Berat benda uji dan berat talam

   W_3 = Berat benda uji semula

   W_4 = Berat benda uji dan talam (keadaan kering)

   W_5 = Berat benda uji (keadaan kering)

2.3.4 Pengujian Berat Isi Padat dan Berat Lepas 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. Acuan

yang digunakan pada pengujian ini berdasarkan (SNI-03-4804, 1998) tentang metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat.

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 25x tusukan batang penusuk.
      3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk 25x 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
      9) Hitung kadar rongga udara
   4. 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.

5. Perhitungan

a. Agregat dalam keadaan kering oven

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

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)

6. Agregat dalam keadaan kering permukaan

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

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. Acuan yang digunakan pada pengujian ini berdasarkan (SNI S-04-F, 1998) tentang metode pengujian kadar lumpur.

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.
   1. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
   2. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
   3. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
   4. Tinggi pasir (V_1) dan tinggi lumpur (V_2) diukur.

5. Perhitungan

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{V2}{V1+V2}\ x\ 100\% \qquad (2.14)$$

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.

Acuan yang digunakan pada pengujian ini berdasarkan (SNI 2417, 2008) tentang cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles.*

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 (1,7 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

   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 (1,70mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $100^{o}\,C \pm 5^{o}\,C$ 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

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a}\ x\ 100\% \qquad (2.15)$$

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 *workaibility*, 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 :

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

Jenis Beton	*f'c* (MPa)	Uraian
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 penggali deviasi standar.

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.

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 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia, 1971).

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 ≤ 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 : (Peraturan Beton Bertulang Indonesia, 1971)

2.4.3 Nilai Tambah (Margin)

Nilai Tambah dihitung menurut rumus :

$$M = 1.64\ x\ S_r \qquad (2.16)$$

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 :

$$fcr' = f'c + M \qquad (2.17)$$

Keterangan

f'cr : Kuat tekan rata-rata (MPa)

f'c : Kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M : Nilai tambah (MPa)

2.4.5 Jenis Semen

Menurut standar (SNI 15-2049, 2004) tentang semen portland, terdapat lima jenis semen yang dibedakan berdasarkan penggunaannya.

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 *setting time* yang lama
V	Ketahan 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 berdasarkan tabel dibawah ini.

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

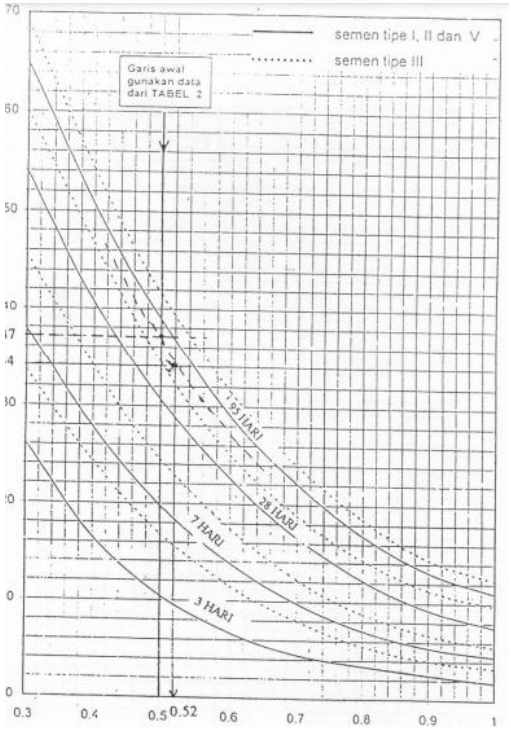
Jenis semen	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen *Portland* Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen *Portland* 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 2.9 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 2.5 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 vertikal nilai FAS 0,5 sesuai dengan nilai pada tabel 2.9 .
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

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
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 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, kaison 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 anatara 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.

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

***Slump* (mm)**		**0-10**	**10-30**	**30-60**	**60-180**
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

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
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 :

$$Kadar\ air\ bebas = \frac{2}{3}\ Wh + \frac{1}{3}\ Wk \tag{2.18}$$

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.

$$Kadar\ semen = \frac{Kadar\ air\ bebas}{FAS\ bebas} \tag{2.19}$$

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

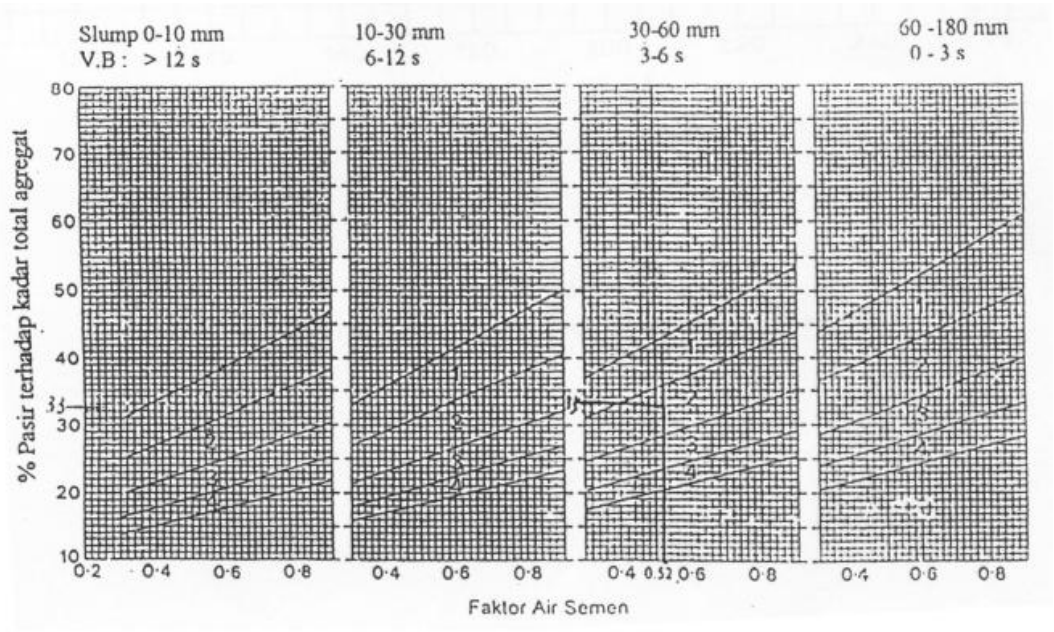
Faktor air semen disesuaikan hanya dihitung jika ada perubahan jumlah semen dari hasil perhitungan menjadi jumlah semen minimum ataupun maksimum.

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.



Gambar 2.6 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm
sumber : (SNI 03-2834, 2000)

Berdasarkan grafik di atas, dari nilai FAS 0,55 tarik garis vertikal hingga memotong dua buah kurva daerah gradasi 1, lalu tarik garis horizontal maka didapatkan persen agregat halus rerata.

Sehingga, persentase agregat halus dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Persen\ agregat\ halus = \frac{Batas\ atas + Batas\ bawah}{2} \tag{2.20}$$

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:

$$\text{BJ ag.gab} = (\%\ \text{ag.halus x BJ ag. halus}) + \left((100\% - \%\ \text{ag. kasar}) \text{ x BJ ag.kasar}\right) \quad (2.21)$$

Keterangan

BJ ag.gab : Berat jenis agregat gabungan

BJ ag.halus : Berat jenis agregat halus

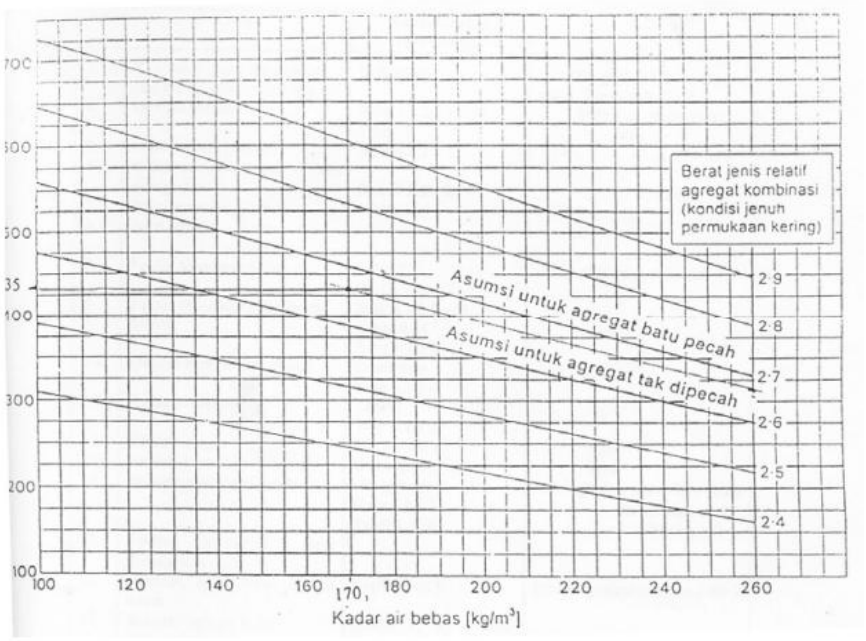
BJ ag.kasar : Berat jenis agregat kasar

% 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 meter^3 beton. Berat isi beton ditentukan menggunakan grafik di bawah, dengan sumbu x adalah kadar air bebas dan sumbu y adalah berat isi beton.



Gambar 2.7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan.
sumber : (SNI 03-2834, 2000),

Berdasarkan grafik di astas 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 Bj 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:

$$Kadar\ ag.gab = berat\ isi\ beton - Jumlah\ semen - kadar\ air\ bebas \quad (2.22)$$

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:

$$Kadar\ agregat\ halus = (\%\ ag\ halus)\ x\ (kadar\ ag\ gab) \quad (2.23)$$

Keterangan :

% ag halus : Persentase agregat halus (%)

kadar ag gab : Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

2.4.22 Kadar Agregat Kasar

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

$$Kadar\ agregat\ kasar = (kadar\ ag\ gab) - (kadar\ ag\ hls) \quad (2.24)$$

Keterangan :

Kadar ag gab : Kadar agregat gabungan kg/m^3

Kadar ag hls : Kadar agregat halus kg/m^3

2.4.23 Proporsi Campuran

Proporsi campuran beton merupakan perbandingan yang tepat anatara bahan bahan penyusun beton, dengan proporsi yang benar akan memastikan bahwa beton mencapai kekuatan yang diinginkan dan memilki 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.

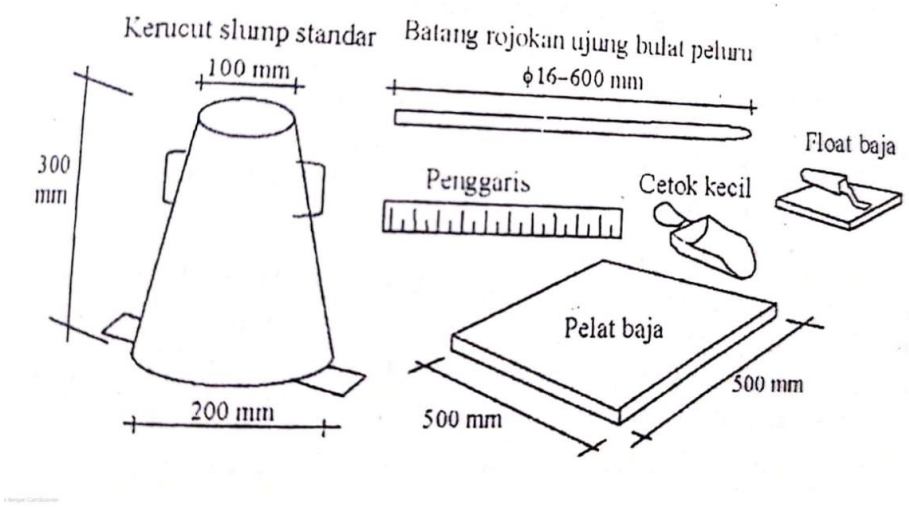
2.5 Pengujian *Slump*

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 dilapangan, sebaliknya semakin besar nilai *slump* berarti beton semakin encer kondisi beton segar dilapangan. Karena kelecakan 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 2.8 Peralatan Pengujian *slump*
sumber : (Nugraha, 2007)

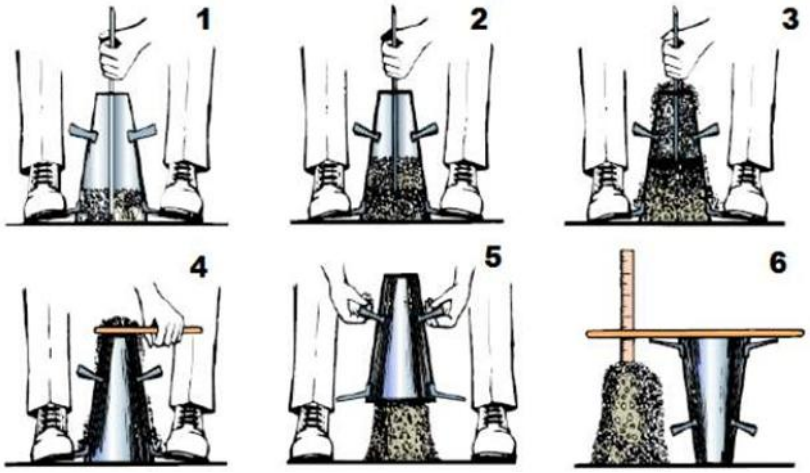
2.5.2 Benda Uji

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 $^1/_3$ 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. Segela 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.



Gambar 2.9 Pengujian *Slump* Beton
Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

2.5.4 Pengukuran *Slump*

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 Beton (*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.

Untuk menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras, tutup benda uji segera setelah pekerjaan akhir, lebih dipilih dengan pelat yang tak menyerap dan tidak reaktif atau lembaran plastik yang kuat, awet dan kedap air. Benda uji dibuka dari cetakan 24 jam ± 8 jam setelah pencetakan. Kecuali bila ada persyaratan lain, semua benda uji dirawat basah pada temperatur 23 ^{o}C ± 1.7 ^{o}C mulai dari waktu pencetakan sampai saat pengujian. Penyimpanan selama 48 jam pertama perawatan harus pada lingkungan bebas getaran. Perawatan benda uji kuat lentur sesuai dengan perawatan benda uji kuat tekan, kecuali selama penyimpanan untuk masa minimum 20 jam segera sebelum pengujian benda uji harus direndam dalam cairan jenuh kapur pada 23 ^{o}C ± 1,7 ^{o}C. Saat terakhir masa perawatan, antara waktu benda uji dipindahkan dari perawatan sampai pengujian diselesaikan, pengeringan benda uji harus dihindarkan.

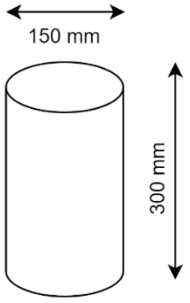
2.7 Pengujian Benda Uji

Pengujian beton keras dimaksudkan untuk mengevaluasi kesesuaian dengan hasil rancangan. Pengujian beton keras antara lain uji kuat tekan (*compression test*), uji kuat lentur beton.

2.7.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah beban yang diberikan persatuan luas, menyebabkan benda uji mulai hancur atau retak jika dibebani dengan gaya tekan tertentu oleh mesin tekan.

Hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengendalian mutu dari komposisi campuran beton, proses pencampuran dan kegiatan pengecoran beton, penentuan hasil pekerjaan yang memenuhi spesifikasi dan evaluasi keefektifan bahan tambah serta pengendalian kesetaraan penggunaannya.



Gambar 2.10 Dimensi Benda Uji Silinder

2.7.1.1 Peralatan

1. Mesin uji tekan
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/cm^2 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

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.

$$Kuat\ tekan\ beton = \frac{P}{A} \quad (2.25)$$

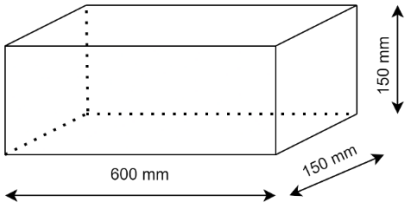
Keterangan

P : Gaya tekan aksial (N)

A : Luas penampang benda uji (mm^2)

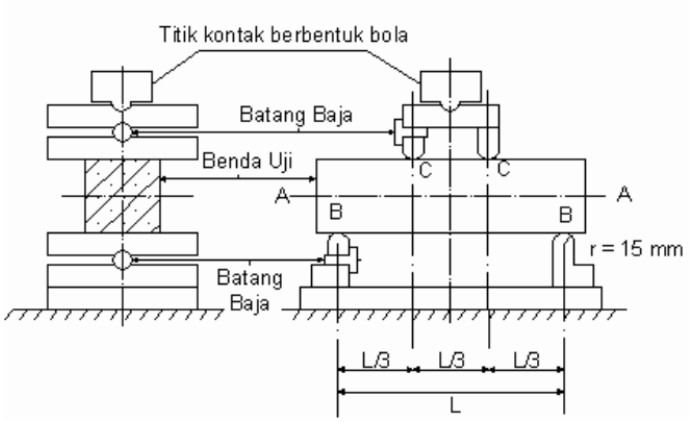
2.7.2 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton dengan sistem pembebanan dua titik adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus smubu benda uji, yang diberikan kepadanya sampai benda uji patah, dinyatakan dengan *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas.



Gambar 2.11 Dimensi Benda Uji Balok

2.7.2.1 Komponen benda uji dan benda uji balok



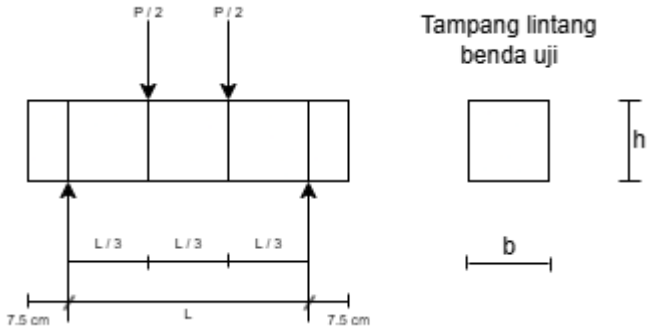
Gambar 2.12 Mesin Uji Lentur
sumber : (SNI 4431, 2011)

Keterangan gambar :

A-A adalah Sumbu memanjang

B adalah Titik-titik perletakan

C adalah Titik-titik pembebanan



Gambar 2.13 Benda uji, Perletakan dan Pembebaban
sumber : (SNI 4431, 2011)

Keterangan gambar :

L : Jarak (bentang) antara dua garis perletakkan (cm)

b : Lebar tampak lintang benda uji (cm)

h : Tinggi tampak lintang benda uji (cm)

P : Beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji (kg)

2.7.2.2 Peralatan

1. Mesin uji lentur yang dilengkapi dengan dua titik pembebanan(atas) dan dua titik perletakan(bawah).
2. Timbangan.

2.7.2.3 Prosedur pengujian

1. Hidupkan mesin uji yang telah disiapkan.
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.
3. Atur pembebanan untuk menghindari terjadi benturan.
4. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepatan 8 kg/cm^2 sampai 10 kg/cm^2 tiap menit .
5. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat-saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejut.
6. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji .

7. Ambil benda uji yang telah selesai diuji, yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya.
8. Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah.

2.7.2.4 Perhitungan

1. Untuk pengujian dimana patahnya terjadi di daerah pusat (1/3 jarak perletakan) kuat lentur beton dapat dihitung dengan persamaan 2.25 .

$$\sigma_l = \frac{P\ x\ L}{b\ x\ h^2} \qquad (2.26)$$

2. Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar 1/3 jarak perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah kurang dari 5% dari bentang titik perletakan, maka kuat lentur dapat dihitung dengan persamaan 2.26 .

$$\sigma_l = \frac{P\ x\ a}{b\ x\ h^2} \qquad (2.27)$$

3. Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar 1/3 jarak perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan, maka hasil pengujian tidak digunakan.

   Keterangan :

   σ_l : Kuat lentur benda uji (MPa)

   P : Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji.

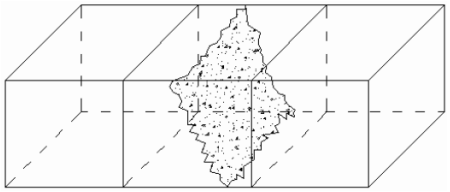
   L : Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)

   b : Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

   h : Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

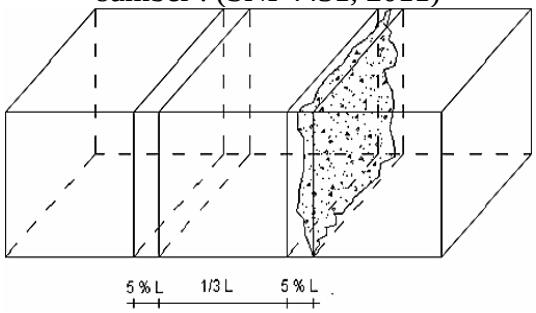
   a : Jarak rata-rata tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm).

2.7.2.5 Garis-garis perletakan dan pembebanan

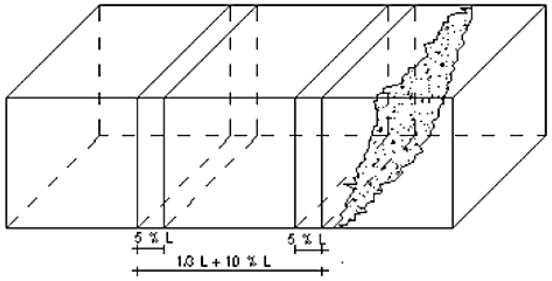


Gambar 2.14 Patah 1/3 bentang tengah

sumber : (SNI 4431, 2011)



Gambar 2.15 Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah < 5% dari bentang
sumber : (SNI 4431, 2011)



Gambar 2.16 Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah >5% dari bentang
sumber : (SNI 4431, 2011)

2.7.3 Hubungan Kuat Lentur dan Kuat Tekan Beton

Berdasarkan tinjauan hubungan kuat tekan dan lentur beton bahwa persamaan hubungan kuat tekan dengan lentur beton yaitu bila menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*) yaitu fr = 0,62.√f'c dan bila menggunakan metode SNI T-15-1991-03 yaitu fr = 0,70.√f'c (Hermansyah dkk., 2019).

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" oleh Arbi (2015). Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah cangkang kerang sekaligus menyelamatkan lingkungan pantai dari pencemaran sekaligus mencari inovasi baru pada tehnologi beton. Substitusi cangkang kerang halus dengan variasi 5%, 10% dan 15% dari volume agregat halus.

Hasil pengetesan 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 (Arbi, 2015).

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" Oleh Restu Andika, Hermawan Aski 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 dara.

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 (Andika & Safarizki, 2019).

2.8.3 Aditya Dandy Firatama, Qomariah, Sugiharti (2020)

Pada era globalisasi ini, konstruksi di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan terhadap fasilitas dan infrastruktur terutama dalam bidang beton. Sumenep salah satu kabupaten di Madura yang dikelilingi pesisir pantai dengan hasil laut kerang dara yang melimpah dan limbah cangkang kerang yang dihasilkan pun semakin banyak. Menggiling limbah cangkang kerang dara menjadi ukuran yang halus bisa digunakan sebagai bahan substitusi pasir terhadap beton normal. Kegiatan penggilingan ini dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik beton dengan substitusi limbah cangkang kerang dara terhadap pasir tinjauan pengujian kuat tekan beton dan daya serap beton. Metode penelitian meliputi: pengujian sifat fisik agregat dan cangkang kerang dara, perancangan campuran beton menggunakan referensi (SNI 03-2834, 2000). Sampel penelitian untuk setiap variasi 0%, 7%, 9%, dan 12% berjumlah 18 benda uji silinder untuk pengujian kuat tekan beton dan 4 benda uji silinder untuk pengujian daya serap beton. Hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari secara berturut-turut untuk variasi 0%, 7%, 9%, dan 12% sebesar 34,47 kg/cm^2; 32,20 kg/cm^2; 32,16 kg/cm^2; 32,56 kg/cm^2. Hasil pengujian daya serap beton umur 28 hari secara berturut-turut untuk variasi 0%, 7%, 9%, dan 12% sebesar 4,94%; 4,19%; 4,66%; 3,20%. Substitusi limbah cangkang kerang dara menurunkan nilai kuat tekan beton rata-rata dan nilai daya serap beton rata-rata (Firatama dkk., 2020).

2.8.4 Dinda Alma Esa, Agustinus Agus Setiawan, Galih Wulandari Subagyo (2021)

Salah satu program internasional yang sedang di kembangkan saat ini adalah Sustainable Development Goals (SDGs) dengan 17 poin utama didalamnya. Penelitian ini mendukung 3 poin SDGs yaitu membangun infrastruktur yang Tangguh, meningkatkan industri inklusif dan berkelanjutan, serta mendorong inovasi menjadikan kota dan pemukiman inklusif, aman, Tangguh dan berkelanjutan dan menjamin pola dan konsumsi yang berkelanjutan. Sustainable Development Goals (SDGs) disetujui pada tanggal 25 – 27 September 2015 di markas besar PBB (Perserikatan Bangsa-Bangsa), New York, Amerika Serikat yang dihadiri oleh 193 negara termasuk Indonesia. untuk merealisasikan program tersebut, maka didalam penelitian ini digunakan cangkang kerang dara sebagai subsitusi agregat kasar beserta penambahan admixture sehingga diharapkan cangkang kerang dara mempunya nilai ekonomis dan juga dapat menudukung program SDGs.

Hasil kuat tekan beton normal mencapai nilai 27,9 MPa pada umur 28 hari. Pada beton dengan campuran cangkang kerang dara (Anadara Granosa) sebagai subsitusi agregat kasar pada persentase 5%, 10%, 15%, dan 20% di dapat nilai tertinggi ada pada persentase 10% dengan nilai kuat tekan sebesar 24,9 MPa hampir

mendekati kuat tekan yang direncanakan yaitu 25 MPa nilai terendah adalah 19,0 MPa dengan persentase 20%. Pada beton dengan campuran cangkang kerang dara (Anadara Granosa) sebagai subsitusi agregat kasar dan superplasticizers nilai tertinggi kuat tekan beton sebesar 42,4 MPa dengan persentase 5% dan nilai terendah 15,8 MPa dengan persentase 20%. Dapat disimpulkan bahwa beton dengan cangkang kerang dara sebagai pengganti agregat kasar sebesar 10% serta penambahan superplasticizers sebanyak 1% layak digunakan sebagai material beton struktural (Esa dkk., 2021).

2.8.5 Yudi Wahyu Setiawan, Bayu Adhy Septyawan, Ibnu Toto Husodo, Slamet Budirahardjo (2022)

Seiring perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi. Beton digunakan pada kegiatan konstruksi seperti pekerjaan bangunan tinggi, jembatan, dan bendungan. Beton didefisinikan sebuah bahan komposit dengan penyusun utama agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Banyaknya limbah cangkang kerang hijau yang membuat kami tertarik untuk meneliti pengaruh penggantian serbuk cangkang kerang pada campuran beton terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Tujuan dalam penelitian ini adalah menganalisa berapa kuat tekan dan kuat lentur optimum beton dengan variasi serbuk cangkang kerang 5%, 10%, dan 20% pada umur 14 dan 28 hari. Penelitian dilakukan dengan cara *mix design*, dengan membuat sampel beton

Standar 25 MPa sebagai kontrol, kemudian membuat sampel beton variasi dengan campuran agregat halus serbuk cangkang dengan komposisi 5%, 10%, dan 20% dari kebutuhan agregat halus. Digunakan sampel silinder (Ø = 15 cm, h = 30 cm) dan balok (15 x 15 x 60 cm). Sampel di uji kuat tekan dan kuat lenturnya pada umur 14 dan 28 hari. Dari hasil penelitian umur 14 hari nilai rata - rata kuat tekan beton standar yang

didapat 25,46 MPa, pada campuran 5% nilai kuat tekan 25,55 MPa, campuran 10% sebesar 29,504 MPa, campuran 20% sebesar 27,1 MPa. Dari hasil tersebut diketahui nilai kuat tekan paling besar adalah 10 %. Sedangkan pengujian kuat lentur benda uji berupa balok dengan (15 x 15 x 60 cm). Dari hasil pengujian umur 14 hari nilai rata - rata kuat lentur beton standar yang didapat 33,55 kg/cm², campuran 5% nilai kuat lentur 45,33 kg/cm², campuran 10% diperoleh 53,9 kg/cm²,

campuran 20% nilai kuat lentur 60,759 kg/cm². didapat 25,46 MPa, pada campuran 5% nilai kuat tekan 25,55 MPa, campuran 10% sebesar 29,504 MPa, campuran 20% sebesar 27,1 MPa. Dari hasil tersebut diketahui nilai kuat tekan paling besar adalah 10 %. Sedangkan pengujian kuat lentur benda uji berupa balok dengan (15 x 15 x 60 cm). Dari hasil pengujian umur 14 hari nilai rata - rata kuat lentur beton standar yang didapat 33,55 kg/cm², campuran 5% nilai kuat lentur 45,33 kg/cm², campuran 10% diperoleh 53,9 kg/cm², campuran 20% nilai kuat lentur 60,759 kg/cm² (Setiawan dkk., 2022).

2.8.6 Daliana Elvira , Meilandy Purwandito , Irwansyah (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 perbandingkan 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% (Elvira & Purwandito, 2023).