

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Benda uji beton yaitu bentuk silinder dan kubus telah di kenal di berbagai negara sebagai standar ISO (*International Standardization*) sebagai uji kuat desak beton. Di Inggris, pengujian desak biasanya dilaksanakan dengan menggunakan kubus bersisi 15x15x15 cm, sedangkan di Amerika menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm, dan tinggi 30 cm (Day, 1995). Dalam ASTM silinder digunakan untuk tes kekuatan beton, cetakan silinder baja tahan pecah dan dapat digunakan secara berulang – ulang, tahan gesekan, mudah dibawa, tahan lembab dan zat kimia. Silinder berdiameter 15 cm ini digunakan untuk sampel beton di site dan tes laboratorium beton (Susanti, 1989).

3.2 Material Penyusun Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*Portland Cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*Admixture atau additive*). Sifat beton yaitu kuat desak, kuat tarik dan modulus elastis dipengaruhi oleh sifat – sifat bahan. Sifat – sifat beton ini tergantung pada proporsi campuran, kesempurnaan dari adukan bahan – bahan pembentuk campuran. Uraian tentang pembentuk beton adalah sebagai berikut (Nawy, 1985).

3.2.1 Semen Portland

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150 (1985) semen Portland didefinisikan sebagai bahan hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama – sama dengan bahan utamanya.

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*) (Mulyono, 2003).

Menurut Nawy, (1990) Pada bahan pembentuk semen terdiri dari 4 unsur penting, yaitu :

1. Trikalsium silikat (C_3S).
2. Dikalsium silikat (C_2S).
3. Trikalsium aluminat (C_3A).
4. Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF).

Menurut Nawy (1985) secara ringkas proses pembuatan semen Portland dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Bahan baku yang berasal dari tambang (*quarry*) berupa campuran CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 digiling (*blended*) bersama – sama beberapa bahan tambah lainnya, baik dalam proses basah maupun dalam proses kering.
2. Hasil campuran tersebut di tuangkan ke ujung atas *ciln* yang diletakkan agak miring.
3. Selama *ciln* berputar dan dipanaskan, bahan tersebut mengalir dengan lambat dari ujung atas ke bawah.
4. Temperatur dalam *ciln* dinaikkan secara perlahan hingga mencapai temperatur klinker (*clinker temperature*) dimana difusi awal terjadi. Temperature ini dipertahankan sampai campuran membentuk butiran semen Portland pada suhu 1400°C (2700°F). Butiran yang dihasilkan disebut sebagai klinker dan memiliki diameter antara 1,5 – 50 mm.
5. *Klinker* tersebut kemudian didinginkan dalam *clinker storage* dan selanjutnya dihancurkan menjadi butiran – butiran yang halus.
6. Bahan tambah, yakni sedikit gypsum (sekitar 1 – 5%) ditambahkan untuk mengontrol waktu ikat semen, yakni waktu pengerasan semen dilapangan.
7. Hasil yang diperoleh kemudian disimpan pada sebuah *Cemen silo* untuk penggunaan yang kecil, yakni kebutuhan masyarakat. Pengolahan selanjutnya adalah pengepakan dalam *packing plant*. Untuk kebutuhan pekerjaan besar, pendistribusian semen dapat dilakukan menggunakan *capsule truck*.

Sedangkan dari jenis semen sendiri dibedakan atas (PBUI – 1982)

Tabel 3.1 Jenis – Jenis Semen

Jenis Semen	Tujuan Pemakaian
Jenis I	Untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lainnya
Jenis II	Untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agar tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang
Jenis III	Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi
Jenis IV	Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
Jenis V	Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan kuat sangat tahan terhadap sulfat

Jenis semen yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis I.

3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira – kira menempati sebanyak 70% volume beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat – sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton (Mulyono, 2003)

Berdasarkan ukuran butirannya, agregat dapat dibedakan menjadi 2, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir – butir lebih besar dari 4,8 mm, dan agregat halus berupa agregat yang mempunyai ukuran butir – butir lebih kecil dari 4,8 mm. Agregat yang butiran –

butirannya lebih kecil dari 1,2 mm kadang – kadang disebut pasir halus, sedangkan butir - butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt* (Lumpur), dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (tanah liat) (Mulyono, 2003).

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik (Tjokrodimulyo, 1995).

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima (Landgren, 1994) dalam Mulyono (2003), yaitu :

1. Volume Udara

Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.

2. Volume Padat

Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari agregat.

3. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.

4. Penyerapan

Penyerapan berpengaruh pada berat jenis.

5. Kadar Air Permukaan Agregat

Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan campuran air saat pencampuran.

a. Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirannya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) (Mulyono, 2003). Pemilihan agregat berdasarkan kekuatan dan keuletan agregat yang tergantung dari bahan pembentuk batuanannya. Kuat tekan agregat harus lebih tinggi daripada beton yang dibuat dari agregat tersebut agar menghasilkan beton yang kekuatannya dapat diandalkan (Tjokrodimulyo, 1992).

Menurut Tjokrodimulyo (1992) berdasarkan jenisnya agregat dapat dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu :

1. Agregat normal, berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7 gr/cm^3 ,
2. Agregat ringan, berat jenisnya kurang dari 2,0 gr/cm^3 , dan
3. Agregat berat, mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 gr/cm^3 .

b. Agregat halus (Pasir)

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat – alat pemecah batu. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Pada umumnya pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam, (Murdock dan Brook, 1991) yaitu :

1. Pasir galian.

Pasir ini dapat diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam, tetapi biasanya harus dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dengan cara dicuci.

2. Pasir sungai.

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang umumnya berbutir halus, bulat – bulat akibat proses gesekan.

3. Pasir laut.

Pasir ini diperoleh dari pantai, butir – butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang jelek karena banyak mengandung garam – garaman. Garam – garaman ini menyerap kandungan air dari udara dan hal tersebut mengakibatkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

Walaupun fungsi pasir hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton. Pemakaian pasir dalam beton dimaksudkan untuk :

- 1) Menghasilkan kekuatan beton yang cukup besar,
- 2) Mengurangi susut pengerasan,
- 3) Menghasilkan susunan pampat pada beton,
- 4) Mengontrol *workability* adukan, dan
- 5) Mengurangi jumlah penggunaan semen Portland (Nugraha, 1996).

Pasir yang digunakan untuk beton, hendaknya memenuhi syarat-syarat sebagaimana dalam peraturan yang berlaku, diantaranya seperti dijelaskan dibawah ini.

- 1) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Sisa diatas ayakan \emptyset 4 mm, minimum 2 % berat.
 - b. Sisa diatas ayakan \emptyset 1 mm, minimum 10 % berat.
 - c. Sisa diatas ayakan \emptyset 0,25 mm, \pm 80 % s/d 95 % berat.
- 2) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam, keras, kuat, dan bersifat kekal bentuk yakni tidak pecah (hancur) oleh pengaruh cuaca seperti panas matahari dan hujan serta bergradasi baik. Gradasi pasir yang digunakan harus baik, artinya mempunyai variasi butir yang beragam, supaya volume rongga berkurang dan menghemat semen portland. Gradasi pasir yang baik dapat menghasilkan mortar yang pampat (padat) dan mempunyai kekuatan yang besar.
- 3) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 %. Lumpur yang dimaksud adalah bagian yang dapat melalui ayakan \emptyset 0,063, apabila kadar lumpur lebih dari 5 % harus dicuci terlebih dahulu.
- 4) Pasir tidak boleh mengandung silika aktif yang terdapat dalam opaline, chalcodonic, cherts, phylites, tuff rhyolites, andhesite, tuff andhesite, batu gamping, silika dan sebagainya. Zat-zat ini akan beraksi dengan alkali dalam semen (reaksi alkali-agregat). ini disebabkan oleh hasil reaksi alkali silika itu sendiri dan ditambah dengan tekanan hidrolis melalui proses osmosis (Nugraha, 1996).

Untuk membedakan macam agregat ini, dapat dipergunakan metode saringan / ayakan (proses analisa saringan). Jenis saringan yang dapat digunakan adadua macam

yaitu berdasarkan acuan saringan Inggris dan saringan Amerika. Perbandingan antara kecuanya dapat dilihat berdasarkan tabel dibawah ini (Murdock dan Brook, 1991)

Tabel 3.2 Saringan Inggris dan Saringan Amerika yang setara

Saringan Uji BS 410 Ukuran Nominal Lubang		Saringan ASTM E11-70 yang ditunjuk sebagai saringan setara	
Metrik	Satuan Inggris yang setara	Lebar Standar Lubang Saringan	Saringan ASTM
37,5 mm	1½ in	38,1 mm	1½ in
20,0 mm	¾ in	19,0 mm	¾ in
10,0 mm	⅜ in	9,5 mm	⅜ in
5,0 mm	⅜ in	4,76 mm	No.4
2,36 mm	No.7	2,38 mm	No.8
1,18 mm	No.14	1,19 mm	No.16
600 m	No.25	595 m	No.30
300 m	No.52	297 m	No.50
150 m	No.100	149 m	No.100
75 m	No.200	74 m	No.200

3.2.3 Air

Air pada campuran beton berfungsi sebagai media untuk mengaktifkan pada reaksi semen, pasir agar dapat saling menyatu. Air juga berfungsi sebagai pelumas antara butir-butir pasir yang berpengaruh pada sifat yang mudah dikerjakan (*workability*) adukan beton, kekuatan susut dan keawetan. Reaksi kimia antara air dengan semen akan membentuk *gel* yang selanjutnya akan mengikat butir-butir pasir dan kapur. Dalam pemakaiannya air harus diberikan secara tepat, jika terlalu sedikit maka adukan beton akan sulit untuk dikerjakan, sebaliknya jika berlebihan akan menyebabkan *segregasi* dan mengurangi daya ikat. Selain itu kelebihan air akan

bergerak ke permukaan adukan bersama-sama semen dan dapat membentuk lapisan tipis (*laitanse*).

Dalam pemakaian air untuk beton, air sebaiknya memenuhi syarat yaitu :

- 1) Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr / liter.
- 2) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter,
- 3) Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr / liter, dan
- 4) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter (Tjokrodimuljo, 1996).

Air juga digunakan untuk rawatan beton. Metoda perawatannya adalah dengan merendam beton dalam air. Rawatan beton ini dapat juga memakai adukan, tetapi harus tidak menimbulkan noda atau endapan yang dapat merusak warna permukaan sehingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika rawatan cukup lama (Nugraha, 1996)

3.2.4 Bahan Tambah/ Aditif

Bahan tambah atau aditif dapat didefinisikan sebagai bahan/ material selain bahan utama penyusun beton (agregat kasar/ halus, semen, dan air) yang ditambahkan dalam campuran beton dengan tujuan tertentu. Bahan tambah pada umumnya dimasukkan dalam campuran beton dalam jumlah yang relatif kecil, maka tingkatan kontrolnya harus lebih besar daripada pekerjaan beton biasa. Hal ini untuk menjamin agar tidak terjadi kelebihan dosis. Pada pelaksanaan selalu ada usaha untuk

menambahnya sedikit, terutama bila operator menyangka bahwa keadaan campuran menyimpang dari keadaan normal. Bahan tambah yang berlebihan dapat menurunkan sekali kekuatan atau sifat-sifat beton yang lain (L.J. Murdock dan K.M. Brook).

Menurut SK SNI S-18-1990-03 (1990), (Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton), bahan kimia tambahan dapat dibedakan dalam lima jenis:

1. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kelecakan yang sama, atau diperoleh kelecakan adukan lebih rendah pada faktor air semen yang sama.
2. Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan misalnya untuk satu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pematatan lebih dari 1 jam.
3. Bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan di bawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang, jembatan dan sebagainya.
4. Bahan kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.

5. Bahan kimia berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan.

Berikut ini adalah beberapa contoh bahan tambah atau aditif:

1. *Accelerators* yaitu bahan untuk mempercepat pengerasan pada adukan beton. Bahan ini biasanya dipakai pada saat musim dingin karena kurangnya panas yang diterima untuk mempercepat pengerasan.
2. *Retarder* yaitu bahan untuk memperlambat pengerasan adukan beton. Bahan ini biasanya dipakai pada transportasi beton ready mix sehingga tidak cepat mengeras selama perjalanan.
3. *Air entraining agents* yaitu bahan untuk mengisi pori-pori pada beton segar. Bahan ini meningkatkan durabilitas dan plastisitas, tetapi bisa saja mempunyai efek yang merugikan dalam kekuatan beton.
4. *Superplasticizer* yaitu bahan yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya bleeding. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 15% dari campuran awal dan juga dapat meningkatkan kekuatan beton sampai 10%.
5. *Pozzolanic admixtures* yaitu bahan yang bereaksi dengan kapur ikat bebas selama pengikatan semen.

6. *Concrete waterproofers* yaitu bahan campuran penangkal air yang berfungsi untuk mencegah meresapnya air hujan ke dalam beton, dengan demikian diharapkan beton kedap air.

3.2.4.1. LN

Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 macam, yaitu LN dari pabrikan SIKA dan DAREX[®] SUPER 20 dari pabrikan GRACE. Berikut ini akan dijelaskan mengenai bahan tambah LN berdasarkan brosur.

Nama Produk: Sikament[®] LN (High Range Water Reducing)

Deskripsi : Bahan tambah untuk mengurangi kadar air dan sebagai *superplasticizer* untuk meningkatkan percepatan pengerasan dengan workabilitas yang tetap tinggi.

Penggunaan : Terutama digunakan pada industri elemen beton pracetak, sebagai solusi akan kebutuhan akan beton yang cepat mengeras sehingga mempercepat pelepasan cetakan/bekisting, serta pencapaian kuat desak pada umur-umur awal yang tinggi. Memungkinkan peralatan yang ditempatkan pada beton sehingga dapat dipakai pada kapasitas penuh. Efektif pada dosis yang direkomendasikan.

Keuntungan : Pengurangan air sampai 20% akan menghasilkan kenaikan kuat desak sampai 40% dan menambah sifat kedap air.

Dosis : 0,6%-1,5% terhadap berat semen.
 Disarankan untuk mencari dengan cara mencoba campuran sehingga diperoleh dosis yang dibutuhkan secara tepat.

Data Teknis

Jenis : Naphtalene Formaldehyde Sulfonate
 Warna : Coklat tua
 Berat jenis : 1,18 sampai 1,20 kg/liter
 Umur simpan : 1 tahun dalam kontainer asli yang tertutup rapat
 Penyimpanan : Tempat yang sejuk, kering, dan terlindung
 Kemasan : Drum kapasitas 250 kg

3.2.4.2. DAREX[®] SUPER 20

Penjelasan mengenai DAREX[®] SUPER 20 dari pabrikan GRACE diperoleh dari brosur.

Nama produk : DAREX[®] SUPER 20
 Deskripsi : Bahan tambah yang berfungsi sebagai *water reducer* , juga sebagai *superplasticizer* untuk meningkatkan percepatan pengerasan dengan workabilitas yang tetap tinggi.
 Penggunaan : Terutama digunakan dalam pembuatan beton pratekan, dek jembatan, atau beton lain yang membutuhkan faktor air semen (fas) yang minimal, namun tetap mempertahankan *workability*

untuk memudahkan dalam penuangan/penempatan dan pemadatan beton.

- Keuntungan :
1. DAREX[®] SUPER 20 dapat menghasilkan beton yang mengalir dengan nilai *slump* tinggi tanpa kehilangan kekuatan rencana.
 2. DAREX[®] SUPER 20 menghasilkan beton dengan faktor air semen yang rendah sehingga kekuatannya meningkat.
 3. DAREX[®] SUPER 20 dapat digunakan untuk mengurangi kebutuhan energi panas untuk mempercepat pengerasan pada pekerjaan beton pratekan/ pracetak.
 4. Beton dengan bahan tambah DAREX[®] SUPER 20 yang dibuat dengan semen jenis I dapat digantikan dengan beton normal yang dihasilkan semen jenis III untuk mendapatkan kenaikan kekuatan pada umur awal.
 5. Beton dengan bahan tambah DAREX[®] SUPER 20 pada nilai *slump* tinggi, tidak menunjukkan gejala pemisahan agregat (*segregasi*) dibandingkan dengan beton tanpa *superlasticizer* pada nilai *slump* yang sama.
 6. DAREX[®] SUPER 20 membantu dalam pelaksanaan pembuatan beton dalam frekuensi tinggi dari *truck mixer*/ molen, sehingga mengurangi waktu pengerjaan dan meningkatkan efisiensi penggunaan *mixer*.

Dosis : Dosis atau kadar bisa bervariasi bergantung pada jenis aplikasi, tapi pada umumnya berkisar antara 400 ml sampai 1500 ml tiap 100 kg semen. Pada kebanyakan kasus, penambahan 400 ml sampai 1100 ml tiap 100 kg semen sudah mencukupi.

Data Teknis

Jenis : Larutan Naphtalene Sulfonate cair tanpa tambahan Chloride
Berat Jenis : 1,2 kg/liter
Penyimpanan : Tempat dengan suhu di atas 0°C.
Kemasan : Drum dengan kapasitas 205 liter

3.3. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai nilai yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butiran-butiran bervariasi akan terjadi volume pori kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi.

Pada agregat untuk pembuatan mortar atau beton diinginkan butiran yang kemampatannya tinggi, karena volumenya porinya sedikit, dan ini berarti hanya membutuhkan bahan ikat sedikit saja (bahan ikat mengisi pori antara butir-butir agregat, bila volume pori sedikit berarti bahan ikat sedikit pula).

Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat didalam suatu ayakan. Susunan ayakan itu adalah ayakan dengan

lubang : 38 mm, 19 mm, 9,6 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm dan 0,15 mm.

Secara teoritis gradasi agregat yang terbaik adalah yang didasarkan pada karakteristik butir-butir agregatnya. Menurut peraturan di Inggris (British Standard) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, kekasaran butiran dapat dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar, sebagaimana tampak pada tabel 3.3.

Adapun gradasi kerikil yang baik sebagaimana masuk didalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 3.3

Tabel 3.3. Gradasi pasir menurut British Standard

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	84 – 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

Keterangan : Daerah I = pasir kasar

Daerah II = pasir agak kasar

Daerah III = pasir agak halus

Daerah IV = pasir halus

Tabel 3.4. Gradasi kerikil menurut British Standard

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan Besar butir maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	90 – 100	100
12,5	---	---	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Pada peraturan tersebut juga telah ditetapkan bahwa untuk campuran beton dengan diameter maksimum agregat sebesar 40 mm, 30 mm, 20 mm, 10 mm, gradasi agregatnya (campuran pasir dan kerikil) harus berada didalam batas-batas yang tertera pada tabel berikut.

**Tabel 3.5. Persen butiran yang lewat ayakan (%)
Untuk agregat dengan butir maksimum 40 mm.**

Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
38	100	100	100	100
19	50	59	67	75
9,6	36	44	52	60
4,8	24	32	40	47
2,4	18	25	31	38
1,2	12	17	24	30
0,6	7	12	17	23
0,3	3	7	11	15
0,15	0	0	2	5

**Tabel 3.6. Persen butiran yang lewat ayakan (%)
Untuk agregat dengan butir maksimum 30 mm.**

Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3
38	100	100	100
19	74	86	93
9,6	47	70	82
4,8	28	52	70
2,4	18	40	57
1,2	10	30	46
0,6	6	21	32
0,3	4	11	19
0,15	0	1	4

**Tabel 3.7. Persen butiran yang lewat ayakan (%)
Untuk agregat dengan butir maksimum 20 mm.**

Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
19	100	100	100	100
9,6	45	55	65	75
4,8	30	35	42	48
2,4	23	28	35	42
1,2	16	21	28	34
0,6	9	14	21	27
0,3	2	3	5	12
0,15	0	0	0	2

**Tabel 3.8. Persen butiran yang lewat ayakan (%)
Untuk agregat dengan butir maksimum 10 mm.**

Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
9,6	100	100	100	100
4,8	30	45	60	75
2,4	20	33	46	60
1,2	16	26	37	46
0,6	12	19	28	34
0,3	4	8	14	2
0,15	0	1	3	6

Dalam praktek diperlukan suatu campuran pasir dan kerikil dengan perbandingan tertentu agar gradasi campuran dapat masuk dalam kurva standar diatas.

3.4 Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (fineness modulus) adalah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan dan kekasaran butir-butir agregat.

Modulus halus butir (Mhb) didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Susunan lubang ayakan itu adalah sebagai berikut : 38 mm, 19 mm, 9,60 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm dan 0,15 mm.

Makin besar nilai modulus butir menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8. Adapun modulus untuk kerikil biasanya antara 5 dan 8. Modulus halus butir selain untuk ukuran kehalusan butir juga dapat dipakai untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil, bila kita akan membuat campuran beton. Modulus halus butir agregat dari campuran pasir dan kerikil untuk bahan pembuat beton berkisar antara 5,0 dan 6,5.

Hubungan antara Mhb pasir, Mhb kerikil dan Mhb campurannya dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan : W = Persentase berat pasir terhadap berat kerikil

K = Modulus halus butir kerikil

P = Modulus halus butir pasir

C = Modulus halus butir campuran

3.5 Berat Agregat

Berat agregat adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Berat jenis agregat normal berkisar antara 2,5 sampai 2,7.

Berat satuan agregat adalah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m³. Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya adalah volume padat (meliputi pori tertutup) dan pori terbukanya.

Dengan demikian secara matematis dapat ditulis :

$$V_t = V_b + V_p$$

dengan :

V_t = Volume total

V_b = Volume butiran, termasuk pori tertutup

V_p = Volume pori terbuka

Istilah lain yang perlu diperhatikan

Porositas :

$$P = V_p/V_b \times 100\% \quad (3.2)$$

Kemampatan :

$$K = V_b/V_t \times 100\% \quad (3.3)$$

Dari rumus-rumus tersebut maka didapat hubungan antara lain nilai kepadatan dan porositas yaitu :

$$K = 100 - P \quad (3.4)$$

Bila suatu agregat kering beratnya W, maka diperoleh :

$$\text{Berat jenis b.j.} = W/V_b$$

$$\text{Berat satuan b sat} = W/V_t$$

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa untuk agregat normal :

$$\text{Porositas} = 35 - 40 \%$$

$$\text{Kemampatan} = 60 - 65 \%$$

$$\text{Berat jenis} = 2,5 - 2,7$$

$$\text{Berat satuan} = 1,2 - 1,6$$

(Tjokrodimuljo, 1996)

3.6 Air dalam Agregat

Agregat basah dengan berat W, kemudian dikeringkan dalam tungku (oven) pada suhu 105 derajat celcius sampai beratnya tetap W_k, maka kadar agregat basah itu adalah :

$$K = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% \quad (3.5)$$

Agregat yang jenuh air (pori-porinya terisi penuh air), namun permukaannya kering sehingga tidak mengganggu air bebas dipermukaannya disebut agregat jenuh kering muka. Jika agregat yang jenuh kering muka ini kemudian dimasukkan kedalam tungku pada suhu 105 derajat celcius sampai beratnya tetap, yaitu W_k , maka kadar air agregat jenuh kering muka itu sebesar :

$$K_{jkm} = \frac{W_{jkm} - W_k}{W_k} \times 100\% \quad (3.6)$$

3.7 Kadar Air Agregat

Keadaan jenuh kering muka (*saturated surface-dry*, SSD) butiran agregat pada tahap ini tidak menyerap air dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton. Keadaan ini juga sering dipakai sebagai standar karena keabsahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya dan kadar air dilapangan lebih banyak mendekati keadaan SSD.

Penyerapan air dilapangan dapat dihitung dengan rumus :

$$A_{tamb} = \frac{K - K_{jkm}}{100} \times W_{ag} \quad (3.7)$$

dengan :

A_{tamb} = air tambahan dari agregat, liter

K = kadar air agregat dilapangan

K_{jkm} = kadar air agregat jenuh kering muka, %

W_{ag} = berat agregat, kg

Kadar air dihitung :

$$K = \frac{(W - Wk)}{Wk} \times 100 \% \quad (3.8)$$

dengan :

K = kadar air

W = berat semula

Wk = berat kering

Berat jenis (SSD) :

$$Bj = \frac{A}{(A - B)} \quad (3.9)$$

dengan :

A = berat agregat jenuh kering muka diudara

B = berat agregat dalam air

3.8 Faktor Air Semen (fas)

Nilai fas merupakan nilai yang menunjukkan perbandingan berat air terhadap berat semen yang dinyatakan dengan rumus :

$$\text{fas} = \frac{W_n + W_m}{W_c} - \frac{W}{W_c} \quad (3.10)$$

fas = faktor air semen

W_n = berat air yang diserap dalam agregat, kg

W_m = berat air permukaan pada agregat, kg

W_c = berat semen, kg

Semakin besar nilai *fas*, maka semakin besar pula berat air pada campuran dan semakin banyaknya air maka akan mengurai lekatan antar agregat. Perbandingan ini disimpulkan dalam suatu hukum perbandingan air semen dari abram (Murdock dan Brook, 1991), “Pada bahan-bahan dan keadan pengujian tertentu, jumlah air campuran yang dipakai menentukan kekuatan beton, selama campuran dan dapat dikerjakan”.

3.9 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat kelecakan ini berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*). Makin besar nilai *slump* berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan. Nilai *slump* untuk berbagai macam struktur dapat dilihat pada Tabel 3.9 :

Tabel 3.9 Penetapan Nilai *Slump* (cm)

Pemakaian Beton	Maksimal	Minimal
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang.	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang	9,0	2,5
Kaison, dan struktur di bawah tanah	15,0	7,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	7,5	5,0
Pengerasan jalan	7,5	2,5
Pembetonan masal		

Sumber : Astanto, 2001

3.10 Workabilitas

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newman mengusulkan agar didefinisikan pada sekurang-kurangnya tiga buah sifat yang terpisah (Murdock dan Brook, 1991) :

- 1) Kompaktibilitas atau kemudahan dimana beton mudah dipadatkan dan rongga-rongga diambil.
- 2) Mobilitas atau kemudahan dimana beton dapat mengalir kedalam cetakan disekitar baja dan dituang kembali.
- 3) Stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai masa yang homogen, koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi / pemisahan butiran dari bahan-bahan utamanya.

3.11 Berat Volume Beton

Nilai ini menyatakan berat beton persatuan volume yang dapat dirumuskan sebagai :

$$BV = \frac{B_s}{V_b} \quad (3.11)$$

Keterangan : BV = Berat volume beton (kg/cm^3)

B_s = Berat beton (kg)

V_b = Volume beton (cm^3)

Dalam penelitian ini dipergunakan sampel beton dengan bentuk silinder maka volume beton dapat dinyatakan sebagai $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$ dengan d sebagai diameter silinder beton dan t sebagai tinggi silinder beton

3.12 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban dibagi dengan luasan permukaan beton yang menerima beban tersebut. Menurut SNI 03-1974-1990 untuk mendapatkan kuat desak beton tersebut dari masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat desak } f_c = \frac{P}{A} \quad (3.12)$$

$$f_{cr} = \frac{\sum_i^N f_c}{N} \quad (3.13)$$

Sedangkan untuk jumlah sampel yang kurang dari 15 buah dapat dihitung dengan rumus pada Tabel 3.10 di bawah ini

Tabel 3.10 Kuat desak karakteristik beton f_c

Kuat desak rencana (Psi)	Kuat desak karakteristik beton f_c
< 3000	$f_{cr} - (1000 \text{ Psi})$
3000 - 5000	$f_{cr} - (1200 \text{ Psi})$
>5000	$f_{cr} - (1400 \text{ Psi})$

1000 Psi = 6,9 MPa

- Dengan :
- P = beban maksimum (N)
 - A = luas penampang benda uji (mm^2)
 - f_c = kuat desak beton masing-masing benda uji (MPa)
 - f_{cr} = kuat desak beton rata-rata (MPa)
 - N = jumlah benda uji
 - S_d = standar deviasi (MPa)
 - m = nilai margin (MPa)
 - k = konstanta 1,64
 - f'_c = kuat desak karakteristik (MPa)

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan desak beton antara lain (Peraturan Pedoman Beton, 1989) :

- a. faktor air semen (f_{as}),
- b. kekerasan agregat halus dan kasar,
- c. prosedur pemeriksaan mutu untuk pengecoran dan pengangkutan serta pemadatan di lapangan,
- d. umur beton, dan
- e. sifat-sifat tegangan beton juga dipengaruhi oleh kecepatan pembebanan.

3.13 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah hubungan linier antara tegangan dan regangan yang sangat penting dan banyak digunakan. Kemiringan garis yang melalui titik $0,4 f'_c$ didefinisikan sebagai modulus sekan (*secant modulus*), yang lebih umum diambil sebagai modulus elastisitas beton (E_c).

Menurut **SK SNI 03-XXX-2002** :

$$\text{Modulus Elastisitas } (E_c) = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.14)$$

Dengan : σ = tegangan pada $0,4$ kuat tekan uji (kg/cm^2)

ε = regangan yang dihasilkan dari tegangan

Ditetapkan nilai modulus E_c ini sebagai nilai variabel yang tergantung dari mutu beton, dan dirumuskan sebagai :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa}) \quad (3.15)$$

Sedangkan ACI menetapkan rumus untuk menghitung modulus elastisitas dari beton normal dengan berat 2320 kg/m^3 sebagai berikut :

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3.16)$$

Dengan : f'_c = kuat desak silinder ($\text{N/mm}^2 = \text{Mpa}$)

3.14 Kekakuan

Kekakuan beton dapat dicari dengan cara membagi beban pada saat $0,4 \sigma$ maksimal dengan deformasi yang terjadi. Secara matematis menurut SK SNI 03-XXX-2002 dapat ditulis dengan rumus :

$$K = \frac{P}{\Delta L} \quad (3.17)$$

Dengan : P = beban pada saat $0,4 \sigma$ maksimal (kg)
 ΔL = deformasi (cm)

3.15 Kuat Tarik Beton

Untuk pengujian kuat tarik belah silinder (*tensile splitting cylinder test*). Benda uji silinder diletakkan pada alat uji dalam posisi rebah. Beban vertical diberikan sepanjang selimut selinder berangsur-angsur dinaikan pembebanannya dengan kecepatan 265 kN/menit hingga dicapai nilai maksimum dan terbelah oleh karena beban tarik horizontal. Kuat tarik dihitung berdasarkan formula Method for Determination of Tensile Splitting (British Standart Institution, 1983) sebagaimana terlihat dalam rumus dibawah ini:

$$f_{tr} = \frac{2 \times F}{\pi \times l \times d} \quad (3.18)$$

dimana, f_{tr} = Kuat tarik beton (kg/cm^2)

F = Beban maksimum (kg)

l = Tinggi silinder (cm)

d = Diameter Silinder (cm)

3.16 Perencanaan Campuran

Menurut Murdock dan Brook (1986) tujuan dari perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus dan kasar, serta air yang memenuhi persyaratan kuat desak, *workability* dan *durability*. Pada penelitian ini kami menggunakan metode Departemen Pekerjaan Umum yang tertuang dalam SK.SNI.T-15-1990-03, atau lebih dikenal dengan cara DOE (*Department of Environment*). Adapun langkah – langkah pembuatan benda uji tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan,
- b. Menentukan kuat tekan rata – rata atau nilai standar deviasi (Sd),
- c. Menghitung nilai tambah atau margin (M),
- d. Menetapkan kuat tekan rata – rata yang direncanakan,
- e. Menentukan faktor air semen (fas),
- f. Menentukan Faktor Air Semen Maksimum,
- g. Menetapkan nilai slump,
- h. Menentukan ukuran besar butir agregat maksimum (kerikil),
- i. Menetapkan kebutuhan air,
- j. Menetapkan kebutuhan semen,
- k. Menetapkan kebutuhan air maksimum,
- l. Menentukan kebutuhan semen yang sesuai,
- m. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen,
- n. Menentukan golongan pasir,

- o. Menentukan perbandingan pasir dan krikil,
- p. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil,
- q. Menentukan berat beton,
- r. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil,
- s. Menentukan kebutuhan pasir,
- t. Menentukan kebutuhan kerikil.

