

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

2.1.1 Pengertian Beton

Beton didefinisikan sebagai campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture* atau *addictive*). DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat (*SNI 03-2847-2002*).

Nugraha, Paul (2007), mengungkapkan bahwa pada beton yang baik, setiap butir agregat seharusnya terbungkus dengan mortar. Demikian pula halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlah hanya 7-15% dari campuran. Beton dengan jumlah semen yang sedikit (sampai 7%) disebut beton kurus (*lean concrete*), sedangkan beton dengan jumlah semen yang banyak disebut beton gemuk (*rich concrete*).

Menurut Mulyono (2006) secara umum beton dibedakan kedalam 2 kelompok, yaitu :

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.

Kelas dan mutu beton ini dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu :

- a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu kelas I dinyatakan dengan B₀.
- b. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar B₁, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B₁, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu-mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.
- c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli.

Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

2.1.2 Klasifikasi dan Mutu Beton

Klasifikasi Beton :

Berdasarkan berat jenis beton, beton di klasifikasikan menjadi beberapa kelompok, seperti tercantum pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Jenis – Jenis Beton

Jenis Beton	Berat Jenis Massa (ton/m ³)	Agregat yang digunakan	Pemakaian
Beton Ringan	Sampai 2,0	Tepung abu bakar yang mengeras, batu tulis, tanah liat yang diregangkan, sisa batu bara yang berbusa, batu apung.	Dipakai untuk bangunan yang memikul beban ringan, pembuatan lapis penyekat suara, tembok interior.
Beton Normal	2,0 – 2,9	Pasir, kerikil, terak dapur tinggi, batu pecah, koral, serpih – serpih.	Dipakai untuk konstruksi tempat tinggal.
Beton Berat	Lebih dari 2,8	Butir besi, barito, magnetic.	Dipakai untuk massa yang berat dan pelindung sinar gamma.

(Sumber : TEDC Bandung, Teknologi Bahan 3 edisi 1, 1983)

Berdasarkan teknik pembuatan, beton dapat dibedakan menjadi :

1. Beton Biasa

Beton ini dibuat dalam keadaan plastis (basah). Cara pembuatannya berdasarkan atas :

- Beton siap pakai (*ready mix concrete*) yaitu beton yang di cor di lokasi pabrikasi khusus lalu kemudian diangkut dan dirangkai untuk dipasang di lokasi pembangunan jalan atau infrastruktur lainnya.
- Beton in situ yaitu beton yang di cor di tempat (lokasi pembangunan) dengan cetakan atau acuan yang di pasang di lokasi pembangunan jalan atau infrastruktur lainnya.

2. Beton Precast

Beton ini dibuat dalam bentuk elemen – elemen yang merupakan rangka dari konstruksi yang akan dibuat. Jadi beton ini dipasang dalam keadaan mengeras.

3. Beton Prestress

Beton ini dibuat dengan memberi tegangan dalam beton sebelum beton mendapat beban luar, kecuali beton dengan beban sendiri.

Mutu Beton :

Mutu beton dan penggunaan beton untuk suatu konstruksi berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum (Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 – 2005) dibagi dalam beberapa kategori seperti tercantum pada tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2 Mutu Beton dan Penggunaan

Jenis Beton	f_c' (MPa)	σ_{bk} (kg/cm ²)	Uraian
Mutu tinggi	35 - 65	K400 – K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu sedang	20 - < 35	K250 - <K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb beton pracetak, gorong – gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah	15 - < 20	K175 - <K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti siklop, trotoar dan pemasangan batu kosong yang diisi adukan, pemasangan batu.
	10 - <15	K125 - <K175	Digunakan sebagai lantai kerja penimbunan kembali dengan beton.

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 – 2005)

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut ini kelebihan dan kekurangan dari beton, yaitu :

Kelebihan :

- Dapat dengan mudah mendapatkan material dasarnya (*availability*) agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokal setempat. Semen pada umumnya juga dapat dibuat didaerah setempat, bila tersedia. Dengan demikian, biaya pembuatan relatif murah karena semua bahan bisa didapat di dalam negeri, bahkan bisa setempat. Bahan termahal adalah semen, yang bisa diproduksi di dalam negeri.
- Kemudahan untuk digunakan (*versatility*).
- Kemampuan beradaptasi (*adability*) sehingga beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun.

- Tahan terhadap temperatur tinggi.
- Biaya pemeliharaan yang kecil.
- Mampu memikul beban yang berat.

Kekurangan :

- Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
- Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
- Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidrolis. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terekspose separah struktur baja.
- Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
- Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur ulang sulit dan tidak ekonomis. Dalam hal ini struktur baja lebih unggul, misalnya tinggal melepas sambungannya saja.

2.1.3 Syarat – Syarat Campuran Beton

Tujuan dari perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar dan air yang memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Kekuatan Desak : Kuat desak yang dicapai pada umur beton 28 hari harus memenuhi persyaratan yang diberikan oleh perencana persyaratan menurut karakteristik mutu beton yang direncanakan.
- b. Workabilitas : Untuk memenuhi *workability* yang cukup guna pengangkutan, pencetakan dan pemadatan beton sepenuhnya dengan peralatan yang tersedia dalam pengerjaan pembentukan beton yang diinginkan.
- c. Durabilitas : Durabilitas atau sifat awet berhubungan dengan kekuatan desak. Semakin besar kekuatan maka semakin awet betonnya.
- d. Penyelesaian akhir dari permukaan beton : Kohesi yang kurang baik merupakan salah satu sebab penyelesaian akhir yang kurang baik apabila beton dicetak pada acuan tegak, seperti goresan pasir dan variasi warna dapat juga mendatangkan kesukaran di dalam menambal bidang horizontal menjadi suatu penyelesaian akhir yang harus padat.

2.2 Bahan – Bahan Campuran Beton

2.2.1 Semen

Semen merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling klinker (yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan – bahan yang mengandung silica, alumunia, dan oxid besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang

cukup. Bubuk halus ini bila dicampur dengan air, selang beberapa waktu dapat menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis. (Kardiyono,1989)

Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, yang merupakan oksida dominan. Sedangkan oksida lain yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen adalah MgO, SO₃, Na₂O dan K₂O.

Semen dapat dibedakan dalam dua kelompok yaitu :

- a. Semen Non – Hidrolik
Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur.
- b. Semen Hidrolik
Semen hidrolik mempunyai kemampuan mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik ialah kapur hidrolik, semen pozzolan, semen tarak, semen alam, semen Portland, semen portland-pozzolan, dan lain – lain.

Tabel 2.3 Jenis – Jenis Semen Portland Menurut ASTM C.150

Jenis Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)				Panas Hidrasi 7 hari (J/g)
		C3S	C2S	C3A	C4AF	
I	Normal	50	24	11	8	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	250
III	Kekuatan Awal Tinggi	60	13	9	8	500
IV	Panas Hidrasi Rendah	26	50	5	12	210
V	Tahan Sulfat	10	40	9	9	220

(Sumber : ASTM C.150)

Keterangan :

1. Jenis I adalah semua semen portland untuk tujuan umum, biasa tidak memerlukan sifat-sifat khusus misalnya gedung, trotoar, jembatan, dll.
2. Jenis II adalah semen portland yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang dan ketahanan terhadap sulfat lebih baik, penggunaannya pada pir (tembok di laut dermaga), dinding tahan tanah tebal, dll.
3. Jenis III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan dicapai umumnya dalam satu minggu. Umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus cepat dipakai.

4. Jenis IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan massif seperti bendungan gravitasi yang besar. Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat dari pada kelas I.
5. Jenis V adalah semen portland tahan sulfat, dipakai untuk beton dimana menghadap aksi sulfat yang panas. Umumnya dimana tanah atau air tanah mengandung kandungan sulfat yang tinggi. (Tjokrodimulyo, 1995).

2.2.2 Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, (Tjokrodimulyo, 1992).

- a. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
- c. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

Air merupakan bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia dengan semen untuk pembentukan pada semen. Air juga digunakan untuk pelumas antara butiran dalam agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air dalam campuran beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata.

Air pada campuran beton akan berpengaruh pada :

- a. Sifat *workability* adukan beton.
- b. Besar kecilnya nilai susut beton.
- c. Kelangsungan reaksi dengan semen portland sehingga dihasilkan kekuatan dalam selang beberapa waktu.
- d. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Faktor Air Semen (FAS) secara umum, semakin tinggi nilai fas maka semakin rendah kekuatan tekan beton. Akan tetapi, nilai fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan tekan beton semakin tinggi. Ada beberapa batasan dalam hal ini, nilai fas yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan dan kesulitan dalam pelaksanaan

pemadatan, sehingga menyebabkan penurunan mutu beton. Secara umum, nilai fas campuran beton antara 0,25-0,65 (Mulyono, 2005).

2.2.3 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menempati 70% volume beton, sehingga sangat berpengaruh terhadap sifat apapun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat sesuai dengan SNI 03-1750-1990 tentang Agregat Beton, Mutu dan Cara Uji.

Agregat yang dipakai harus memenuhi syarat-syarat :

- a. Kerikil harus berupa butiran yang keras dan tidak berpori.
- b. Agregat harus bersih dari unsure organik.
- c. Kerikil tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering.
- d. Kerikil mempunyai bentuk yang tajam.

Dari ukurannya agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu agregat kasar dan agregat halus (Ulasan PB,1989;9)(Mulyono,2005). Agregat yang mempunyai butir-butir yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih kasar dari 4,8 mm. Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan susun beton adalah agregat halus dan agregat kasar.

a. Agregat Halus

Agregat halus adalah semua butiran lolos saringan 4,75 mm. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alami, hasil pecahan dari batuan secara alami, atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu yang biasa disebut abu batu.

Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% serta tidak mengandung zat-zat organik yang dapat merusak beton, kegunaannya adalah untuk mengisi ruangan antara butir agregat kasar dan memberikan kecelakaan.

Agregat halus yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Pasir halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butirannya harus bersifat kekal.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat keringnya.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.

Menurut SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar.

Adapun syarat-syarat agregat halus yang baik digunakan untuk bahan campuran beton normal menurut (Mulyono, 2005) antara lain:

- a. Modulus halus butir 1.5 sampai 3.8.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (0,075mm) maksimal 5%.
- c. Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (Na_2SO_4) 3%, jika dibandingkan dengan warna standar / pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.
- d. Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka tidak lebih dari 2.20.
- e. Kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika di pakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 15%).

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Halus menurut SNI

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)

f. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat dengan besar butir lebih dari 4,75 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. Ukuran maksimum dari agregat kasar dalam beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan bahwa agregat tersebut harus mudah mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah yang terdapat diantara batang-batang baja tulangan. Agregat kasar juga disebut kerikil, batu pecah, ataupun split.

Syarat-syarat agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton adalah sebagai berikut :

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Dari kadar agregat yang lemah bila diuji dengan cara digores menggunakan batang tembaga, maksimumnya 5%.

2. Agregat kasar terdiri dari butiran pipih dan panjang, hanya bisa dipakai jika jumlah butiran pipih dan panjang tidak melebihi dari 20% berat agregat seluruhnya.
3. Butir-butir agregat harus bersifat kekal (tidak pecah atau hancur) oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton. Contohnya zat-zat reaktif dari alkali.
5. Lumpur yang terkandung dalam agregat kasar tidak boleh lebih dari 1% berat agregat kasarnya, apabila lebih dari 1% maka agregat kasar tersebut harus dicuci terlebih dahulu dengan air yang bersih.

Adapun karakteristik agregat kasar yang perlu diperhatikan diantaranya :

- a. Gradasi Agregat Kasar adalah distribusi dari ukuran agregat atau proporsi dari macam-macam ukuran butir agregat berdasarkan analisa saringan.
- b. Modulus Halus Butir (HMB), spesifikasi modulus halus butiran agregat kasar, yaitu 5,5%-8,5%.
- c. Absorpsi dan Berat Jenis (Spesific Gravity), spesifikasi agregat untuk beton normal adalah berat jenis agregat kasar yaitu 1,60– 3,20 kg/liter.
- d. Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar, yaitu 1,6-1,9 kg/liter.
- e. Kadar Air Agregat Kasar, spesifikasi kadar air agregat kasar, yaitu 0,5%-2,0%.
- f. Persentase Keausan, spesifikasi keausan agregat beton, yaitu 15%-50%.

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir yang Lewat Ayakan		
	Ukuran maks 10 mm	Ukuran maks 20 mm	Ukuran maks 40 mm
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)

2.2.4 Bahan Tambah (*admixture*)

Bahan tambah dalam beton dapat dibedakan menjadi dua (Mulyono, 2005) yaitu sebagai berikut :

a. Bahan tambah mineral (*additive*)

Pemberian bahan tambah ini bertujuan untuk memperbaiki kinerja beton. Contoh bahan tambah mineral adalah abu terbang batu bara (*fly ash*), *slag* dan *silica fume*.

b. Bahan tambah kimia (*chemical admixture*)

Bahan tambah kimia bertujuan mengubah beberapa sifat beton. Adapun macam-macam bahan tambah kimia, yaitu :

1. Tipe A (*water reducing admixture*)

Water reducing admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

2. Tipe B (*retarding admixture*)

Retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikat beton. Misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

3. Tipe C (*accelerating admixture*)

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

4. Tipe D (*water reducing and retarding admixture*)

Water reducing and retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

5. Tipe E (*water reducing and accelerating admixtures*)

Water reducing and accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

6. Tipe F (*water reducing high range admixtures*)

Water reducing high range admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk 17 menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Bahan tambah ini adalah superplasticizer, dosis yang disarankan adalah sekitar 1-2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

7. Tipe G (*water reducing high range retarding admixtures*)

Water reducing high range retarding admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan superplasticizer dengan penunda waktu pengikat.

2.3 Pengujian

2.3.1 Slump Test

Slump test adalah besaran kekentalan (*viscosity*) atau plastisitas dan kohesif dari beton segar. Nilai slump digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kekentalan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai slump maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai slump, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai slump untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Penetapan Nilai Slump Adukan Beton

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai Slump (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulangan	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan masal (beton massa)	7,5	2,5

(Sumber : Tjokrodinuljo, 2007)

2.3.2 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. Pasir dikelompokkan berdasarkan gradasi kekasaran butirannya menjadi beberapa daerah seperti tabel 2.7.

Tabel 2.7 Gradasi Kekasaran Pasir (Mulyono, 2005)

Lubang (mm)	% Berat Butir Lolos Saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	70-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Modulus halus butir adalah suatu indeks yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8, adapun modulus halus butir krikil biasanya diantara 5 dan 8. Secara matematis nilai modulus halus butir dan modulus butir campuran dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$MHB = \frac{\Sigma \% \text{ berat tertahan kumulatif}}{\Sigma \% \text{ berat tertahan}}$$

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100\%$$

dengan:

MHB = modulus halus butir

W = persentase berat agregat halus terhadap berat agregat kasar

K = modulus halus butir agregat kasar

P = modulus halus butir agregat halus

C = modulus halus butir agregat campuran

2.3.3 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%. Berat jenis agregat dikelompokkan berdasarkan klasifikasi seperti tabel 2.8 berikut :

Tabel 2.9 Klasifikasi Berat Jenis Agregat (Tjokrodinuljo, 2007)

Agregat Halus (Pasir)	Agregat Kasar (Kerikil)
Ringan (< 2,0)	Ringan (< 2,0)
Normal (2,5 – 2,7)	Normal (2,5 – 2,7)
Berat (> 2,8)	Berat (>2,8)

Secara matematis nilai berat jenis dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$B_j = \frac{W_b}{W_a}$$

Dengan :

B_j = berat jenis

W_a = berat air dengan volume air sama dengan volume butir agregat (gram)

W_b = berat butir agregat (gram).

2.3.4 Pengujian Kadar Air

Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang tergantung dalam agregat dengan agregat dalam keadaan kering. Jumlah air yang terkandung di dalam agregat perlu diketahui, karena akan mempengaruhi jumlah air yang diperlukan didalam campuran beton. Agregat yang banyak mengandung air, akan membuat FAS yang ada didalam campuran beton semakin banyak. Kadar air dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_2}$$

Dengan :

KA = kadar air (%)

W_1 = berat basah (gram)

W_2 = berat kering oven (gram).

2.3.5 Pengujian Berat Satuan

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.

$$B_{sat} = \frac{W_b}{V_t}$$

Dengan :

B_{sat} = berat satuan (kg/cm³)

W_b = berat butir-butir agregat dalam bejana (kg)

$$V_t = V_b + V_p$$

V_t = volume total bejana (m³)

V_b = volume butiran agregat dalam bejana (m³)

V_p = Volume pori terbuka antar butir-butir agregat dalam bejana

2.3.6 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 2.10

Tabel 2.10 Klasifikasi Kadar Lumpur Pada Agregat (BSN, 1989)

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

2.3.7 Pengujian Keausan

Pemeriksaan keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan suatu agregat, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan yang aus lolos saringan No. 12 terhadap berat mula-mula dalam persen (%) dan juga sebagai acuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi *Los Angeles*. Persyaratan untuk kekuatan agregat normal dapat dilihat pada tabel 2.11 sebagai berikut.

Tabel 2.11 Persyaratan Kekuatan Agregat Kasar Untuk Beton Normal (Tjokrodinuljo, 2007)

Kelas dan Mutu Beton	Bejana <i>Rudeloff</i> maksimum bagian Yang hancur, menembus ayakan 2mm (%)		Mesin <i>Los Angeles</i> maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (%)
	Ukuran butir 19-30 (mm)	Ukuran butir 9,5-19 (mm)	
Kelas I mutu B0 dan B1	30	32	50
Kelas II mutu K-125 ($f_c' = 10$ MPa) sampai ($f_c' = 20$ MPa)	22	24	40
Kelas III mutu di atas K-225 ($f_c' - 20$ MPa)	14	16	27

2.3.8 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2005).

Rumus yang digunakan untuk mencari kuat tekan beton adalah :

$$f^c = \frac{P}{A}$$

Dimana :

f^c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

Benda uji yang digunakan untuk pengujian nilai kuat tekan beton adalah beton berbentuk silinder. Dimensi silinder yang dipakai adalah tinggi = 300 mm dan diameter = 150 mm. Acuan ASTM C39-86 dipakai untuk standar pengujian. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi yang dicapai benda uji pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan.