

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian beton yang menggunakan campuran fly ash, diantaranya adalah :

1. Aziz, Ozyozami (2019), dengan judul : Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Beton Mutu FC'35. Berdasarkan hasil penelitiannya, bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 8% *fly ash* yaitu 36,48 MPa.
2. Mira Setiawan (2018), dengan judul : *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. Berdasarkan hasil penelitiannya, bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 12,5% *fly ash* yaitu 404,03 Kg/cm².
3. Adibroto, dkk (2018), dengan judul : Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kuat tekan optimum pada variasi 10% yaitu sebesar 30,770 Mpa. Kuat tekan yang terendah terdapat pada variasi 25% yaitu 20,046 Mpa.
4. Sumajouw, Windah (2015), dengan judul : Pengaruh Penambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh penambahan presentase abu terbang (*fly ash*) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tarik belah tertinggi pada presentase abu terbang (*fly ash*) 30% yaitu sebesar 3,21 Mpa untuk umur beton 28 hari. Dan nilai kuat tarik belah terendah pada presentase abu terbang (*fly ash*) 70% yaitu sebesar 0,82 Mpa untuk umur beton 7 hari.

2.2 Pengertian Beton

Menurut Pedoman Beton 1989, *Draft Konsesus* (SKBI.1.4.53, 1989: 4-5)^[1] beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau sembarang semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah. Macam dan jenis beton menurut bahan

pembentuknya adalah beton normal, bertulang, pra-cetak, pra-tekan, beton ringan, beton tanpa tulangan, beton fiber dan lainnya.

Menurut SNI-03-2834-2000, pengertian beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Beton disusun dari agregat kasar atau agregat halus. Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

Penggunaan material beton untuk konstruksi bangunan sangat umum digunakan. Beton yang dihasilkan tersebut harus memenuhi syarat kekuatan sesuai yang ditentukan dalam perencanaan dimana sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja beton ini harus disesuaikan dengan jenis bangunan yang dibuat, yang harus memenuhi kriteria konstruksi, kekuatan tekan dan keawetan atau durabilitas.

Menurut Tri Mulyono (2015) secara umum beton dibedakan berdasarkan kuat tekan yaitu :

1. Beton mutu rendah

Diklasifikasikan sebagai beton mutu rendah jika kekuatan tekannya kurang dari 17,5 MPa. Secara struktural beton yang digunakan pada bangunan yang direncanakan sesuai dengan aturan-aturan SNI tidak boleh kurang daripada 17 MPa (SNI 2847:2013) dan harus didasarkan pada uji silinder yang dibuat dan diuji sebagaimana yang dipersyaratkan dalam uji kuat tekan.

2. Kuat Tekan Beton Mutu Normal (Sedang)

Diklasifikasikan sebagai beton normal jika kuat tekan beton berkisar dari 17 Mpa sampai 41 MPa. Untuk menghasilkan kuat tekan beton normal dengan kinerja tertentu umumnya ditambahkan bahan tambah baik mineral maupun kimia.

3. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi (high strength concrete) merupakan beton yang memiliki kekuatan tekan 6000 psi (40 MPa) atau lebih dari uji silinder. Adapun klasifikasi beton berdasarkan kuat tekannya dalam tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2. 1 Kelas dan Mutu Beton

Klasifikasi ¹⁾	Standar Nasional Indonesia	American Concrete Institute
Kekuatan tekan rendah (low strength)	$fc' < 20 \text{ MPa}^{2)}$	$fc' < 2000\text{psi}^{4)}$ $fc' < 14 \text{ MPa}$
Kekuatan tekan normal (normal strength)	$20 \text{ Mpa} \leq fc' < 41,4 \text{ Mpa}^{2)}$	$200\text{psi}, fc' \leq 6000\text{psi}^{4) 5)}$ $14 \text{ Mpa} < fc' \leq (42 \text{ Mpa})$
Kekuatan tekan tinggi (high strength)	$Fc' \geq 41,4 \text{ Mpa}^{3)}$	$fc' > 6000\text{psi}^{4) 5)}$ $fc' > (42 \text{ MPa})$

(Sumber: Mulyono, 2015)

b. Berdasarkan jenisnya

Menurut Tri Mulyono (2015) berdasarkan jenisnya beton dibagi menjadi 6 jenis, yaitu:

1. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran *shale*, lempung, *slates*, residu *slag*, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara $1440 - 1850 \text{ kg/m}^3$, dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari $17,2 \text{ Mpa}$ menurut SNI 08-1991-03.

2. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara $2200 \text{ kg/m}^3 - 2400 \text{ kg/m}^3$ dengan kuat tekan sekitar 15 – 14 Mpa.

3. Beton berat

Beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang tinggi.

4. Beton massa (*Mass Concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

5. *Ferro-Cement*

Ferro-Cement adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan yang berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktil pada mortar semen.

6. Beton Serat (*Fibre Concrete*)

Beton serat adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

2.3 Kuat Tekan Beton

Pengertian kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Perbandingan dari air semen, semakin tinggi kekuatan tekannya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan.

Rumus Kuat Tekan Beton :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

- $f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)
 A = luas penampang benda uji (mm²)
 P = beban tekan (N)

2.4 *Slump* dan Faktor Air Semen (FAS)

Pada setiap pengerjaan beton ada hal-hal yang harus diperhatikan salah satunya adalah kelecakan beton segar, kelecakan beton biasanya diperiksa dengan menggunakan uji *slump* untuk dapat memperoleh nilai *slump* yang kemudian akan dipakai sebagai tolak ukur kelecakan beton segar untuk kemudahannya dalam mengerjakan. Adapun faktor-faktor penyebab yang mempengaruhi kelecakan beton antara lain, sebagai berikut ini :

1. Jumlah air yang dipakai dalam adukan beton.
2. Jumlah semen dalam campuran adukan.
3. Gradasi agregat.
4. Besar butir maksimum agregat.

Slump pada beton sangat berhubungan dengan faktor air semen (FAS) yang ada pada beton. Faktor air semen (FAS) sendiri adalah perbandingan antara air dan juga semen yang digunakan pada campuran beton segar, semakin tinggi nilai faktor air semen (FAS) pada sebuah beton biasanya akan semakin tinggi pula nilai *slump* yang didapatkan yang berarti jika nilai *slump* tinggi maka kuat tekan pun akan semakin kecil.

2.5 Keawetan

Keawetan beton merupakan lamanya waktu pada material untuk dapat melanjutkan pemakaiannya seperti yang telah direncanakan. Walaupun terjadiserangan dari luar baik fisik, mekanik dan kimia. Adapun pengaruh-pengaruh luar yang dapat merusak beton adalah pengaruh cuaca (hujan sinar matahari) silih berganti dan daya perusak kimiawi, misalnya air limbah/buangan, air laut, lemak gula dan sebagainya. Untuk mengatasi hal

tersebut yaitu :

- Permukaan beton harus mulus misalnya (*Exposed concrete*).
- Tidak porous (rongga) dalam artian pemadatan harus baik.
- Menambah bahan tambahan tertentu untuk keperluan khusus.

2.6 Bahan Penyusun Beton

1. Semen Portland

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150,1985^[2], semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Bahan dasar semen Portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi, sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Susunan unsur semen Portland

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60-65
Silika, SiO ₂	17-25
Alumina, Al ₂ O ₃	3-8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5-6
Magnesia, Mg ₃	0,5-4
Sulfur, SO ₃	1-2
Soda/ Potash, Na ₂ O+ K ₂ O	0,5-1

Sumber: Tjokrodinuljo, 2007

Bahan pengikat hidrolis yang paling utama adalah semen portland. Disebut pengikat hidrolis karena semen portland akan mengikat (sifat sebagai bahan pembantu dan mengatur pengikatan. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland terbagi dalam 5 jenis yaitu :

1. Tipe I, yaitu untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lainnya. Hanya tipe ini yang harus dipakai jika ingin ditambah *additive* dan *admixture*.
2. Tipe II, yaitu untuk konstruksi secara umum terutama sekali bila disyaratkan agak tahan terhadap Sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
3. Tipe III, yaitu untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Tipe IV, yaitu untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, yaitu untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap Sulfat. Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tekan tinggi apabila mengeras.

2. Agregat Halus

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Agregat ini berukuran 0,063 mm – 4,76 mm yang meliputi pasir kasar (*Coarse Sand*) dan pasir halus (*Fine Sand*). Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus. Menurut PBI, agregat halus memenuhi syarat:

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran tajam, keras, dan bersifat kekalartinya tidak hancur oleh pengaruh cuaca dan temperatur, seperti terik matahari hujan, dan lain-lain.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % berat kering, apabila kadar lumpur lebih besar dari 5%, maka agregat halus harus dicuci bila ingin dipakai untuk campuran beton atau bisa juga digunakan langsung tetapi kekuatan beton berkurang 5 %.

3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik (zat hidup) terlalu banyak dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *ABRAMS-HARDER* dengan larutan NaOH 3%.
4. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Fine Sand* antara 2,2 – 3,2. 5. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Coarse Sand* antara 3,2 – 4,5.

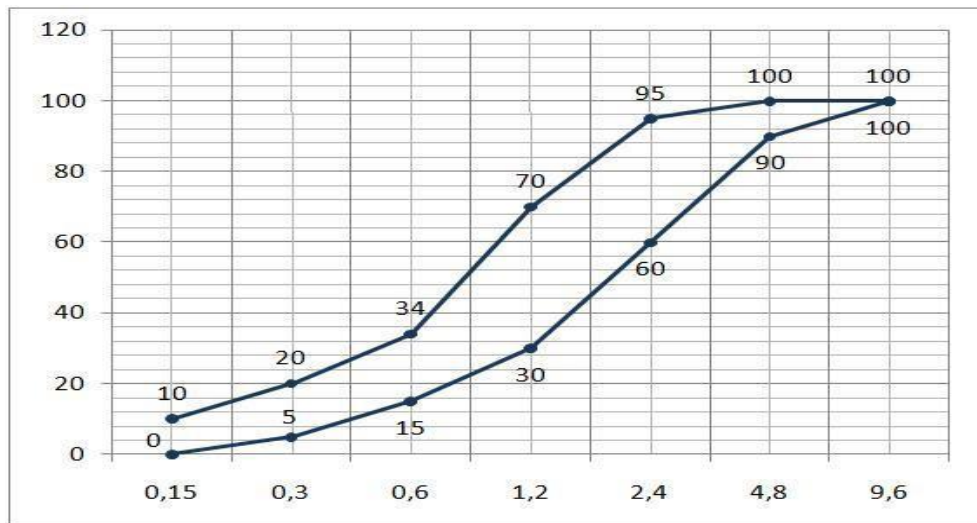
Menurut SNI 03-2834-2000 tentang Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, kekerasan pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir kasar, pasir sedang, pasir agak halus, dan pasir halus sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Gradasi Agregat Halus Menurut SNI 03-2834-2000

Ukuran Saringan	SNI 03-2834-2000			
	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
	Gradasi 1	Gradasi 2	Gradasi 3	Gradasi 4
9,6	100-100	100-100	100-100	100-100
4,8	90-100	90-100	92-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

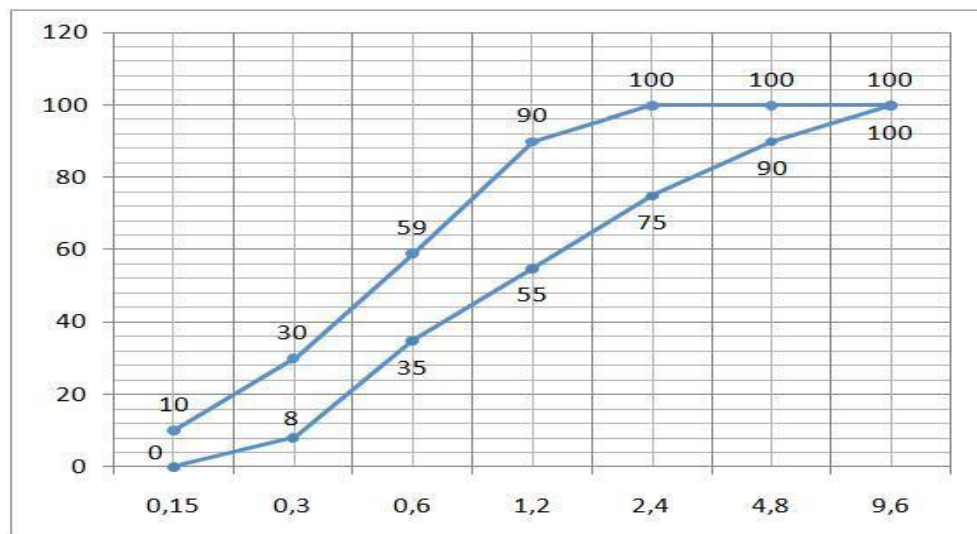
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Dari nilai-nilai tabel di atas dapat dibuat grafik pergradasi. Berikut ini merupakan gambar grafik batas-batas gradasi agregat halus yang memasuki zone I.



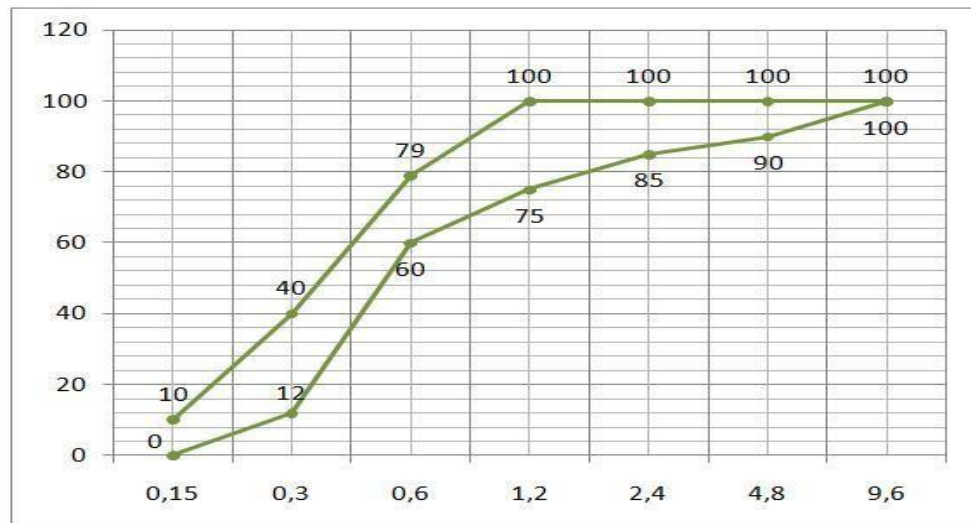
Gambar 2.1 Gradasi *zone 1* berdasar SNI-03-2834-2000

Berikut ini merupakan gambar grafik batas-batas gradasi agregat halus yang memasuki *zone II*.



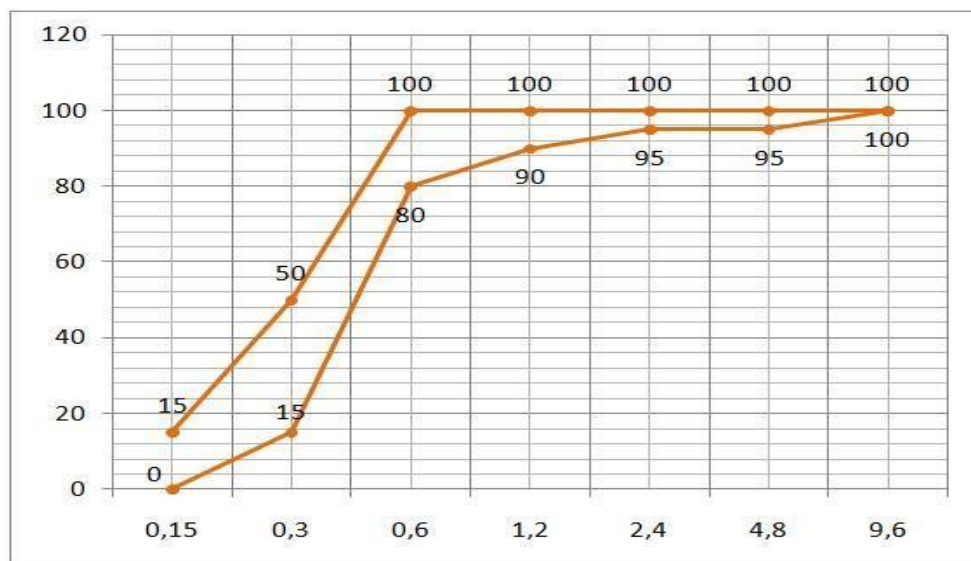
Gambar 2.2 Gradasi *zone 2* berdasar SNI-03-2834-2000

Berikut ini merupakan gambar grafik batas-batas gradasi agregat halus yang memasuki *zone III*.



Gambar 2.3 Gradasi Zone 3 Berdasarkan SNI-03-2834-2000

Berikut ini merupakan gambar grafik batas-batas gradasi agregat halus yang memasuki *zone IV*.



Gambar 2.4 Gradasi *Zone 4* berdasar SNI-03-2834-2000

Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beranekaragam besarnya. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan tersebut juga dapat dipakai, asal saja kekuatan tekan adukan agregat pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama, tetapi dicuci terlebih dahulu dalam larutan NaOH 3% yang kemudian dicuci bersih dengan air pada umur yang sama. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang

beranekaragam dan apabila diayak dengan ayakan susunan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Sisa diatas ayakan 4 mm minimum beratnya 2%.
2. Sisa diatas ayakan 1 mm minimum beratnya 10%.
3. Sisa diatas ayakan 0,025 beratnya berkisar antara 80% sampai 95%.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang relatif alkali.
5. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil alam dari batu pecah.
6. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik (zat hidup) terlalu banyak dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *ABRAMS-HARDER* dengan larutan NaOH 3%.
7. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Fine Sand* antara 2,2 – 3,2. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Coarse Sand* antara 3,2 – 4,5.

Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beranekaragam besarnya. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan tersebut juga dapat dipakai, asal saja kekuatan tekan adukan agregat pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama, tetapi dicuci terlebih dahulu dalam larutan NaOH 3% yang kemudian dicuci bersih dengan air pada umur yang sama. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam dan apabila diayak dengan ayakan susunan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Sisa diatas ayakan 4 mm minimum beratnya 2%.
2. Sisa diatas ayakan 1mm minimum beratnya 10%.
3. Sisa diatas ayakan 0,025 beratnya berkisar antara 80% sampai 95%.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar (*Coarse Aggregate*) biasa juga disebut kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan butirannya berukuran antara 4,76 mm – 150 mm.. Ketentuan agregat kasar antara lain:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang butirannya pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butir-butir pipihnya tidak melampaui 20% berat agregat seluruhnya.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya. Bila melampaui harus dicuci.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang relatif alkali.
4. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil alam dari batu pecah.
5. Agregat kasar harus lewat tes kekerasan dengan bejana pengujian Rudeloff dengan beban uji 20 ton.
6. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
7. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk agregat kasar antara 6 – 7,5.
Jenis agregat kasar yang umum adalah:
 - a. Batu pecah alami: Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali.
 - b. Kerikil alami: Kerikil didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
 - c. Agregat kasar buatan: Terutama berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan.
 - d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat: Agregat kasar yang diklasifikasi disini misalnya baja pecah, barit, magnetit dan limonit.

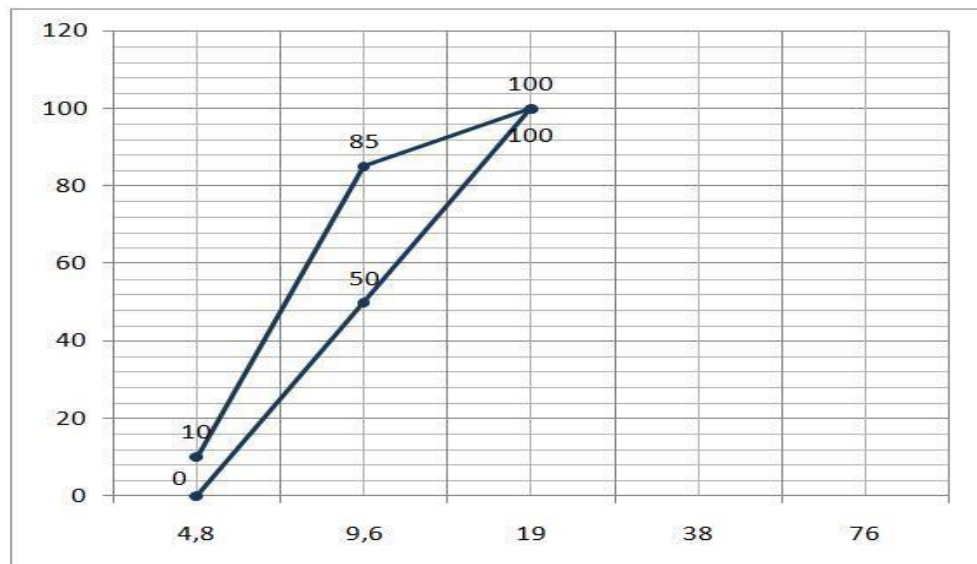
Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar dibagi menjadi tiga kelompok menurut gradasinya, dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Kasar Menurut SNI 03-2834-2000

Lubang Ayakan (mm)	% Berat butir yang lewat ayakan		
	Ukuran maks 10mm	Ukuran maks 20mm	Ukuran maks 40mm
76	-	-	100-100
38	-	100-100	95-100
19,6	100-100	95-100	35-70
9,6	50-85	30-60	10-40
4,8	0-10	0-10	0-5

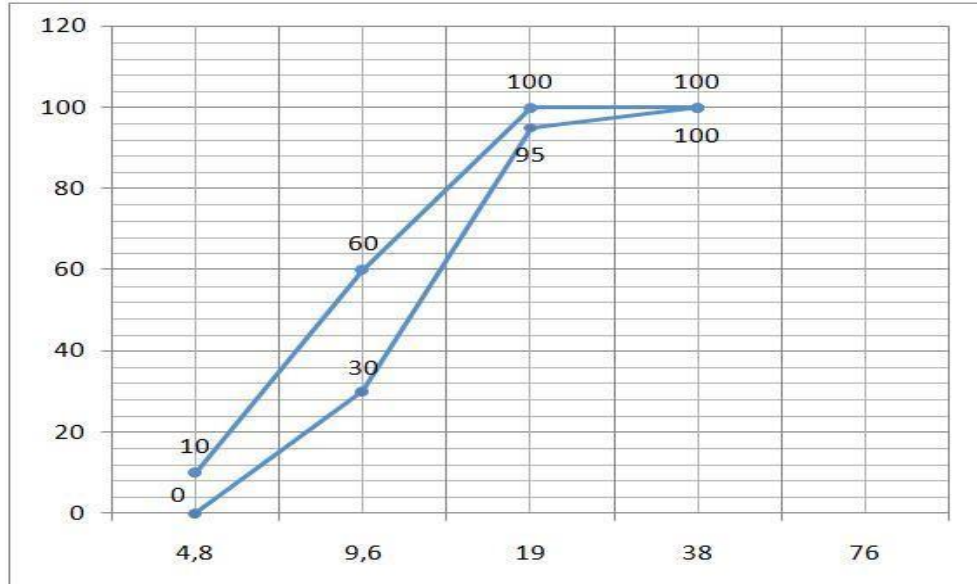
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Berikut ini merupakan gambar grafik batas-batas gradasi agregat kasar yang memiliki ukuran maksimal 10 mm.



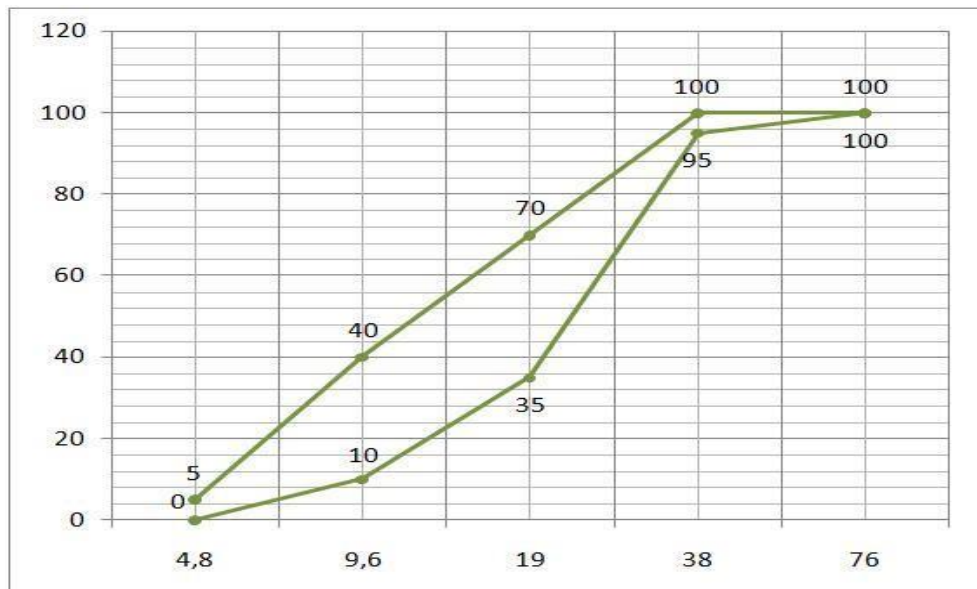
Gambar 2.5 Gradasi maks 10 mm berdasar SNI-03-2834- 2000

Berikut ini merupakan gambar grafik batas-batas gradasi agregat kasar yang memiliki ukuran maksimal 20 mm.



Gambar 2.6 Gradasi maks 20 mm berdasar SNI-03-2834- 2000

Berikut ini merupakan gambar grafik batas-batas gradasi agregat halus yang memiliki ukuran maksimal 40 mm.



Gambar 2.7 Gradasi maks 40 mm berdasar SNI-03-2834- 2000

4. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan sekitar 25% berat semen saja. Namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini digunakan sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air sebagai pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena dapat mengurangi kekuatan beton serta akan didapatkan beton yang porous. Selain itu kelebihan air pada beton akan bercampur dengan semen dan bersama-sama muncul ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang disebut dengan laitance (selaput tipis). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah. Apabila ada kebocoran cetakan, air bersama-sama semen juga dapat ke luar, sehingga terjadilah sarang-sarang kecil.

Persyaratan air yang akan digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

- a. Air tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
- b. Air tidak boleh mengandung garam-garaman lebih dari 15 gram/liter.
- c. Air tidak boleh mengandung Chlorida (Cl) lebih dari 0,5gram/liter.
- d. Air tidak boleh mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

5. Fly Ash

Abu terbang (*Fly ash*) merupakan hasil sampingan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik. Ketersediaan abu terbang yang berlimpah saat ini, serta kondisinya sebagai material limbah membuat abu terbang menjadi salah satu material dasar pilihan untuk campuran beton. Disamping penggunaannya yang praktis (tanpa proses kalsinasi), pemanfaatannya juga sangat menguntungkan bagi lingkungan.

Berdasarkan *ACI Committee 226*, ukuran butiran *fly-ash* yang lolos ayakan No. 325 (45 milimikron) berkisar 5-27%, dengan *specific gravity* antara 2.15-2.8. Komposisi kimia dari *fly ash* terdiri dari karbon yang belum terbakar, *mullite*, *quartz* dan *hematite*. Kandungan tersebut tergantung dari asal batu bara serta desain dari pembangkit listrik dari masing-masing PLTU (Temuujin dkk, 2009)

Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO_2), Aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO) serta magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit.

Fly ash dibedakan dalam 2 jenis (*ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3*), yaitu:

- a. Kelas C : Merupakan *fly ash* dengan kandungan CaO di atas 10%, yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda). Untuk kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) mencapai lebih dari 50% dari kandungan oksida total. Dalam campuran beton konvensional digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.
- b. Kelas F : Merupakan *fly ash* dengan kandungan CaO kurang dari 10%, yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara. Untuk kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) mencapai lebih dari 70% dari kandungan oksida total. Dalam campuran beton konvensional digunakan sebanyak 15% - 25% dari berat binder.

Kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari. Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen *portland*, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton.

2.7 Perawatan

Tujuan dari perawatan beton sendiri untuk mencegah adanya keretakan yang mungkin terjadi dimasa depan. Beton juga perlu dirawat untuk menjaga perbedaan suhu beton dengan sekitarnya yang terlalu besar. Perawatan beton juga diperlukan untuk stabilitas dan mencegah kehilangan air pada hari pertama. Perawatan beton bisa berlangsung hingga 2 minggu untuk melihat kondisi kelembapan pada beton.

Hal ini sangatlah penting untuk proses hidrasi semen diawal-awal pemakaiannya. Tingkat kelembapan beton yang baik ialah diatas 80% untuk mencegah terjadinya keretakan. Perawatan beton baik dilakukan selama 2 minggu lamanya.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedap terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensistruktur (Mulyono, 2015).

2.8 Prosedur Pengujian di Laboratorium

2.8.1 Pengujian Analisa Saringan dan Berat Jenis Penyerapan Agregat

Dalam pengujian ini ada beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan akan menghasilkan nilai yang sebenarnya. Adapun pengujian ini meliputi sebagai berikut:

a. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Modulus halus butir (MHB) ialah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Maka semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar ukuran butir-butir agregatnya.

Analisa saringan agregat berguna untuk menentukan suatu persentase berat dari butiran agregat yang lolos dari saringan. Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots (2.3)$$

b. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil atau batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm – 20 mm. Agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (SII.0052, 1980) atau 4,75 mm (ASTM C33, 1995) atau 5 mm (BS.812, 1976). Umumnya agregat kasar memiliki MHB sekitar 5,0 – 8,0.

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots (2.4)$$

c. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama dan pada suhu yang sama pula. Sedangkan penyerapan adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan kering (SSD = *Saturated Surface Dry*). Penyerapan air adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Standar laboratorium untuk penyerapan akan diperoleh setelah merendam agregat yang kering kedalam air selama (24 ± 4) jam.

Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan agregat halus yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh agregat. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

1. Berat jenis kering (*Bulk dry specific gravity*)

$$= \frac{B_2}{(B_3 + 500) - B_1} \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$= \frac{500}{(B_3+500)-B_1} \dots\dots\dots (2.6)$$

3. Penyerapan

$$= \frac{500-B_2}{B_2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

B_1 = Berat piknometer + Air + Benda Uji

B_2 = Berat uji kering oven

B_3 = Berat piknometer + Air

d. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan agregat kasar yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh agregat. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

1. Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(W_2+B_j)-W_1} \dots\dots\dots (2.8)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$= \frac{B_k}{(W_2+B_j)-W_1} - W_1 \dots\dots\dots (2.9)$$

3. Penyerapan

$$= \frac{b_j-b_k}{b_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

B_k = Berat benda uji kering oven

B_j = Berat benda uji dalam keadaan SSD

$$W_1 = \text{Berat piknometer} + \text{Air} + \text{Benda Uji}$$

$$W_2 = \text{Berat piknometer} + \text{Air Pengujian Bobot}$$

2.8.2 Pengujian Bobot Isi Agregat

Pengujian ini berguna untuk menghitung berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Ukuran butir agregat kasar adalah 5mm–40mm, agregat halus terbesar 5mm. pengujian dalam kondisi padat dilakukan dengan cara ditusuk sedangkan dalam kondisi gembur dengan cara memasukan agregat sampai penuh lalu diratakan. Bobot isi kering udara agregat dihitung dalam kondisi kering oven dan kering permukaan. Pada kondisi padat dan gembur memiliki berat isi yang berbeda karena pada berat isi gembur masih terdapat rongga-rongga udara, berbeda dengan bobot isi padat yang dipadatkan dengan cara ditusuk sehingga berat isi padat lebih berat daripada berat isi gembur karena berat isi padat tidak memiliki rongga udara. Berat isi pada agregat sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat jenis, gradasi agregat, bentuk agregat, diameter maksimum agregat. Dalam SII No. 52-1980, berat isi untuk agregat beton diisyaratkan harus lebih dari 1,2 - 1,5 gr/cm². Adapun dalam pengujian ini digunakan rumus :

1. Bobot isi gembur

$$= \frac{\text{Berat Silinder} + \text{Agregat Gembur}}{\text{Volume Silinder}} \dots\dots\dots (2.11)$$

2. Bobot isi Padat

$$= \frac{\text{Berat Silinder} + \text{Agregat padat}}{\text{Volume Silinder}} \dots\dots\dots (2.12)$$

2.8.3 Kadar Air Agregat Halus dan Kasar

Kadar air agregat adalah perbandingan berat air yang terkandung didalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Kadar air tiap agregat bergantung pada tempat agregat tersebut berada.

Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

- 1) Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair

- 2) Kadar air kering udara, yaitu punya kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi mengandung sedikit air dalam porinya dan masih menyerap air.
- 3) Jenuh kering permukaan, yaitu dimana tidak ada air dipermukaan agregat, tetapi masih dapat menyerap air. Dalam kondisi ini air dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton
- 4) Kondisi basah, yaitu dimana butir-butir agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan pada kadar air campuran beton.

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

W_1 = Berat agregat

W_2 = Berat kering oven

2.8.4 Kadar Lumpur Agregat Halus dan Kasar

Kadar lumpur merupakan banyaknya lumpur yang terkandung didalam agregat. Lumpur yang terkandung didalam agregat dapat mempengaruhi mutu beton tersebut. Lumpur yang terkandung tidak boleh terlalu banyak, ada kecenderungan meningkatnya pemakaian air dalam campuran beton jika ada bahan-bahan itu tidak dapat menyatu dengan semen sehingga menghalangi penggabungan antara semen dan agregat serta mengurangi kekuatan beton.

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_1 - W_3}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

W_2 = Berat kering oven

W_3 = Berat agregat setelah dicuci

2.8.5 Waktu Ikat Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Waktu pengikatan semen merupakan waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras.

Waktu ikat semen terbagi atas 2 yaitu waktu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Pengujian waktu ikat dapat dilakukan apabila nilai konsistensi normal semen tercapai. Syarat nilai konsistensi normal yaitu apabila jarum penetrasi mencapai angka 10 ± 1 mm sedangkan waktu ikat awal 25 ± 1 mm.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen cukup untuk menahan tekanan, standar pengujian waktu ikat semen adalah SNI 15-2049-2004.

2.8.6 Berat Jenis Semen

Semen portland merupakan salah satu bahan hidrolis yang dibuat dari campuran bahan yang mengandung oksida utamanya: kalsium, silika, alumina, dan besi. Umumnya semen portland dibuat dalam suatu industri berteknologi modern dengan pengaturan komposisi yang akurat, sehingga terjamin mutunya. Namun demikian perbedaan pengaturan komposisi yang akurat, sehingga terjamin mutunya. Salah satu pengujian yang dapat mengindikasikan kepada hal tersebut adalah dengan pengujian berat jenisnya. Berat jenis semen portland komposit pada umumnya bernilai < 3 .

$$\text{Berat Jenis Semen} = \frac{\text{Berat Semen}}{(v^2 - v^1)a} \dots\dots\dots(2.16)$$