

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran antara semen portland, agregat kasar, agregat halus, air dan terkadang ditambahkan dengan menggunakan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serat sampai dengan bahan non kimia pada perbandingan tertentu. Menurut SNI 2847-2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, menggunakan bahan tambahan atau tidak menggunakan bahan tambahan (Tjokrodimuljo, 2007).

Kuat tekan beton merupakan perbandingan utama untuk mengetahui seberapa besar mutu beton yang dihasilkan. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton diantaranya faktor air semen, bahan tambah, tingkat hidrasi, rongga udara, porositas agregat. Penggunaan bahan tambah dalam sebuah campuran beton harus memperhatikan standar yang berlaku seperti SNI (Standar Nasional Indonesia).

Menurut Tjokrodimuljo (2007) kelebihan dan kekurangan beton sebagai berikut;

Kelebihan beton adalah sebagai berikut:

1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
2. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan.
3. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan ke dalam retakan beton dalam proses perbaikan.
4. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Kekurangan beton adalah sebagai berikut :

1. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu diberikan baja tulangan sebagai penahan gaya tariknya.

2. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi untuk mengatasi retakan – retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
4. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

Adapun pengelompokan beton berdasarkan mutu dan penggunaan beton Departemen PU (Puslitbang Divisi 7-2005) yaitu sebagai berikut:

1. Beton mutu rendah 10 MPa - 20 MPa atau K125 – K250 adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural, dan untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus.
2. Beton mutu sedang 20 MPa - \leq 30 MPa atau K250 – K340 adalah beton yang digunakan secara umum untuk pekerjaan struktural seperti plat lantai, jembatan, gelagar beton bertulang, kolom, balok, dan lainnya.
3. Beton mutu tinggi 35 MPa – 65 MPa atau K400 – K800 adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural dimana dipakai mutu beton dengan kekuatan karakteristik yang lebih tinggi dari K400 kg/cm². Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah tenaga ahli. Diisyaratkan dengan mengadakan uji laboratorium dengan peralatan yang lengkap sehingga dapat melakukan pengawasan secara ketat dan kontinum.

2.1.1 Sifat-Sifat Beton

Beton segar adalah kombinasi beton yang tidak berubah komposisinya setelah dicampur dalam waktu lama. Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu sebuah proses hidrasi antara air dengan semen, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar jika ditambah agregat kasar menjadi beton. Apabila ada penambahan material lain maupun mengganti material yang sejenis atau berbeda akan membedakan jenis beton tersebut sehingga bisa menambah mutu dari beton itu sendiri.

Dalam pengerjaan beton segar, ada tiga sifat penting yang harus diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (*segregation*), dan pemisahan air (*bleeding*).

1. Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Workability merupakan salah satu ciri beton segar yang belum mulai memadat. *Workability* adalah kemudahan beton untuk dicampur, dituangkan kedalam cetakan, dan dipadatkan dengan tetap menjaga homogenitasnya dan mencegah terjadinya *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *workability* beton antara lain:

1. Jumlah air.

Semakin banyak air yang digunakan pada campuran beton semakin mudah pengerjaan beton segar.

2. Jumlah pasta (semen dan air).

Penambahan pasta (dengan FAS tetap) biasanya dilakukan agar adukan bertambah encer namun nilai FAS (berat air dibagi berat semen) tetap, sehingga kuat tekan betonnya tidak turun. Maka penambahan jumlah pasta dengan FAS tetap lebih baik dari pada penambahan air yang merubah FAS.

3. Gradasi campuran pasir dan kerikil.

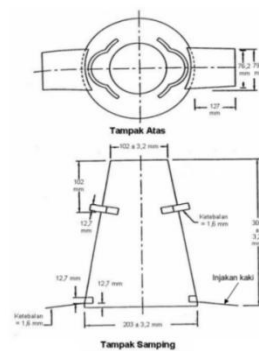
Mengikuti gradasi campuran yang telah disarankan dalam peraturan dan spesifikasi akan memudahkan adukan beton untuk dikerjakan.

4. Pemakaian butir-butir agregat yang bulat akan memudahkan pengerjaan beton.

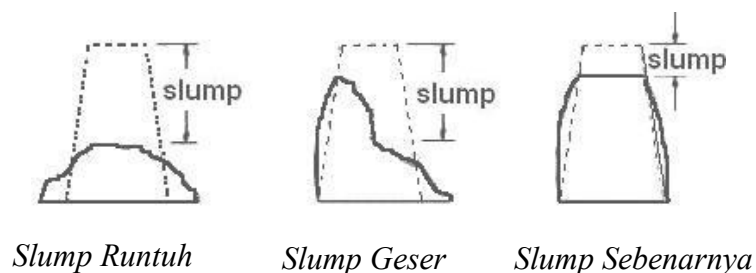
5. Ukuran maksimum kerikil yang akan digunakan juga mempengaruhi kemudahan pengerjaan beton.

6. Cara pemadatan adukan beton atau alat yang digunakan menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit dari pada jika dipadatkan dengan tangan (Tjokrodinuljo, 2007).

Untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan, maka dilakukanlah uji slump. Pengujian ini dilakukan menggunakan kerucut Abrams dan batang besi penusuk baja berdiameter 16 mm dan panjang sekitar 600 mm. Kerucut Abrams memiliki ukuran lubang bagian atas berdiameter $102 \pm 3,2$ mm, bagian bawah berdiameter $203 \pm 3,2$ mm, tinggi $305 \pm 3,2$ mm, dan dilengkapi dengan kuping (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Kerucut Abrams



Gambar 2.2 Jenis- Jenis *Slump*

Berdasarkan Gambar 2.2, slump sendiri terdiri dari tiga jenis yaitu *slump* sebenarnya, *slump* geser, dan *slump* runtuh. Suatu campuran yang telah dibuat dikatakan *slump* sebenarnya, jika kerucut diangkat tidak terjadi runtuh. Slump geser merupakan sebagian kerucut beton meluncur kebawah sepanjang bidang miring.

Campuran dikatakan slump runtuh, jika setelah diangkat campuran mengalami runtuh. Jika slump yang terjadi adalah slump geser dan slump runtuh maka pengujian slump harus diulang. Jika bentuk slump itu slump sebenarnya maka beton layak untuk dilakukan pengujian nilai

slump. Adapun hubungan antara slump dengan tipe konstruksi dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.1 Faktor Kemudahan Kerja Terhadap Jenis Konstruksi

Derajat Kemudahan Kerja	Slump (mm)	Faktor Pemadatan	Tipe Konstruksi
Sangat Rendah	0	0,75	Untuk jalan atau pekerjaan lain dengan penampang yang besar.
Rendah	0 – 5	0,85	Untuk pekerjaan beton bertulang dan sederhana hingga normal.
Sedang	5 – 25	0,90	Untuk pekerjaan beton bertulang dari normal hingga berat.
Tinggi	25 – 100	0,95	Untuk penampang dengan tulangan yang rapat. Biasanya tidak dapat menggunakan alat vibrasi.

Sumber: Tjokrodinuljo (2007)

Tabel 2.2 Nilai Slump Untuk Berbagai Pekerjaan Beton

Tipe Konstruksi	Slump (cm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	12,5	5,0
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah.	9,0	2,5
Balok dan dinding bertulang	15,0	7,5
Kolom bangunan	15,0	7,5
Perkerasan dan pelat lantai	7,5	5,0
Beton massa	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971 N.I.-2 (1971:38)

2. Pemisahan Partikel Agregat (*Segregation*)

Segregasi adalah kecenderungan butiran kasar untuk terpisah dari campuran beton (Mulyono, 2004). Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil pada beton akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton terdapat pori-pori, permukaan bersisik dan tidak rata. Penyebabnya sebagai berikut:

- a. Slump yang terlalu rendah.
- b. Gradasi agregat kurang baik.
- c. Berat jenis agregat kasar lebih besar dari pada agregat halus.
- d. Agregat halus yang terlalu sedikit.
- e. Campuran beton yang terlalu kering atau lembab.
- f. Tinggi jatuhnya pengecoran terlalu tinggi.
- g. Penggunaan penggetar terlalu lama.

Cara untuk penanggulangan agar tidak terjadi segregasi sebagai berikut:

- a. Merancang campuran yang memadai.
- b. Menambah material untuk merubah slump dan kelecikan beton.
- c. Tidak menjatuhkan campuran beton terlalu tinggi.

3. Pemisahan Air dari Campuran (*Bleeding*)

Penghilangan air dari campuran beton yang dikenal dengan bleeding terjadi akibat keluarnya air dari pasta semen. Beton segar cenderung memiliki air didalamnya yang naik ke permukaan segera setelah dituangkan. Bleeding dipengaruhi beberapa faktor yaitu:

- a. Susunan butir agregat

Jika komposisi yang dirancang sesuai, maka kemungkinan terjadi bleeding kecil.

- b. Banyaknya air

Semakin banyak air yang di campurkan maka semakin besar kemungkinan terjadi *bleeding*.

- c. Kecepatan hidrasi

Kemungkinan bleeding lebih kecil terjadi jika beton mengeras lebih cepat.

- d. Proses pemadatan.

Apabila pemadatan yang berlebihan, maka akan menyebabkan bleeding.

Cara mengurangi bleeding digunakan:

- a. Jumlah air campuran disesuaikan kebutuhan agar mencapai *workability*.
- b. Campuran dengan semen lebih banyak.
- c. Jenis semen yang butir-butirnya lebih halus.
- d. Bahan batuan bergradasi lebih baik.
- e. Pasir alam yang memiliki proporsi butiran halus lebih tinggi dan cukup bulat.

4. Umur Beton

Dengan bertambahnya umur beton, maka kuat tekan juga akan meningkat. Sampai dengan umur 28 hari, kekuatan beton akan berkembang dengan cepat (*linier*), namun setelah itu peningkatannya akan minimal. Dalam beberapa keadaan, kuat tekan beton akan terus meningkat untuk beberapa tahun yang akan datang. Biasanya, kuat tekan desain beton ditentukan setelah 28 hari. Seiring bertambahnya usia beton, kuat tekannya akan meningkat (Tjokrodimuljo, 2007).

Umur dalam konteks ini dihitung sejak beton dicetak. Di luar beberapa hari pertama, laju kenaikan kuat tekan beton melambat, dan setelah 28 hari, laju kenaikan relatif sangat kecil. Jika umur tidak ditentukan, kuat tekan beton sering dianggap sebagai kekuatan pada umur 28 hari. Jenis semen *portland*, suhu sekitar beton, faktor air-semen, dan elemen lain yang juga mempengaruhi kuat tekan beton memiliki dampak pada laju kenaikan beton. Berikut hubungan antara umur beton dan kuat tekan beton (Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Rasio Kekuatan Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen <i>portland</i> biasa	0,4	0,65	0,88	0,95	1	1,2	1,35
Semen <i>portland</i> dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,9	0,95	1	1,15	1,2

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

5. Berat Jenis

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007), berat jenis agregat merupakan rasio antara massa pasa agregat dan massa air dengan volume yang sama (maka tanpa satuan). Beton normal yang dirancang dengan agregat normal (pasir dan kerikil normal berat jenisnya antara 2,5-2,7) memiliki berat jenis sekitar 2,3 - 2,4. Berikut beberapa jenis beton menurut berat jenisnya (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenisnya

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktural
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30 – 2,50	Struktur
Beton berat	>3,00	Perisai sinar X

Sumber: Tjokrodinuljo (2007)

2.1.2 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton terdiri dari agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), semen, dan air.

1. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi campuran untuk mortar atau beton. Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Atmaja & Wijaya, 2016). Menurut ukurannya, agregat di bedakan menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar.

a. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus juga disebut dengan pasir. Adapun syarat-syarat halus yang baik digunakan untuk bahan campuran beton, antara lain sebagai berikut:

- 1) Agregat halus tidak boleh mengandung kadar lumpur lebih dari 5%,
- 2) Agregat halus tidak mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan tidak boleh gelap dari warna standar atau pembanding,
- 3) Agregat halus memiliki modulus butir halus antara 1,50-3,80,
- 4) Agregat halus tidak boleh reaktif terhadap alkali.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 4,75 mm. Agregat kasar juga disebut kerikil, batu pecah, ataupun split.

Adapun syarat-syarat agregat kasar yang baik digunakan untuk bahan campuran beton antara lain, sebagai berikut:

- 1) Agregat kasar tidak boleh mengandung kadar lumpur maksimum 1%,
- 2) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali,
- 3) Agregat kasar memiliki ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan,
- 4) Agregat kasar tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.

2. Semen

Semen adalah bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan - bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Semen sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semen non hidrolik dan semen hidrolik.

Semen non hidrolik adalah semen yang tidak dapat mengeras dengan air, akan tetapi perlu udara untuk dapat mengeras, contoh utama dari jenis semen non-hidrolik adalah kapur. Sedangkan untuk semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras

didalam air, semen hidrolik antara lain meliputi, tetapi tidak terbatas pada bahan-bahan sebagai berikut: kapur hidrolik, semen teras, semen terak, semen alam, dan semen *portland*.

Semen yang merupakan salah satu bahan dasar pembuatan beton tergolong dalam jenis semen hidrolik. Jenis semen hidrolik yang banyak digunakan hingga saat ini adalah merupakan semen portland yang dipatenkan di Inggris pada tahun 1824 atas nama Joseph Aspdin.

Semen *portland* adalah material berbentuk bubuk berwarna abu-abu dan banyak mengandung kalsium dan almunium silika. Bahan-bahan dasar semen yang terdiri dari kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3), pada saat proses manufaktur seiring dengan penambahan bahan tambah lainnya, maka terjadilah suatu reaksi kimiawi yang cukup kompleks. Sebagai hasilnya terjadi perubahan susunan kimia dalam semen, namun semen yang telah jadi pada umumnya mengandung unsur-unsur kimia seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Komposisi Oksida Semen *Portland*

Senyawa Oksida	Persentase
Kapur CaO	60 – 67
SiO_2	17 – 25
Al_2O_3	3 – 8
Fe_2O_3	0,5 – 6
MgO	0,1 – 4
Alkali (K_2O , Na_2O)	0,4 – 1,3
SO_3	1,3 – 3,0

Sumber: Setiawan (2016)

Secara umum sesuai dengan standar dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM), jenis semen yang ada dapat dikategorikan menjadi lima jenis :

- a. Tipe I – jenis semen biasa yang dapat digunakan pada pekerjaan konstruksi umum.

- b. Tipe II – merupakan modifikasi dari semen tipe I, yang memiliki panas hidrasi lebih rendah dan dapat tahan dari beberapa jenis serangan sulfat.
 - c. Tipe III – merupakan tipe semen yang dapat menghasilkan kuat tekan beton awal yang tinggi setelah 24 jam proses pengecoran, semen tipe ini menghasilkan kuat tekan dua kali lebih tinggi dari pada semen tipe biasa, namun panas hidrasi yang dihasilkan semen ini lebih tinggi dari pada panas hidrasi semen tipe I.
 - d. Tipe IV – merupakan semen yang mampu menghasilkan panas hidrasi rendah, sehingga cocok digunakan pada proses pengecoran struktur beton yang masif.
 - e. Tipe V – digunakan untuk struktur-struktur beton yang memerlukan ketahanan yang tinggi dari serangan sulfat.
3. Air

Air sangat diperlukan dalam proses pencampuran beton. Air diperlukan dalam proses hidrasi semen. Air yang digunakan dalam campuran tidak boleh memiliki kandungan alkali, asam sulfat, minyak, zat organik dan bahan lainnya yang dapat merusak beton dan tulangan beton.

Faktor air semen adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas semen. Kadar air semen yang terlalu banyak akan menyebabkan segregasi pada campuran beton. Menurut SNI S-04-1989-F, Air sebagai bahan campur beton untuk bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut ini.

- a. Air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak.
- b. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.

2.2 Limbah Las Karbit

Limbah las karbit adalah sisa dari pembakaran karbit yang berasal dari reaksi antara air dan karbit pada reaktor pembuatan gas asetilen. Kalsium karbit yang merupakan hasil sampingan pembuatan gas acetelin adalah berupa padatan berwarna putih kehitaman atau keabu-abuan (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Limbah Las Karbit

Awal dihasilkannya limbah karbit berupa koloid (semi cair) karena gas ini mengandung gas dan air. Setelah 3-7 hari, gas yang terkandung menguap perlahan seiring dengan penguapan gas dan air kapur limbah karbit mulai mengering, berubah menjadi gumpalan gumpalan yang rapuh dan mudah di hancurkan serta dapat menjadi serbuk (Utomo, 2010).

Limbah karbit memiliki komposisi kimia 60% Calsium (CaO), 1,48% SiO_2 , 0,09% Fe_2O_3 , 9,07% Al_2O_3 , dll. Pada penelitian yang sama diketahui bahwa unsur pembentuk utama dari semen adalah Calsium yang berasal dari batu kapur. Penambahan limbah karbit merupakan upaya untuk meningkatkan unsur kalsium yang diperlukan dalam terjadinya reaksi *pozzolanic* bila tercampur dengan SiO_2 dalam limbah karbit (Aprida et al., 2018). Kandungan pada limbah las karbit dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kandungan limbah las karbit

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
CaO	60
SiO_2	1,48
Fe_2O_3	0,09
Al_2O_3	9,07

Sumber: Aprida et al. (2018)

Umumnya limbah las karbit sisa-sisa pengelasan dibuang begitu saja, atau sebagai bahan timbunan. Pembuatan limbah las karbit yang digunakan sebagai substitusi semen dimulai dari proses penumbukan las karbit sampai halus, kemudian dilanjutkan penyaringan limbah las karbit dilaboratorium menggunakan saringan No.200. Hasil dari penyaringan ini digunakan sebagai substitusi semen.

2.3 Prosedur Pengujian Pemeriksaan Sifat Agregat

Pada pengujian ini dilakukan pemeriksaan sifat agregat yang bertujuan mengetahui sifat atau karakteristik agregat yang diperoleh. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

2.3.1 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Lumpur adalah gumpalan atau lapisan yang menutupi permukaan agregat dan lolos ayakan No.200. Kandungan lumpur pada permukaan butiran agregat akan mempengaruhi kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Klasifikasi kadar lumpur agregat halus dan kasar dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Klasifikasi Kadar Lumpur pada Agregat

Agregat Halus (Pasir)	Agregat Kasar (Kerikil)
Bersih (0%-3%)	Bersih (<1%)
Sedang (3%-5%)	
Kotor (5%-7%)	

Sumber : SK SNI S-04-1989-F (1989:28)

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), kadar lumpur untuk agregat halus tidak boleh melebihi 5%, sedangkan kadar lumpur untuk agregat kasar maksimal 1%. Karena kadar lumpur dan partikel-partikel yang kecil dapat menyebabkan daya ikat antara material-material penyusun beton semakin berkurang dan berakibat adanya kemungkinan terjadinya penyusutan yang sangat besar sehingga menurunkan nilai kuat tekan yang telah direncanakan.

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Kadar Air} = \frac{W_2 - W_5}{W_5} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

W2 = Berat agregat halus jenuh kering permukaan (SSD)

W3 = Berat kering agregat halus tertahan saringan 200 setelah di oven

W5 = Berat kering agregat halus setelah di oven

2.3.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis adalah perbandingan berat tersebut terhadap volume benda itu sendiri. Sedangkan penyerapan berarti tingkat atau kemampuan untuk menyerap air. Nilai yang disarankan untuk berat jenis lebih dari 2,50 dan penyerapan kurang dari 3%.

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) Berat jenis agregat ialah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume yang sama (maka tanpa satuan). Sedangkan penyerapan adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan kering (SSD = *Saturated Surface Dry*) Berat jenis dan penyerapan agregat sangat mempengaruhi campuran beton terutama dalam melakukan perancangan beton (mix design), berat jenis yang digunakan dalam perancangan beton yaitu berat jenis SSD berat jenis agregat dilapangan lebih banyak mendekati kondisi SSD dari pada kondisi kering.

Berikut rumus untuk mencari berat jenis agregat halus SNI 1970-2016:

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{S}{(B + S - C)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Berat Jenis Kering} = \frac{A}{(B + S - C)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{S - A}{A} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

S = Berat agregat halus jenuh kering permukaan

A = Berat agregat halus kering oven

B = Berat labu takar yang berisi air

C = Berat labu takar dengan benda uji dan air

Berikut rumus untuk mencari berat jenis agregat kasar SNI 1969-2016 :

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{B}{(B - C)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat Jenis Kering} = \frac{A}{(B - C)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B - A}{A} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

A = Berat agregat kasar kering oven

B = Berat agregat kasar jenuh kering permukaan

C = Berat benda uji dalam air

2.3.3 Pengujian Berat Isi Agregat

Berat satuan agregat adalah rasio antara berat agregat dan isi/volume. Berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan bahan campuran beton. Perhitungan berat satuan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Berat Isi Gembur} = \frac{W_2 - W_1}{\text{Volume}} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Berat Isi Padat} = \frac{W_3 - W_1}{\text{Volume}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

W1 = Berat masing-masing takaran

W2 = Berat agregat sebelum dipadatkan

W3 = Berat agregat setelah dipadatkan

V = Volume takaran

2.3.4 Analisis Gradasi Butiran

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butir dari suatu agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran butir yang sama (seragam) maka volume porinya besar dan kemampatannya rendah. Sebaliknya, apabila ukuran butirnya bervariasi maka volume porinya rendah dan kemampatannya tinggi. Sehingga, hal tersebut perlu diadakan pemeriksaan gradasi agregat dalam pembuatan beton.

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat di dalam suatu susunan ayakan. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 agregat halus (pasir) dikategorikan dalam 4 kelompok yaitu pasir kasar, pasir sedang, pasir agak halus dan pasir halus. Sedangkan untuk agregat kasar dikategorikan ke dalam 3 kelompok yaitu agregat dengan ukuran maksimum 10 mm, ukuran maksimum 20 mm, dan ukuran maksimum 40 mm. Gradasi Standar Agregat Halus dan Agregat Kasar dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9.

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{\text{Berat Tertinggal Agregat}}{\text{Berat Total Agregat}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\% \text{ Lolos} = 100 \% - \text{Tertahan Agregat} \dots\dots\dots (2.12)$$

Tabel 2.8 Gradasi Standar Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
9,6	100-100	100-100	100-100	100-100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15
Pan				

Sumber : SNI 03-2834-2000 (2000:13-15)

Tabel 2.9 Gradasi Standar Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos		
	Ukuran maks 10 mm	Ukuran maks 20 mm	Ukuran maks 40 mm
76,0			100-100
38,0		100-100	95-100
19,0	100-100	95-100	35-70
9,6	50-85	30-60	10-40
4,8	0-10	0-10	0-5

Sumber : SNI 03-2834-2000 (2000:15-18)

2.3.5 Perencanaan Campuran (Job Mix Formula)

Metode perhitungan yang digunakan dalam perencanaan campuran beton adalah Metode SNI 03-2834-2000 dengan judul “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”. Adapun tahapan yang dilakukan dalam perencanaan campuran beton sebagai berikut:

1. Menentukan nilai kuat tekan beton f'_c pada umur 28 hari
2. Menentukan nilai standar deviasi (SD) seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Nilai Deviasi Standar

Volume Pekerjaan		Deviasi Standar (Mpa)		
Sebutan	Volume Beton (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 : Mulyono (2004)

3. Menentukan Nilai Tambah (Margin)

Dihitung menurut rumus

$$M = 1,64 \text{ SD} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

M = nilai tambah

1,64 = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

SD = deviasi standar rencana

4. Menentukan Kuat Tekan rata-rata (f'_{cr})

$$f'_{cr} = f'_c + M \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata

f'_c = kuat tekan beton karakteristik

M = nilai tambah

5. Menentukan jenis semen yang digunakan

6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk dipecahkan (pasir atau koral) atau tidak dipecahkan. Hubungan Kuat Tekan Beton berdasarkan Jenis Semen dan Jenis Agregat seperti pada Tabel 2.11.

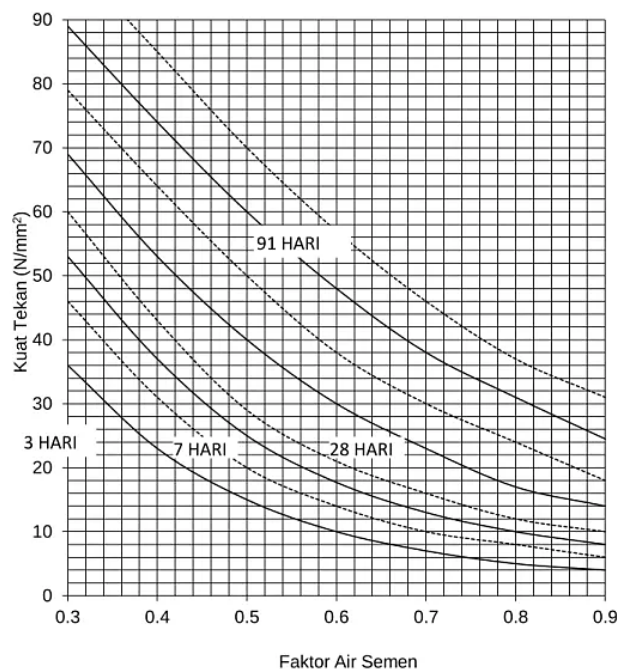
Tabel 2.11 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa berdasarkan Jenis Semen dan Jenis Agregat

Jenis Semen	Jenis Agregat	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen <i>Portland</i> Tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen <i>Portland</i> Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000 (2000:5)

7. Menentukan nilai faktor air semen (FAS), dengan cara menggunakan grafik “Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen berdasarkan umur benda uji dan jenis semen” sebagai berikut:

- a. Perkiraan kekuatan tekan dari Tabel 2.11 dapat diketahui dari jenis semen, jenis agregat, bentuk benda uji yang digunakan dan umur beton pada kekuatan tekan.
- b. Setelah itu, lihat pada gambar 2.3 yaitu tentang hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen dengan benda uji berbentuk silinder.
- c. Buat garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong kurva dengan warna merah, selanjutnya buat garis lurus ke kanan dari angka kuat tekan 29,84 Mpa sampai garis tersebut menyentuh garis warna merah.
- d. Lalu buat garis lengkung melalui titik perpotongan dari sub butir b secara proporsional.
- e. Kemudian buat garis lurus ke kanan dari angka f'_{cr} sebesar 29,84 MPa sampai menyentuh garis lengkung (kurva baru) yang sudah dibuat atau ditentukan dari sub butir c diatas.
- f. Selanjutnya buat garis lurus kebawah melalui titik perpotongan tersebut. Kemudian dari garis tersebut didapatkan nilai fas sebesar 0,5 dan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

8. Menentukan Faktor Air Semen (FAS) maksimum

Setelah menentukan FAS dari gambar diatas, kemudian dilanjutkan dengan menentukan faktor air semen (FAS) maksimum yang dapat ditentukan dari Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Persyaratan Jumlah Semen Minimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m³ beton (kg)	Nilai FAS Maksimum
Beton didalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi/uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan bangunan :		
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
d. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk kedalam tanah :		
e. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
f. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Lihat Tabel 6

Sumber: SNI-03-2834-2000 (2000:8)

8. Menentukan Nilai *slump*

9. Menentukan Ukuran Agregat Maksimum

Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan

- b. Sepertiga dari tebal pelat
- c. Tiga per empat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas - berkas tulangan.

10. Menentukan Nilai Kadar Air Bebas

Kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 2.13, dengan menggunakan data ukuran agregat maksimum, jenis batuan, dan slump rencana. Setelah didapatkan hasil perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton, kemudian jumlah kebutuhan air.

$$W = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Tabel 2.13 Perkiraan Kebutuhan Air per meter kubik Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
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 (2000:8)

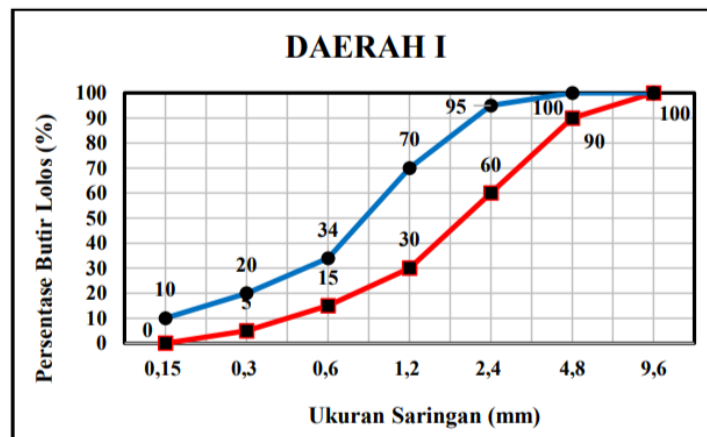
11. Menentukan Kebutuhan Semen

Jumlah kebutuhan semen yaitu jumlah air dibagi dengan FAS

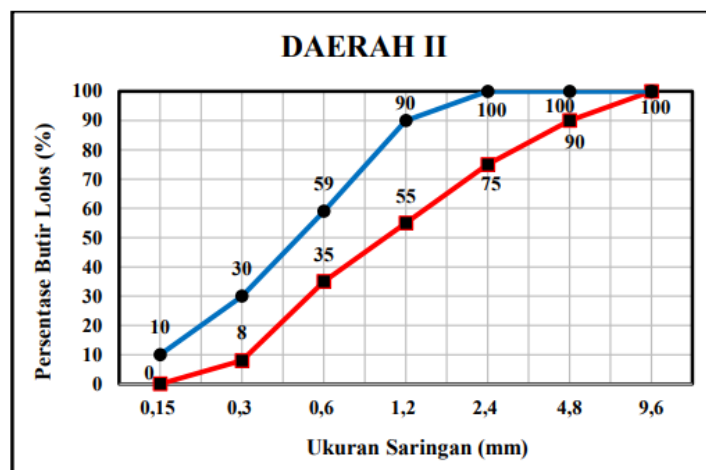
12. Menentukan jumlah kebutuhan semen maksimum diabaikan jika tidak ditetapkan

13. Tentukan jumlah semen semimum mungkin. Jika tidak lihat Tabel 2.12 jumlah semen yang diperoleh dari perhitungan jika perlu disesuaikan.

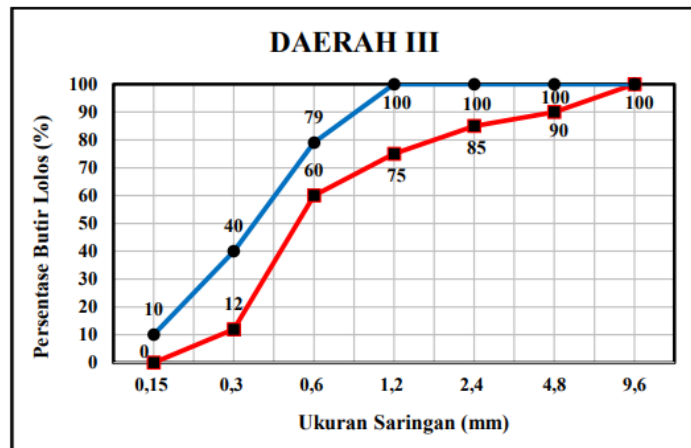
14. Menentukan nilai FAS yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena jumlah yang lebih kecil dari jumlah minimum atau lebih besar dari jumlah semen maksimum maka harus dihitung kembali.
15. Menentukan daerah gradasi agregat halus. Agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayak menurut standar yang berlaku, maka kurva dari pasir ini dapat dibandingkan dengan kurva-kurva yang tertera dalam Gambar 2.5 s/d 2.8 sesuai dengan SNI 03-2834-2000.



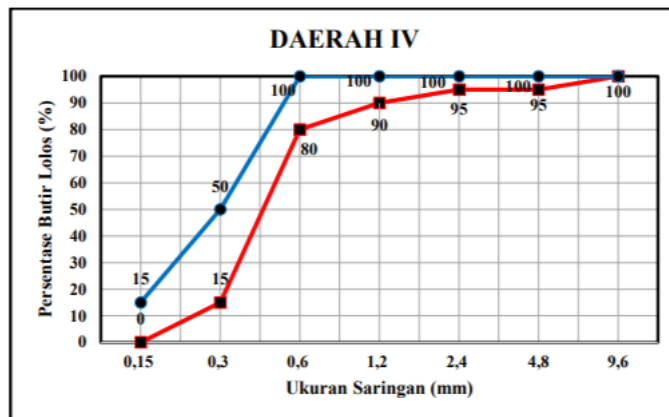
Gambar 2.5 Grafik Batas Gradasi Pasir Kasar (Zona I)



Gambar 2.6 Grafik Batas Gradasi Pasir Kasar (Zona II)

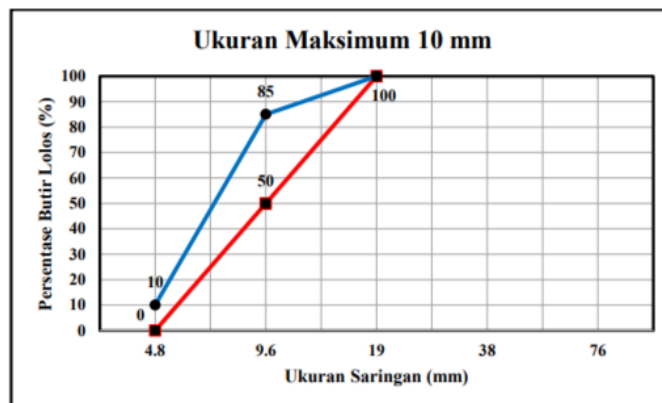


Gambar 2.7 Grafik Batas Gradasi Pasir Agak Halus (Zona III)

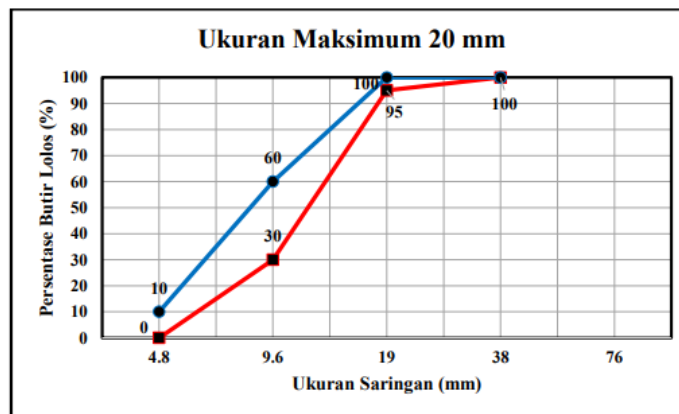


Gambar 2.8 Batas Gradasi Pasir Halus (Zona IV)

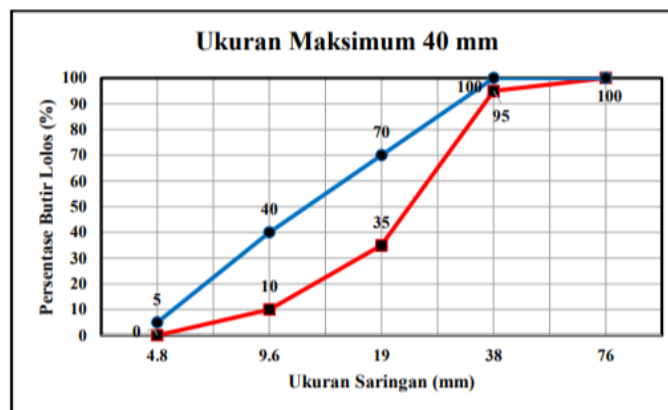
16. Menentukan susunan agregat kasar sesuai dengan SNI 03-2834-2000 sesuai dengan SNI 03-2834-2000, seperti pada Gambar 2.9 s/d 2.11.



Gambar 2.9 Grafik Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran 10 mm



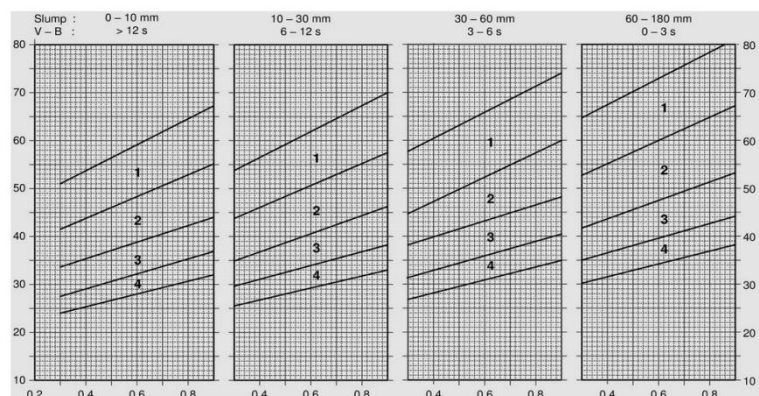
Gambar 2.10 Grafik Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran 20 mm



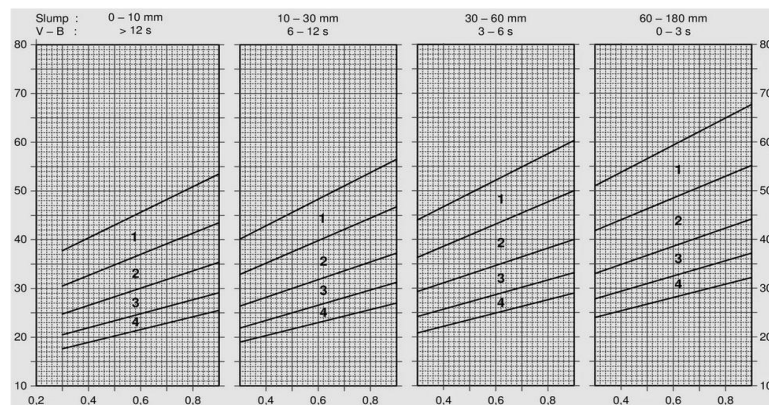
Gambar 2.11 Grafik Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran 40 mm

17. Menentukan Persentase Agregat Halus dan Agregat Kasar

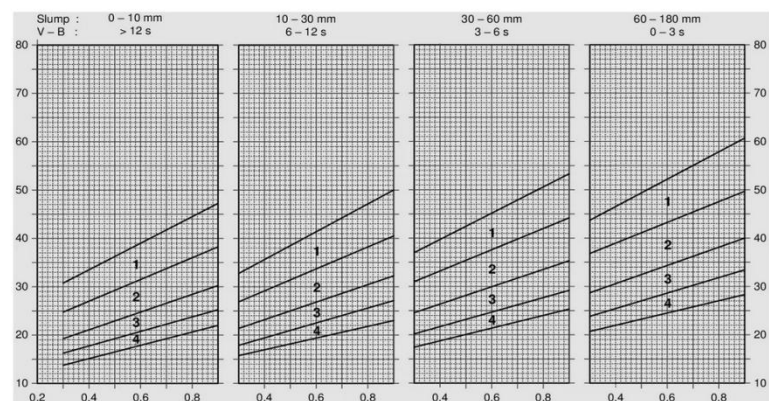
Persentase jumlah agregat ditentukan oleh besar ukuran maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Untuk menentukan persentase jumlah agregat halus sesuai dengan SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Gambar 2.12 s/d 2.14.



Gambar 2.12 Grafik Persen Pasir Ukuran Maksimum 10 mm



Gambar 2.13 Grafik Persen Pasir Ukuran Maksimum 20 mm



Gambar 2.14 Grafik Persen Pasir Ukuran Maksimum 40 mm

18. Menghitung Berat Jenis Relatif Agregat

Berat jenis relatif agregat halus dan agregat kasar dapat diketahui dari pengujian berat jenis agregat halus (BJ_{AH}) dan agregat kasar (BJ_{AK}). Setelah didapatkan berat jenis kedua agregat tersebut, kemudian berat jenis agregat gabungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16.

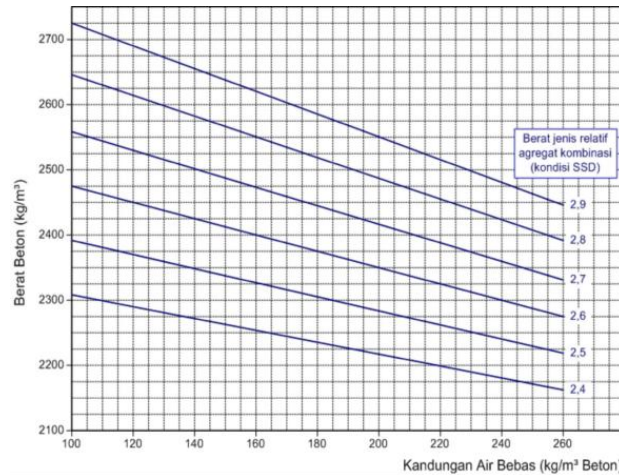
$$BJ_{gabungan} = \%AH \times BJ_{AH} + \%AK \times BJ_{AK} \dots\dots\dots (2.16)$$

19. Menghitung Berat Isi Beton

Berat isi beton basah ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 2.15 dengan memasukkan berat jenis agregat gabungan dan kadar air bebas.

- Buat kurva baru sesuai dengan berat jenis agregat gabungan secara proporsional dengan memperhatikan kurva sebelah atas dan bawahnya yang sudah ada.
- Lalu tarik garis tegak lurus ke atas dari nilai kadar air yang digunakan sampai memotong kurva baru berat jenis gabungan tersebut.

- c. Kemudian dari titik potong tersebut, ditarik garis mendatar ke arah kiri sampai memotong sumbu tegak.
- d. Dari penarikan garis tersebut didapatkan nilai berat isi beton.



Gambar 2.15 Grafik Hubungan Berat Isi, Kandungan Air Bebas dan BJ SSD

20. Menghitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton butir (20) dikurangi jumlah kadar semen butir (12) dan kadar air bebas (11).
21. Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persen pasir butir (18) dengan agregat gabungan butir (21).
22. Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan butir (21) dikurangi kadar agregat halus butir (22). Dari langkah-langkah tersebut diatas butir 1 sampai dengan 23 sudah dapat diketahui susunan campuran bahanbahan untuk 1 m³ beton.

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan dihitung menurut rumus sebagai berikut:

1. Air $= B - (C_k - C_a) \times C/100 - (D_k - D_a) \times D/100$
2. Agregat halus $= C + (C_k - C_a) \times C/100$
3. Agregat kasar $= D + (D_k - D_a) \times D/100$

Dimana:

B = jumlah air

C = jumlah agregat halus

D = jumlah agregat kasar

Ca = absorpsi air pada agregat halus (%)

Da = absorpsi agregat kasar (%)

Ck = kandungan air dalam agregat halus (%)

Dk = kandungan air dalam agregat kasar (%)

2.4 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini penulis mengacu kepada penelitian yang relevan, hal ini bertujuan agar penelitian yang dilaksanakan bisa tercapai secara maksimal dan menjadi referensi berikutnya, penelitian antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
1.	<ul style="list-style-type: none">• Lita Finnyasia Aprida• Denny Dermawan• Ridho Bayuaji	2018	Identifikasi Potensi Pemanfaatan Limbah Karbit dan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen	ISSN 2623 – 1727	Penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan dari limbah karbit yaitu CaO 95,37%, SiO ₂ 0,94%, Al ₂ O ₃ 0,61% dan Fe 0,48%. Kandungan dari abu sekam padi yaitu SiO ₂ 80,4%, Fe ₂ O ₃ 10,4%, CaO 5% dan K ₂ O 2,89 %. Kandungan CaO yang tinggi pada limbah karbit dan kandungan SiO ₂ yang tinggi pada abu sekam, mengindikasikan bahwa kedua jenis limbah dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti semen.

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan (lanjutan)

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
2.	<ul style="list-style-type: none">• Aswir Makmur• Sahrul Harapap• Fitriyah Patriotika	2022	Analisa Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah Las Karbit Sebagai Pengganti Sebagian Semen	ISSN 2774-9509	Hasil dari uji kuat tekan rata-rata beton setelah dilakukan uji tekan pada variasi limbah karbit 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dengan umur 28 hari adalah 28,177 MPa, 26,56 MPa, 28.22 MPa, 25,453 MPa, dan 21,027 MPa. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa kuat tekan rata-rata paling tinggi pada beton umur 28 hari adalah pada variasi limbah karbit 10 % dengan 28,22 MPa dan kuat tekan rata-rata paling rendah pada variasi limbah karbit 20% dengan 21,027 MPa.

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan (lanjutan)

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
3.	<ul style="list-style-type: none"> • Khairiah Wilda • Muhammad Abdullah Nasution • Ernie Shinta Y Sitanggang 	2022	Pengaruh Penggantian Sebagian Semen Dengan Limbah B3 Las Karbit Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton	ISSN 2776-317X	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat lentur beton sebanyak masing-masing 25 sampel selama 28 hari dengan mutu f'_c 25 MPa dan mendapatkan kadar persentase yang efektif sebagai pengganti sebagian semen dari variasi limbah karbit 0%, 2%, 4%, 6%, dan 10%. Dari hasil penelitian, kuat tekan yang diperoleh untuk variasi penggunaan limbah karbit masing-masing sebesar 33,08 MPa, 28,09 MPa, 32,16 MPa, 30,37 MPa dan 21,90 MPa dimana variasi 0% hingga 6% yang memenuhi kekuatan rencana dan kadar</p>

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan (lanjutan)

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
					persentase yang efektif terdapat pada variasi 4% limbah karbit. Pengujian kuat lentur yang diperoleh masing-masing variasi sebesar 3,73 MPa, 3,33 MPa, 3,67 MPa, 3,13 MPa dan 2,80 MPa, dari hasil pengujian kuat lentur yang menggunakan limbah karbit ini masih belum efektif dan belum optimum.
4.	<ul style="list-style-type: none"> Liberty Juniasy Somalinggi Frans Phengkarsa Lisa Febriani 	2020	Pengaruh Limbah Karbit / Calcium Carbit Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton	ISSN Online: xxxx – xxxx	Pengujian kuat tekandilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari, dan kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas diuji pada umur 28 hari. Hasil pengujian bahan limbah karbit 0% menunjukkan kuat tekan 35,47

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan (lanjutan)

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
					MPa, kuat tarik belah 2,59 MPa, dan modulus elastisitas 16957,76 MPa. Variasi 4% limbah karbit, kuat tekan 37.64 MPa, kuat tarik belah 2,66 MPa, dan modulus elastisitas 17180,87 MPa. Variasi 6% limbah karbit, kuat tekan 33.60 MPa, kuat tarik belah 2,50 MPa, dan modulus elastisitas 16635,53 MPa. Variasi 8% limbah karbit, kuat tekan 35.48 MPa, kuat tarik belah 2,50 MPa, dan modulus elastisitas 16429,19 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan 4% limbah karbit mendapatkan hasil uji paling optimum untuk semua pengujian.

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan (lanjutan)

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
5.	<ul style="list-style-type: none">• Adam Creflo Rombe• Frans Phengkarasa• Lisa Febriani	2023	Studi Eksperimental Penggunaan Abu Ampas Tebu dan Limbah Karbit sebagai Material Substitusi Semen pada Campuran Beton	ISSN 2775-8613	<p>Hasil pengujian kuat tarik belah dengan variasi limbah 10% dan abu ampas tebu 0%, 4%, 8% dan 12% adalah 2,288 MPa, 1,77 MPa, 1,533 MPa dan 1,486 MPa.</p> <p>Hasil pengujian kuat lentur dengan variasi limbah 10% dan abu ampas tebu 0%, 4%, 8% dan 12% yaitu 3,030 MPa, 2,568, 2,414 dan 2,362. Hasil dari penelitian ini menunjukkan semakin tinggi penambahan limbah karbit dan abu ampas tebu maka akan semakin menurun kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton.</p>

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan (lanjutan)

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
6.	<ul style="list-style-type: none">• Dita Aninda• Putri Achir W• Muhammad Fajar A• Dianita Ratna K• Triwardaya	2019	Kajian Eksperimental Pengaruh Penggantian Sebagian Semen Dengan Limbah Las Karbit Pada Mortar	ISSN Online: xxxx – xxxx	Berdasarkan hasil dan analisa yang didapat keseluruhan mortar masuk dalam tipe mortar kelas M (SNI 03-6881-2002) dengan kuat tekan minimal 17.2 MPa, kecuali kuat tekan mortar dengan penggantian 20% sebagian semen dengan limbah las karbit yaitu 157.51 kg/cm ² , setara dengan 15.45 MPa. Tipe mortar kelas M ini merupakan adukkan dengan kuat tekan tinggi, dapat dipakai untuk tembok bata bertulang, tembok dekat tanah atau untuk pasangan pondasi.

Tabel 2.14 Penelitian yang Relevan (lanjutan)

No.	Peneliti	Tahun	Judul	No. ISSN	Hasil
					Kuat tekan mortar dengan limbah las karbit sebagai pengganti Sebagian semen tidak bisa menyamai kuat tekan mortar normal tanpa bahan tambah limbah las karbit