

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Beton

Beton didapat dari percampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan rawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran, karena merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur, kondisi rawatan pengerasannya (Dipohusodo, 1994).

Kekuatan beton tidak lebih tinggi daripada kekuatan agregatnya. Oleh karena itu, sepanjang kuat tekan agregat lebih tinggi daripada beton yang dibuat dari agregat tersebut maka agregat tersebut masih dianggap cukup kuat (Kardiyono, 1992).

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir – butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir – butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini dikarenakan butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang besar, sehingga pori – porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuannya tinggi (Kardiyono, 1992).

#### 3.2 Semen

Semen yang digunakan untuk bahan beton adalah Semen Portland atau Semen Portland Pozzolan, berupa semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat

bahan susun beton. Dengan jenis tersebut diperlukan air guna berlangsungnya reaksi kimiawi pada proses hidrasi. Pada proses hidrasi semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk masa padat. Semen Portland terutama mengandung kalsium dan almunium silika. Dibuat dari bahan utama *limestone* yang mengandung kalsium oksida (CaO), dan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO<sub>2</sub>) serta almunium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Setelah melalui suatu proses industri, semen dipasarkan dalam bentuk bubuk dikemas dalam kantung (berat ± 47 kg). Semen Portland yang dipakai harus memenuhi syarat SII 0013-81 dan Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI) 1982, sedangkan Semen Portland Pozzolan harus memenuhi syarat SII 0132-75. Didalam syarat pelaksanaan pekerjaan beton harus dicantumkan dengan jelas jenis semen yang boleh dipakai, dan harus selalu dipertahankan sesuai dengan yang di pakai pada waktu penentuan rencana campuran (Dipohusodo, 1994)

Pada dasarnya bahan pembentuk semen ada 4 unsur yang paling penting. Keempat unsur itu ialah :

1. Trikalsium silikat (  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ),
2. Dikalsium silikat (  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ),
3. Trikalsium aluminat (  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ),
4. Tetrakalsium aluminat (  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ).

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Kardiyono (1992) menjelaskan kesesuaian dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (PUBI – 1982) di bagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Jenis I. Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan – persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis – jenis lain.
2. Jenis II. Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

3. Jenis III. Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV. Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V. Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

### 3.3 Agregat

Agregat adalah material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolis atau adukan beton SK-SNI-T-15-1991-01 (Sholeh, 2002).

Menurut Kardiyono (1997), agregat adalah butiran material mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran mortar atau beton. Walaupun sebagai pengisi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar (beton).

Agregat menempati kira-kira 75% dari volume beton dan oleh karena itu mempunyai pengaruh yang sangat penting (Sholeh, 2002).

Agregat terbagi atas agregat kasar dan halus. Agregat halus umumnya terdiri dari pasir atau partikel-partikel yang lewat saringan # 4 atau 5 mm, sedangkan agregat kasar tidak lewat saringan tersebut. Ukuran maksimum agregat kasar dalam struktur beton diatur di dalam peraturan untuk kepentingan berbagai komponen, namun pada dasarnya bertujuan agar agregat dapat masuk atau lewat di antara sela-sela tulangan atau acuan. Agregat yang digunakan harus memenuhi ketentuan SII 0052-80 dan dalam hal-hal yang tidak tercakup dalam standar tersebut juga harus memenuhi ketentuan ASTM C330-80 untuk agregat ringan.

Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm,
2. Kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm,

3. Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik (Kardiyono, 1992).

### 3.3.1 Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar untuk beton dapat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah atau dapat pula diperoleh dengan cara memecah batu alami. Pada umumnya agregat kasar adalah agregat dengan butir lebih dari 5 mm dan lebih kecil dari 40 mm. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori, kuat, dan gradasinya baik (Agung dan Arie, 1998).

Kekuatan dan keuletan agregat tergantung dari bahan pembentuk batuanannya. Kekuatan beton tidak lebih tinggi daripada kekuatan agregatnya. Oleh karena itu, sepanjang kuat tekan agregat lebih tinggi daripada beton yang dibuat dari agregat tersebut maka agregat tersebut masih dianggap cukup kuat. Agregat yang kekuatannya lebih rendah daripada pasta semen yang telah mengeras, tidak dapat menghasilkan beton yang kekuatannya dapat diandalkan (Agung dan Arie, 1998).

Bentuk agregat kasar dapat dibedakan menjadi: agregat bulat, bulat sebagian, bersudut, panjang, dan pipih. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya (PBI, 1972).

Tekstur permukaan agregat dapat dibedakan menjadi: sangat halus, halus, granuler, kasar, berkilat, berpori, dan berlubang-lubang. Butir-butir dengan tekstur permukaan yang licin membutuhkan air lebih sedikit daripada butir-butir yang tekstur permukaannya kasar. Agregat dengan permukaan yang berpori dan kasar lebih disukai daripada agregat dengan permukaan yang halus, karena agregat dengan tekstur kasar dapat meningkatkan rekatan antara agregat dan semen (Agung dan Arie, 1998).

Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dapat dibedakan atas 3 golongan (Kardiyono, 1992), yaitu:

1. Agregat normal, mempunyai berat jenis antara 2,5 sampai 2,7  $\text{gr/cm}^3$ .
2. Agregat berat, mempunyai berat jenis lebih dari 2,8  $\text{gr/cm}^3$ .
3. Agregat ringan, mempunyai berat jenis kurang dari 2,0  $\text{gr/cm}^3$ .

### 3.3.2 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam, keras dan bersifat kuat. Agregat tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai, atau dari tepi laut (PBI, 1972).

Menurut PBI (1972) cara memperoleh pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam :

1. Pasir galian, 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 dari kotoran dengan jalan dicuci.
2. Pasir sungai, diperoleh langsung dari dasar sungai, yang umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan.
3. Pasir laut, diperoleh dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garaman. Garam-garaman ini menyerap kandungan air dari udara dan ini mengakibatkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

### 3.3.3 Agregat Lengkap (campuran agregat)

Agregat lengkap adalah suatu agregat yang terdiri dari campuran agregat halus dan agregat kasar.

Analisa saringan diadakan dengan melewatkan agregat yang dikeringkan melewati sederetan saringan-saringan uji mulai dengan suatu saringan yang cukup kasar untuk melewatkan seluruh bahan. Ukuran dari anyaman yang umumnya dipakai untuk analisa saringan dari agregat beton tertulis dalam Tabel 3.1 (Murdock dan Brook, 1986).

### 3.3.4 Kekerasan Agregat

Kekerasan tergantung dari bahan batuan yang digunakan sebagai penyusun. Untuk mengetahui tingkat kekerasan agregat maka menggunakan mesin Los Angeles, yang mana tidak diperbolehkan kehilangan berat lebih dari 50%. Persyaratan kekerasan agregat dapat dilihat pada Tabel 3.2.

$$\text{Keausan} = \frac{A - B}{A} \times 100 \%$$

Keterangan : A = jumlah benda uji sebelum tes

B = jumlah benda uji setelah tes

### 3.3.5 Kekasaran Agregat

Berdasarkan ukuran butiran, agregat dibedakan menjadi agregat halus (*fine aggregate*), agregat kasar (*coarse aggregate*) dan agregat lengkap (*all in aggregate*).

#### 1. Agregat halus (*fine aggregate*)

Agregat halus adalah agregat yang lolos butiran 5 mm dan hanya berisi agregat kasar (5 mm) sejumlah tertentu seperti yang diijinkan untuk bermacam-

macam batas gradasi seperti diuraikan dalam *British Standard 882:1965* (Neville, 1975).

Distribusi ukuran butir agregat halus dibagi menjadi 4 daerah gradasi: kasar, agak kasar, agak halus, halus. Distribusi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.1 Saringan Inggris dan saringan Amerika yang setara.

Saringan uji BS 410 ukuran nominal lubang		Saringan ASTM E11 – 70 yang ditunjukkan sebagai saringan setara	
Metrik	Satuan Inggris yang setara	Lebar Standar lubang saringan	Saringan ASTM No.
37.5mm	1.5 in	38.1 mm	(1.5 in)
20.0mm	3/4 in	19.0 mm	(3/4 in)
10.0mm	3/8 in	9.5 mm	(3/8 in)
5.0mm	3/16 in	4.76 mm	4
2.36mm	No. 7	2.38 mm	8
1.18mm	No. 14	1.19 mm	16
600 $\mu$ m	No. 25	595 $\mu$ m	30
300 $\mu$ m	No. 52	297 $\mu$ m	50
150 $\mu$ m	No. 100	149 $\mu$ m	100
75 $\mu$ m	No. 200	74 $\mu$ m	200

(Murdock dan Brook, 1986)

Tabel 3.2 Persyaratan kekerasan agregat untuk beton

Kelas dan mutu beton	Bejana Reduloff Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 2 mm (Persen) Ukuran butir		Mesin Los Angeles Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (persen)
	19 – 30 mm	9,5 – 1,9 mm	
Kelas I Mutu Bo dan B1	30	32	50
Kelas II Mutu K-125 – K-225	22	24	40
Kelas III Mutu diatas K-225	14	16	32

(Kardiyono, 1992)

Tabel 3.3 Batas-batas Gradasi untuk Agregat Halus (Neville, 1975)

Saringan uji Lubang (mm)	Persen butir yang lewat ayakan Jenis agregat halus			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
9,75	100	100	100	100
4,76	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	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

## 2. Agregat kasar (*coarse aggregate*)

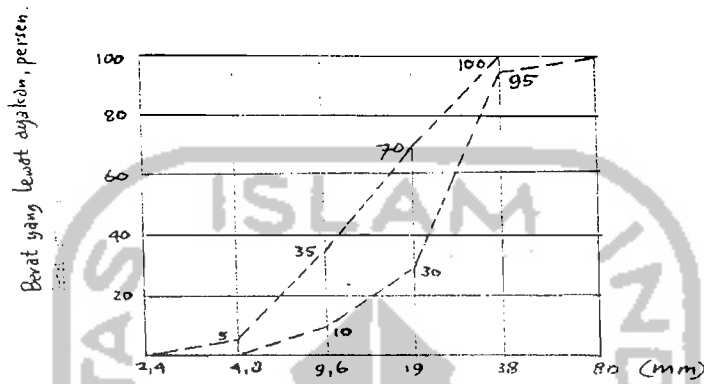
Agregat kasar dapat diartikan sebagai agregat yang tertinggal di atas saringan uji 5 mm dan hanya mengandung bahan lebih halus seperti yang diijinkan untuk bermacam-macam ukuran yang tercantum dalam BS 882:1965 (Neville, 1975).

Agregat kasar dapat berupa kerikil yang utuh, kerikil pecah, batu pecah atau campuran. Menurut BS 882 dalam Neville (1975), yang diterangkan oleh Kardiyono (2004), bahwa distribusi ukuran agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.1.

Tabel 3.4 Batas-batas Gradasi untuk Agregat Kasar (Neville, 1975)

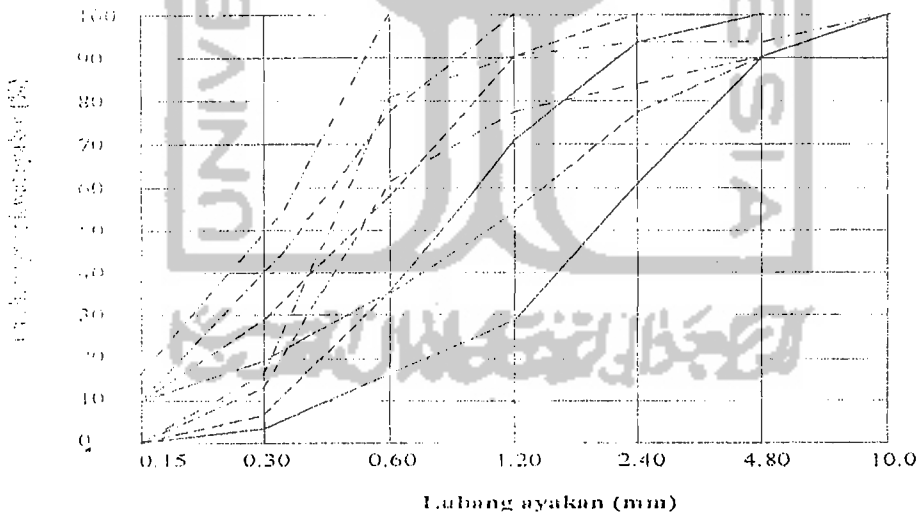
Saringan uji <i>British Standard</i> (mm)	Persen butir lewat ayakan Besarnya butir maksimum	
	40 mm	20 mm
38.1	95-100	100
19.0	30-70	95-100
9.52	10-35	25-35
4.76	0-5	0-10

TEKNOLOGI BETON



Gb.3.7. Gradasi kerikil (khusus ukuran maksimum 40 mm).

Gambar 3.1 Batas-batas gradasi untuk agregat kasar (Neville, 1975)



- Daerah I     =     —————
- Daerah II   =     - - - - -
- Daerah III  =     - . - . -
- Daerah IV   =     . . . . .

Gambar 3.2 Batas-batas gradasi untuk agregat halus (Kardiyono, 2004)

### 3. Agregat lengkap (*all in aggregate*)

Agregat lengkap adalah agregat yang terdiri dari campuran agregat kasar dan halus dengan perbandingan tertentu. Campuran beton dengan diameter maksimum 20 mm gradasi agregatnya harus berada pada batas-batas yang tercantum dalam Rote Note No. 4 (Neville, 1975) sebagaimana terlihat pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.3.

#### 3.3.6 Persyaratan Agregat

Persyaratan agregat yang akan dipakai harus memenuhi seperti yang dijelaskan oleh Kardiyono (1992), adalah sebagai berikut:

- 1 Butir-butir tajam, kuat, dan bersudut. Ukuran kekuatan agregat dapat dilakukan dengan pengujian ketahanan aus dengan mesin uji Los Angeles, atau dengan bejana Rudeloff. Persyaratan umum menurut Konsep Beton 1989 dapat dibaca dalam Tabel 3.2.
- 2 Tidak mengandung tanah atau kotoran lain yang lewat ayakan 0.075 mm. Pada agregat halus jumlah kandungan kotoran harus tidak lebih dari 5% untuk mutu beton K-125, dan 2,5% untuk beton mutu yang lebih tinggi. Pada agregat kasar kandungan kotoran ini dibatasi sampai maksimum 1%. Jika agregat mengandung kotoran lebih dari batas-batas maksimum tersebut maka harus dicuci dengan air.
- 3 Harus tidak mengandung garam yang menghisap air dari udara.
- 4 Harus yang benar-benar tidak mengandung zat organis. Kandungan organis dapat mengurangi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna pembanding. Agregat yang tidak diperiksa dengan percobaan warna dapat juga dipakai jika kuat tekan adukan dengan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% daripada kuat tekan adukan dengan agregat yang sama tetapi telah dicuci dalam larutan 3% NaOH dan kemudian dicuci dengan air yang bersih, pada umur yang sama.

- 5 Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik sehingga rongganya sedikit (untuk pasir modulus halus butirnya antara 1,50-3,80). Pasir seperti ini hanya memerlukan pasta semen yang sedikit.
- 6 Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena perubahan cuaca. Sifat kekal tersebut jika diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
  - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%.
  - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 18%.
- 7 Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, agregat harus mempunyai tingkat reaktif yang negatif terhadap alkali.
- 8 Untuk agregat kasar, tidak boleh mengandung butiran-butiran yang pipih dan panjang lebih dari 20% dari berat keseluruhan.

### 3.3.7 Gradasi

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran agregat dalam percampuran beton. Bila ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang lebih besar, sehingga pori-pori yang terjadi menjadi berkurang. Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang juga dipakai di Indonesia pada saat ini, gradasi kerikil yang sebaiknya masuk di dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 3.5 dan gradasi pasir dalam tabel 3.6.

Tabel 3.5 Gradasi kerikil menurut *British Standard*

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

(Kardiyono, 1992)

Tabel 3.6 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	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

(Kardiyono, 1992)

Keterangan:

Daerah I = pasir kasar

Daerah II = pasir agak halus

Daerah III = pasir agak halus

Daerah IV = pasir halus

Gradasi kombinasi diperlukan, jika dalam perencanaan campuran-campuran beton didasarkan pada gradasi dari agregat, maka perlu mempertimbangkan gradasi kombinasi dari agregat halus atau lebih agregat kasar. Dengan diketahuinya gradasi masing-masing proporsi yang teoritis diperlukan untuk memperkirakan yang diharapkan yang dapat ditentukan dengan cara coba-coba, dengan cara hitungan atau dengan cara grafis (Murdock dan Brook, 1986).

Berdasar gradasinya agregat dapat dibedakan menjadi agregat dengan gradasi seragam (*uniform graded*), agregat dengan gradasi sela (*gap graded*), dan agregat dengan gradasi rapat (*well graded*).

1. Agregat dengan gradasi seragam (*uniform graded*)

Agregat dengan gradasi seragam adalah agregat yang terdiri dari butiran yang berada pada batas yang sempit dari ukuran fraksi. Agregat dengan gradasi seragam ini biasanya dipakai untuk mengisi agregat dengan gradasi sela atau untuk tambahan agregat dengan gradasi campuran yang kurang memenuhi syarat.

2. Agregat dengan gradasi sela (*gap graded*)

Gradasi sela didefinisikan sebagai suatu agregat dengan gradasi salah satu fraksi atau lebih yang tidak ada ukuran tertentu. Dalam diagram gradasi, gradasi sela ini ditunjukkan dengan adanya suatu garis horisontal pada suatu fraksi ukuran agregat tertentu.

Menurut Sholeh (2002) beberapa keistimewaan penting dari agregat dengan gradasi sela ini adalah sebagai berikut:

- a. Pada suatu faktor air semen dan rasio agregat semen tertentu kemudahan pengerjaan akan lebih tinggi bila kandungan pasir lebih sedikit. Hal ini berbeda jika dipakai gradasi menerus.
- b. Pada kondisi campuran adukan beton segar yang mudah dikerjakan, agregat dengan gradasi sela disarankan dipakai pada campuran dengan tingkat

kemudahan pengerjaan rendah, yang kemudian pemadatannya dilakukan dengan penggetaran.

- c. Agregat dengan gradasi sela tidak nampak berpengaruh terhadap kuat tekan ataupun kuat tarik betonnya.

3. Agregat dengan gradasi rapat (*well graded*)

Agregat dengan gradasi rapat adalah suatu campuran yang terdiri dari campuran agregat kasar dan agregat halus dengan perbandingan tertentu. Untuk campuran beton dengan diameter maksimal 20 mm, gradasi agregatnya harus berbeda pada batas-batas yang tercantum dalam Rote Note No.4 Neville (1975), yang diterangkan juga oleh Kardiyono (2004). Seperti pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.4.

Tabel 3.7 Batas-batas Gradasi untuk Agregat kasar

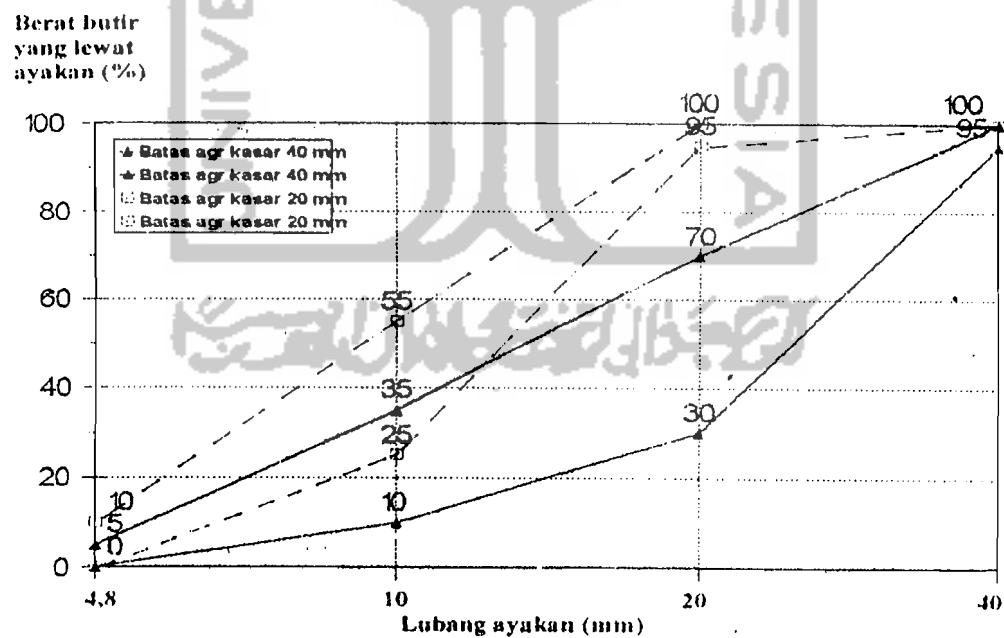
Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan Besar butir maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 - 100	100	100
20	37 - 70	95 - 100	100
10	10 - 40	30 - 60	50 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

(Kardiyono, 2004).

Tabel 3.8 Persen butiran yang lewat ayakan, (%). Untuk agregat dengan butir maksimum 20 mm

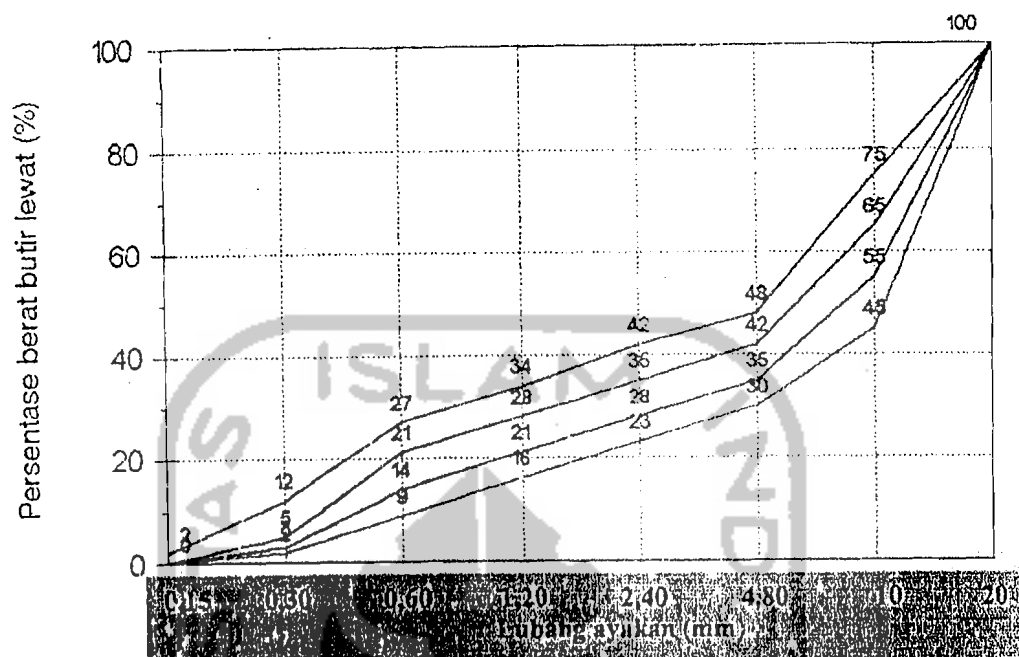
Saringan uji Lubang (mm)	Kurva I	Kurva II	Kurva III	Kurva IV
19	100	100	100	100
9,6	45	55	65	75
4,8	30	35	42	48
2,4	23	28	35	42
1,2	16	21	28	34
0,6	9	14	21	27
0,3	6	3	5	12
0,15	2	0	0	2

(Kardiyono, 2004).



Gambar 3.3 Batas-batas Gradasi untuk Agregat Kasar (Kardiyono, 2004)





Gambar 3.4 Gradasi standard agregat dengan butir maksimum 20 mm (Kardiyono, 2004)

### 3.4 Air

Air merupakan salah satu bahan dasar pembuat beton. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Hal yang penting dalam pemilihan air antara lain kejernihannya dan air tidak mengandung bahan-bahan perusak (fosfat, asam alkali, minyak atau bahan-bahan organik atau garam (Adhie dan Sutri, 2001).

Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut (PBI -1971):

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter,
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter,
3. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter,
4. Tidak mengandung senyawa sulfat ( $\text{SO}_4$ ) lebih dari 1 gr/liter.

Air yang mengandung lumpur dan tanah liat dapat diambil dengan membiarkannya mengendap dalam kolam atau tangki yang sesuai, tapi bahan lain yang terlarut, sukar untuk dihilangkan. Dapat digunakan untuk mencampurkan beton, tidak ada batasan untuk bahan kimia, garam atau senyawa lain yang terkandung didalamnya. Jika air tidak terasa asin atau payau, maka dapat digunakan dengan aman (Murdock dan Brook, 1986).

Untuk itu air harus diuji dengan menganalisis kualitasnya terlebih dahulu terhadap kehadiran bahan perusak yang larut didalamnya. Air yang dipergunakan dalam pembuatan campuran adukan beton ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia.

### 3.5 Rencana Campuran

Untuk kepentingan pengendalian mutu di samping ekonomis, beton dengan nilai kuat tekan  $f_c$  lebih dari 20 MPa perbandingan campuran bahan susun beton baik dari percobaan maupun produksinya harus didasarkan pada teknik penakaran berat. Untuk beton dengan nilai  $f_c$  sampai dengan 20 MPa, pada pelaksanaan produksi boleh menggunakan teknik penakaran volume, dimana volume tersebut adalah konversi takaran berat sewaktu membuat rencana campuran. Untuk beton dengan nilai  $f_c$  tidak lebih dari 10 MPa, perbandingan yang digunakan boleh menggunakan takaran volume 1 pc : 2 ps : 3 kr atau 1 pc : 3/2 ps : 5/2 kr (kedap air), dengan catatan nilai slump melampaui 100 mm. Ketentuan sesuai dengan PBI 1971, di kenal beberapa cara untuk menentukan perbandingan antar-fraksi bahan susun dalam suatu adukan. Untuk beton mutu B0, perbandingan jumlah agregat (pasir dan kerikil, atau batu pecah) terhadap jumlah semen tidak lebih dari 8:1 untuk beton mutu B1 dan K125 dapat memakai perbandingan campuran unsur bahan beton dalam takaran volume 1 pc : 2 ps : 3 kr atau 1 pc : 3/2 ps : 5/2 kr. Apabila hendak menentukan perbandingan antar-fraksi bahan beton mutu K175 dan mutu lainnya yang lebih tinggi harus dilakukan percobaan campuran rencana guna dapat menjamin

terciptanya kuat tekan karakteristik yang diinginkan dengan menggunakan bahan-bahan susun yang ditentukan. Dalam pelaksanaan pekerjaan beton di mana angka perbandingan antar-fraksi bahan susunnya didapatkan dari percobaan campuran rencana harus diperhatikan bahwa jumlah semen maksimum dan nilai faktor air semen minimum yang digunakan harus disesuaikan dengan keadaan sekeliling (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Rencana campuran digunakan metode DOE (*Department of Environment*) yang dilakukan oleh *Building Research Establishment, Britain* dengan mutu beton  $f'_c = 25$  MPa. Perencanaan campuran cara DOE berasal dari perancangan adukan beton cara Inggris (*The British Mix Design Method*) ini tercantum dalam "Road Note No.4." sejak tahun 1975. Di Indonesia cara ini dikenal dengan cara DOE (*Department of Environment*). Perencanaan dengan cara DOE ini dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia, dan dimuat dalam buku Standar No. SK. SNI. T-15-1990-03 dengan judul bukunya: "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal".

Langkah-langkah pokok cara Inggris/Departemen Pekerjaan Umum ini ialah:

1. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan ( $f'_c$ ) pada umur tertentu.
2. Penetapan nilai deviasi standar (sd).
3. Penghitungan nilai tambah (margin), (M).
4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan. Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus :

$$f'_{cr} = f'_c + M$$

5. Penetapan jenis semen Portland
6. Penetapan jenis agregat
7. Tetapkan faktor air-semen dengan salah satu dari dua cara berikut :
8. Penetapan faktor air-semen maksimum
9. Penetapan nilai slump
10. Penetapan besar butir agregat maksimum

11. Hitung berat semen yang diperlukan
12. Kebutuhan semen minimum
13. Penyesuaian kebutuhan semen
14. Penyesuaian jumlah air atau faktor air-semen
15. Penentuan daerah gradasi agregat halus
16. Perbandingan agregat halus dan agregat kasar
17. Berat jenis agregat campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$B_j \text{ camp} = \frac{P}{100} \times b_j \text{ agg hls} + \frac{K}{100} \times b_j \text{ agg ksr.}$$

18. Penentuan berat jenis beton
19. Kebutuhan agregat campuran
20. Hitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (17) dan (20)
21. Hitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (20) dan (21)

Dalam perhitungan di atas, agregat halus dan agregat kasar dianggap dalam keadaan jenuh kering-muka, sehingga di lapangan yang pada umumnya keadaan agregatnya tidak jenuh kering-muka maka harus dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Koreksi harus selalu dilakukan minimum satu kali per hari.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

1. Air  $= A - [(A_h - A_1) / 100] \times B - [(A_k - A_2) / 100] \times C$
2. Agregat halus  $= B + [(A_h - A_1) / 100] \times B$
3. Agregat kasar  $= C + [(A_k - A_2) / 100] \times C$

Dengan:

- A = jumlah kebutuhan air (liter / m<sup>3</sup>)  
 B = jumlah kebutuhan agregat halus (kg / m<sup>3</sup>)  
 C = jumlah kebutuhan agregat kasar (kg / m<sup>3</sup>)

- $A_h$  = kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%)  
 $A_k$  = kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%)  
 $A_1$  = kadar air pada agregat halus jenuh kering-muka (%)  
 $A_2$  = kadar air pada agregat kasar jenuh kering-muka (%)

Cara Inggris / Standar Departemen Pekerjaan Umum ini memiliki kekurangan, antara lain:

1. Jenis agregat yang hanya ditetapkan sebagai batu-pecah dan alami saja tampaknya sulit, karena sering walaupun agregat alami tetapi bentuk dan permukaannya tidak bulat atau halus. Kekasaran permukaan butir merupakan hal yang sulit diukur, dan ini berpengaruh terhadap jumlah air yang diperoleh pada langkah (11),
2. Diagram proporsi agregat halus terhadap agregat total yang dipakai pada langkah (17) sulit mendapatkan hasil yang tetap. Hal ini selain karena gradasi agregat halus yang tersedia kadang-kadang tidak berimpit dengan salah satu kurva dari 4 kurva gradasi yang disediakan,
3. Diagram hitungan antara faktor air-semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton tidak sama untuk berbagai jenis agregat yang dipakai untuk beton, sehingga sebaiknya dipakai diagram yang sesuai untuk tiap agregat yang dipakai.

### 3.6 Analisis Saringan

Agregat yang mempunyai ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm atau 4,80 mm disebut agregat kasar dan agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus (Kardiyono, 2004).

Analisis saringan ini bertujuan untuk mengetahui variasi butiran yang akan dipergunakan dalam adukan beton. Dalam hal ini kami menggunakan agregat kasar yang lolos saringan 2,00 cm, sedangkan agregat halus dari sungai Krasak dan sungai Boyong yang lolos saringan 4,75 mm.

### 3.7 Pemeriksaan Agregat Kasar (Kerikil)

Pemeriksaan agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari Clereng, Kulon Progo yang sudah tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

#### 3.7.1 Pemeriksaan Berat Jenis Kerikil

Berat jenis agregat ialah rasio antara antara massa padat agregat dan massa air dengan volume yang sama (Kardiyono, 2004)

Pemeriksaan berat jenis dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Perhitungan dengan rumus panduan praktikum bahan konstruksi teknik (SK SNI M – 09 – 1989 – F)

1. Berat jenis curah didapat dengan menggunakan rumus:

$$B_{jc} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots \dots \dots (3.1)$$

2. Berat jenis jenuh kering muka ( $B_{jjkm}$ )

Berat jenis jenuh kering muka didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$B_{jjkm} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots \dots \dots (3.2)$$

3. Berat jenis semu ( $B_{js}$ )

Cara mendapatkan berat jenis semu dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$B_{js} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots \dots \dots (3.3)$$

4. Penyerapan air ( $P_a$ )

Penyerapan air didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Pa = \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan =

Bj = Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (gr)

Ba = Berat kerikil dalam air (gr)

Bk = Berat kerikil kering mutlak (gr)

Bjc = Berat jenis curah

### 3.7.2 Analisis Saringan dan Modulus Halus Butir (MHB)

Modulus halus butir (*fineness modulus*) ialah suatu indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir-butir agregat. Pada umumnya agregat halus mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8 dan agregat kasar biasanya diantara 6 dan 8 (Kardiyono, 2004).

Analisis saringan ini bertujuan untuk mengetahui variasi butiran Modulus Halus Butir (MHB) dengan menggunakan saringan. Perhitungan dengan rumus panduan praktikum bahan konstruksi teknik (SK SNI M - 08 - 1989 - F).

Rumus yang dipakai untuk menghitung Modulus Halus Butir (MHB)

$$MHB = \frac{\% \text{Komulatifberattertinggal}}{100\%} \dots \dots \dots (3.5)$$

### 3.8 Pemeriksaan Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan agregat halus berupa pasir yang berasal dari Sungai Krasak dan Sungai Boyong. Meliputi pemeriksaan berat jenis, Modulus Halus Butir (MHB) dan pemeriksaan kadar lumpur.

### 3.8.1 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan berat jenis pasir dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. menggunakan saringan. Perhitungan dengan rumus panduan praktikum bahan konstruksi teknik (SK SNI M 10 - 1989 F):

1. Berat jenis curah,  $\text{gr/cm}^3$

Berat jenis curah didapat dengan menggunakan rumus:

$$B_{jc} = \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)} \dots \dots \dots (3.6)$$

2. Berat jenis jenuh kering muka ( $B_{jssd}$ )

Berat jenis jenuh kering muka didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$B_{jssd} = \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \dots \dots \dots (3.7)$$

3. Berat jenis semu ( $B_{js}$ )

Berat jenis semu didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$B_{js} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \dots \dots \dots (3.8)$$

4. Penyerapan air ( $P_a$ )

Penyerapan air didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_a = \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\% \dots \dots \dots (3.9)$$

Keterangan =

$B_j$  = Berat pasir kondisi jenuh kering muka (gr)

$B_t$  = Berat piknometer berisi pasir dan air (gr)

$B$  = Berat piknometer berisi air (gr)

$B_k$  = Berat pasir kering mutlak (gr)



### 3.8.2 Analisis Saringan dan Modulus Halus Butir (MHB)

Analisis Saringan untuk mengetahui gradasi agregat halus dan menentukan Modulus Halus Butir (MHB) dengan menggunakan saringan. Modulus halus butir (MHB) adalah jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Susunan lubang ayakan itu ialah sebagai berikut : 38 mm, 19 mm, 9,16 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm dan 0,15 mm (Kardiyono, 2004).

### 3.8.3 Pemeriksaan Kandungan Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui besarnya kandungan lumpur dalam agregat halus (pasir) yang akan dipergunakan sebagai campuran adukan beton. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (PBI – 71).

$$\frac{B_0 - B}{B_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3.10)$$

Keterangan:  $B_0$  = Berat pasir sebelum dioven

$B$  = Berat pasir setelah dioven

### 3.9 Berat Volume Beton

Beton normal merupakan bahan yang relatif cukup berat dengan berat jenis 2,4 atau berat 2400 kg/m<sup>3</sup>. Untuk mengurangi beban mati suatu struktur beton atau mengurangi sifat penghantar panasnya maka telah banyak dipakai beton ringan. Beton disebut sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari 1800kg/m<sup>3</sup> (Kardiyono, 1992).

### 3.10 Pengujian Kekuatan Beton

Pengujian kekuatan beton dengan menggunakan sampel berupa silinder untuk uji kuat tekan dan tarik belah dengan ukuran cetakan sampel  $t = 30$  cm dan lebar = 15 cm, untuk uji kuat lentur dengan menggunakan balok dengan ukuran cetakan lebar = 10 cm, tinggi = 10 cm dan panjang = 50 cm, sedangkan untuk uji geser dengan menggunakan balok berukuran tinggi = 10 cm, lebar = 10 cm dan panjang = 25 cm.

Pengujian sampel dengan umur beton 28 hari dengan agregat kasar dari sungai Ciereng, agregat halus dari sungai Krasak dan sungai Boyong dengan variasi tertentu.

#### 3.10.1 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton ini dengan menggunakan mesin, hingga beton tersebut retak atau hancur pada kekuatan maksimumnya. Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran cetakan tinggi = 15 cm dan diameter 30 cm. Kekuatan beton yang dikehendaki 25 MPa.

Besarnya tegangan kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan:

$P$  = beban maksimum (kg)

$A$  = luas penampang benda uji ( $\text{cm}^2$ )



Gambar 3.5 Pengujian Kuat Tekan Beton.

### 3.10.2 Kuat Tarik Belah Beton

Satu kelemahan yang dimiliki oleh beton tanpa tulangan adalah kuat tarik yaitu berkisar antara 9%-15% dari kuat tekan yang dimiliki. Umur beton yang dikehendaki 28 hari. Menggunakan prosentase agregat halus yang berbeda dalam satu daerah gradasi II dengan agregat halus yang berasal dari sungai Boyong dan sungai Krasak. Metode pengujian kuat tarik belah beton yang biasanya diujikan adalah dalam bentuk pembelahan (*Splitting*). Dalam tes uji kuat tarik belah ini menggunakan silinder beton berukuran sama seperti ukuran sampel untuk uji tekan (diameter = 15 cm, tinggi = 30 cm).

Besarnya tegangan kuat tarik belah ( $f_s$ ) adalah sebagai berikut:

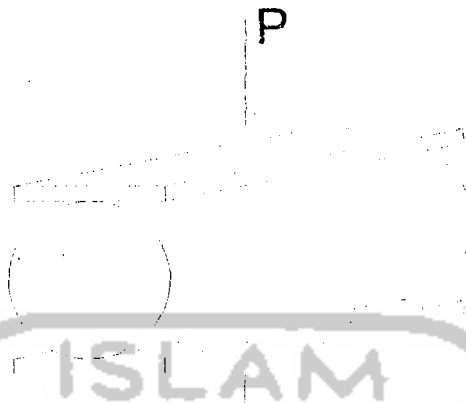
$$f_s = \frac{2P}{\pi LD} \dots \dots \dots (3.12)$$

Dengan:

P = beban maksimum yang terjadi

L = tinggi silinder

D = diameter silinder



Gambar 3.6 Penempatan beban pada pengujian kuat tarik belah.

### 3.10.3 Kuat Lentur Beton

Pengujian nilai kuat lentur ini bertujuan untuk mengetahui dengan menggunakan prosentase jumlah agregat halus yang berbeda dalam satu daerah yang sama, tetapi asal agregat halus dari sungai Krasak dan sungai Boyong apakah akan memperoleh hasil yang berbeda dengan umur beton yang dikehendaki 28 hari, pengujian dengan menggunakan mesin.

Tegangan maksimum pada pengujian kuat lentur dicapai pada bagian bawah balok. Kuat lentur beton dikenal sebagai *Modulus of Rupture*. Pengujian kuat lentur dipusatkan pada satu titik ditengah balok yang berukuran 100 x 100 x 500 (mm) untuk ukuran diameter agregat kasar maksimum 20 cm.

Besarnya *modulus of rupture* ( $f_r$ ) untuk pengujian dengan penempatan beban ditengah bentang dihitung sebagai berikut :

$$f_r = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots(3.13)$$

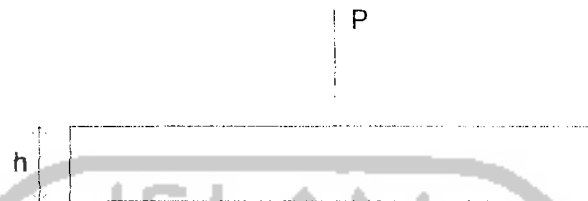
Dengan :

P = beban maksimum yang terjadi (N)

L = panjang antar tumpuan (mm)

$b$  = lebar balok (mm)

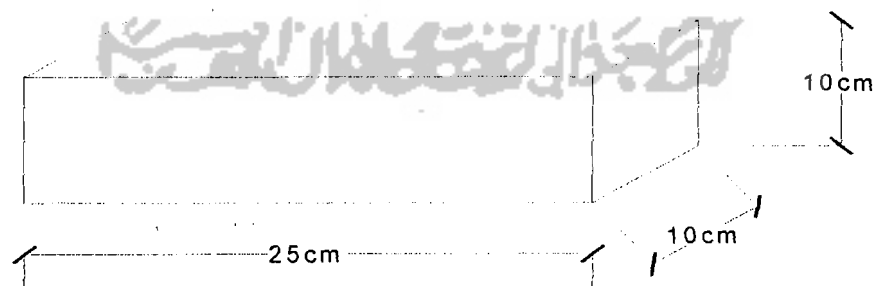
$h$  = tinggi balok (mm)

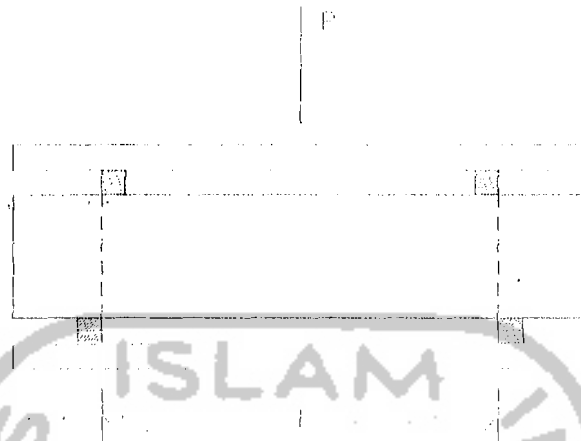


Gambar 3.7 Penempatan beban pada pengujian kuat lentur.

#### 3.10.4 Kuat Geser Beton

Kuat geser yang diuji adalah kuat geser suatu balok dengan ukuran 10 x 10 x 25 (cm) dengan menggunakan mesin sampai beton tersebut mencapai kekuatan maksimumnya, hingga beton tersebut retak atau patah. Umur beton yang dikehendaki adalah 28 hari. Dengan menggunakan agregat halus yang sama dalam satu daerah tetapi prosentase yang berbeda.





Gambar 3.8 Pengujian Kuat Geser Balok

$$f_{sh} = \frac{P}{2A} \dots (3.14)$$

Dengan :

 $f_{sh}$  = kuat geser balok (MPa)

P = beban tekan (kN)

A = luas permukaan bidang geser (cm<sup>2</sup>)