

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan campuran dari beberapa jenis material dasar yaitu agregat halus, agregat kasar, yang diikat oleh campuran air dan semen. Beton merupakan salah satu bahan yang umum digunakan sebagai bahan konstruksi pembangunan. Secara umum beton mengandung rongga udara, berdasarkan hal tersebut sifat agregat akan mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku beton. Sifat yang paling penting dari agregat adalah kekuatan hancur, ketahanan terhadap porositas, permeabilitas, serta terhadap penyusutan merupakan hal yang sangat penting dari agregat, yang nantinya dapat mempengaruhi ketahanan yang termasuk dari sifat mekanik beton. Sifat tahan suatu beton dapat dibedakan karena beberapa hal, diantaranya :

- Pengaruh cuaca
Misalnya pengembangan dan penyusutan yang diakibatkan karena pergantian musim
- Pengaruh zat kimia
Bahan yang terkandung pada air laut, dan zat limbah yang nantinya dapat merusak beton.

Beton yang digunakan untuk material struktur harus dapat menahan beban yang bekerja dan memiliki ketahanan tinggi selama jangka waktu pelayanan. Keunggulan beton diantaranya mampu untuk menahan gaya tekan, akan tetapi jika mengalami gaya tarik beton tidak mampu menahan. Untuk mengurangi kelemahan tersebut maka beton memerlukan tulangan baja.

2.1.1 Beton Normal

Beton yang memiliki berat isi berkisar 2200 sampai 2500 kg/m³ disebut beton normal. Karena proses pembuatan campuran betonnya mudah dikerjakan maka dalam pelaksanaan proyek biasanya perencana menggunakan jenis beton normal.

2.1.2 Beton Ringan (*Light Weight Concrete*)

Dibandingkan dengan berat volume beton normal, berat volume beton ini jauh lebih ringan yang biasanya digunakan pada struktur bangunan untuk meminimalkan bobot mati. Beton ringan cukup ekonomis untuk konstruksi, khususnya dalam proyek bangunan tinggi, misalnya untuk pembuatan elemen-elemen struktur beton yang ringan.

Berdasarkan klasifikasi unsur pembentuknya, beton ringan dibagi menjadi;

- Pemakaian agregat ringan dari hasil pembakaran.
- Beton ringan tanpa pasir, dimana agregat halus atau pasir pada campuran beton ini tidak digunakan yang dapat disebut juga sebagai beton non pasir (*Non Fines Concrete*) sehingga beton yang dihasilkannya juga memiliki rongga yang banyak dengan kuat tekan antara 7 – 14 Mpa.
- Membuat beton dengan memasukkan udara atau gas sehingga memiliki pori dengan berat isi yang dihasilkan antara 200-1440 kg/m³.

2.1.3 Beton Berat (*Heavy Weight Concrete*)

Jika berat isi volume beton melebihi 3200 kg/m³ jenis beton itu disebut juga beton berat. Beton ini biasanya digunakan untuk konstruksi khusus.

2.2 Komposisi Material Beton

Pada prinsipnya beton direkatkan oleh semen yang dicampur dengan air untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus. Karna adanya reaksi kimia campuran akan mengeras.

2.2.1 Semen Portland

Semen portland merupakan campuran kalsium, silika alumunium dan oksida besi yang terdapat kalsium sulfat sebagai bahan utamanya. Semen setelah tercampur dengan air secara kimiawi aktif sehingga berfungsi sebagai bahan pengikat hidrolis. Berdasarkan ASTM C-150 klasifikasi semen portland dibagi menjadi 5 tipe yaitu :

- a. Tipe I secara umum yang digunakan untuk beton yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- b. Tipe II biasanya digunakan untuk pencegahan adanya sulfat dari lingkungan dan menghasilkan panas hidrasi yang sedang, biasanya digunakan untuk pembentukan beton dengan volume besar.
- c. Tipe III mempunyai waktu pengerasan yang singkat (cepat mengeras), biasanya digunakan untuk perkerasan pada jalan.
- d. Tipe IV memiliki sifat panas hidrasi yang rendah, biasanya digunakan untuk pembentukan beton masal.
- e. Tipe V merupakan semen tahan terhadap sulfat yang dapat memberikan perlindungan terhadap korosi akibat pengaruh ion-ion garam yang terkandung pada air laut atau air tanah.

Semen portland terdiri dari bahan pembentuk yang memiliki senyawa dapat dilihat pada **Tabel 2.1** dibawah ini

Tabel 2. 1 Komposisi Semen

Nama Senyawa	Kadar (%)
Kapur (CaO)	60 - 67
Silika (SiO ₂)	17 - 25
Alumunium (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃)	0.5 - 6.0
Magnesia (MgO)	0.1 – 4
Sulfur Trioksida (SO ₃)	1 – 3
Alkali	0.2 – 1.3

2.2.2 Agregat

Agregat merupakan material yang butirannya kecul yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton . Agregat didefinisikan sebagai material granular yang diikat oleh semen yang ketika mengalami proses kimiawi (mengeras) menjadi beton.

Volume gregat yang terdapat pada campuran beton sekitar 60% - 80%. Agregat yang digunakan harus bergradasi dan agregat yang digunakan tidak boleh mengandung lumpur yang dapat mengurangi kekuatannya. Jika ukuran agregat bergradasi maka rongga didalam campuran beton sehingga pasta yang digunakan

untuk mengisi rongga menjadi lebih kecil dan membuat campuran beton menjadi ekonomis. Agregat memiliki kekuatan tekan yang sangat dibutuhkan pada beton, hal ini dikarenakan tegangan yang bekerja pada partikel agregat besar.

2.2.2.1 Agregat Halus

Agregat halus merupakan butiran mineral alami yang ukuran butirannya lebih kecil dari 4,75 (No.4 ASTM *sieve*) yang merupakan pengisi (*filler*) berupa pasir. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik karena dapat merusak campuran beton.

Pemeriksaan karakteristik agregat halus (ASTM) untuk beton ringan antara lain:

- a. Kadar Volume
- b. Presentase penyerapan
- c. Berat Jenis
- d. Kadar air
- e. Modulus kehalusan

2.2.2.2 Agregat Kasar

Agregat Kasar merupakan bahan pengisi (*filler*) campuran beton yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm. Dalam campuran beton agregat kasar mempunyai volume yang besar dibandingkan dengan agregat lainnya maka sangat mempengaruhi kekuatan akhir betonnya sendiri, maka dari itu agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik.

Pemeriksaan karakteristik agregat kasar untuk beton ringan, antara lain:

- a. Modulus kehalusan
- b. Kadar air
- c. Berat jenis kondisi SSD
- d. Presentase penyerapan

2.2.4 Air

Bahan pencampuran sangat dibutuhkan untuk proses terjadinya reaksi hidrasi serta untuk mempermudah pencetakan beton sesuai dengan bentuk yang direncanakan adalah air. Perbandingan jumlah air pada campuran beton harus

diperhatikan, karena semakin besar perbandingan jumlah air terhadap semen maka mutu kekuatan beton akan mengalami penurunan.

Kualitas air perlu diperhatikan, karena air pencampur bisa menimbulkan masalah pada beton, diantaranya:

- a. Tidak boleh mengandung lumpur.
- b. Tidak boleh mengandung garam.
- c. Tidak boleh mengandung *chlorida* melebihi 0.5 gram.

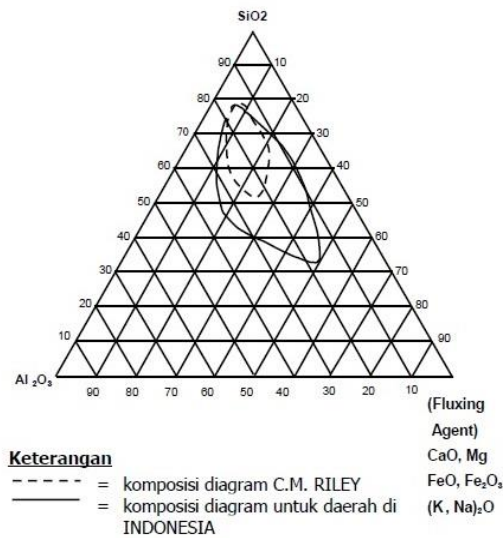
Bahan-bahan tersebut dapat mempengaruhi waktu pengikatan, penyusutan, keawetan, dan menurunkan kekuatan mutu beton.

2.3 Lempung Bekah (ALWA)

Agregat ringan merupakan agregat buatan atau disebut ALWA (*Aertifical Light Weight Aggregate*) biasanya digunakan untuk mengganti agregat kasar mempunyai berat yang ringan berkisar antara 450-750 kg/m³. ALWA selama ini dimanfaatkan sebagai pengganti agregat alami untuk pembuatan beton terutama beton ringan. Raju (1983) menyatakan bahwa sifat agregat ringan dapat mempengaruhi rancangan campuran adukan beton (*mix design*).

Agregat ringan buatan dihasilkan dari pengolahan lempung yang dipanaskan pada temperatur tertentu sampai mengembang atau membekah disebut juga lempung bekah, lalu setelah dingin lempung tersebut menjadi ringan dan keras. Pembuatan lempung bekah dimulai dengan pemecahan lempung, pengelompokan hasil pecahan, lalu dikeringkan, kemudian dilakukan pemanasan dengan temperatur 500°C – 1200°C yang dilakukan di dalam tungku.

Diagram C.M Riley menunjukkan batasan daerah bahwa lempung yang dibakar sampai membekah akan menghasilkan ALWA bermutu tinggi dan memiliki kuat hancur yang besar sehingga bisa digunakan untuk bahan campuran beton ringan.



Gambar 2. 1 Diagram C.M. Riley

2.4 Metode Rancangan Campuran Beton

Campuran beton merupakan perpaduan dari material komposit, dimana penyusunan sifat bahan dapat mempengaruhi hasil dari rancangan. Dalam menentukan proporsi rancangan beton dapat menggunakan beberapa metode diantaranya :

- Metode SNI (Standar Negara Indonesia)
- Metode ACI (*American Concrete Institute*)
- Metode Dreux

2.4.1 Perancangan Campuran Beton Metode SNI

2.4.1.1 SNI 03-3449-2002 (Beton Ringan)

Berikut merupakan langkah pembuatan rencana campuran beton ringan dengan menurut ketentuan SNI 03-3449-2002 ;

1. Tentukan kuat tekan beton ringan yang disyaratkan, f_c pada umur 28 hari
2. Hitung deviasi standar menurut ketentuan [SNI 03-3449-2002 ayat 3.3.1 butir 1]
3. Hitung nilai tambah menurut [SNI 03-3449-2002 butir 3.3.1 butir 2]
4. Hitung kuat beton ringan rata-rata yang ditargetkan menurut [SNI 03-3449-2002 ayat 3.3.3]

5. Menentukan jenis agregat [menurut ayat 3.3.3]

Tabel 2. 2 Jenis Agregat Ringan yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi

KONTRUKSI BANGUNAN	BETON RINGAN		JENIS AGREGAT RINGAN
	KUAT TEKAN Mpa	BERAT ISI KG/M3	
- Struktual : Minimum	17,24	1400	- Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau terak abu
Maksimum	41,36	1850	
- Struktual : Minimum Ringan	6,89	800	- Agregat ringan alam : skorria atau batu apung.
Maksimum	17,24	1400	
- Struktual : Minimum	-	-	- Perlit atau vemikulit
Sangat Ringan Sebagai Isolasi : Maksimum	-	800	

6. Menentukan berat isi beton ringan

7. Menentukan komposisi campuran beton

BERAT ISI					
1.870	1.850	1.820	1.720 (kg/m ³)	1.590	1.550
CAMPURAN ISI					
1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7
KADAR SEMEN					
860	684	565	461 (kg/m ³)	371	323
KADAR PASIR					
559	666	728	737 (kg/m ³)	719	727
JUMLAH AIR					
455	500	527	521 (kg/m ³)	499	501

Gambar 2. 2 Susunan Campuran Adukan I

BERAT ISI					
1950	1680	1630	1570	1520	1220
CAMPURAN (ISI)					
1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	
KADAR SEMEN KG/M ³					
730	567	459	400	358	308
KADAR PASIR KG/M ³					
471	546	570	590	589	594
JUMLAH AIR KG/M ³					
348	370	381	376	372	368

Gambar 2. 3 Susunan Campuran Adukan II

BERAT ISI						
KG/M ³	2 370	2 239	2 165	1 957	1 975	1 905
CAMPURAN (ISI)	1:2/1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8
KADAR SEMEN						
KG/M ³	697/509	404	314	254	224	192
KADAR PASIR						
KG/M ³	1395/1528	1616	1559	1526	1567	1539
JMLAH AIR						
KG/M ³	279/199	216	183	177	184	173

Gambar 2. 4 Susunan Campuran Adukan III

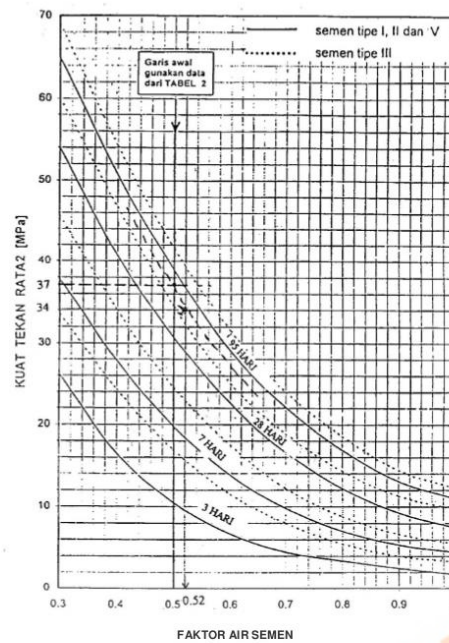
8. Koreksi proporsi campuran [pada ayat 3.3.5]

2.4.1.2 SNI 02-2834-2000 (Beton Normal)

Berikut merupakan langkah pembuatan rencana campuran beton ringan dengan menurut ketentuan SNI 02-2834-2000 ;

1. Tentukan kuat tekan beton yang direncanakan (Mpa)
2. Hitung deviasi standar [menurut butir 4.2.3.1]
3. Hitung nilai tambah (*Margin*) ; $Margin = 1,64 \times s$ [menurut butir 4.2.3.1 2]
4. Hitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan [menurut butir 4.2.3.1 3]
5. Tetapkan jenis semen
6. Tetapkan jenis agregat kasar dan agregat halus

7. Tentukan faktor air semen [menurut butir 4.2.3.2]



Gambar 2. 5 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen

8. Tetapkan faktor air semen maksimum [menurut butir 4.2.3.2 3]

Tabel 2. 3 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum

Persyaratan jumlah semen minimum dan factor air semen maksimum untuk berbagai Macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi ---	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air- Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel

9. Tetapkan slump rencana
10. Tetapkan ukuran agregat maksimum [menurut butir 4.2.3.4]
11. Tentukan nilai kadar air bebas [menurut butir 4.2.3.5]

Tabel 2. 4 Perkiraan kadar air brbas (kg/m^3)

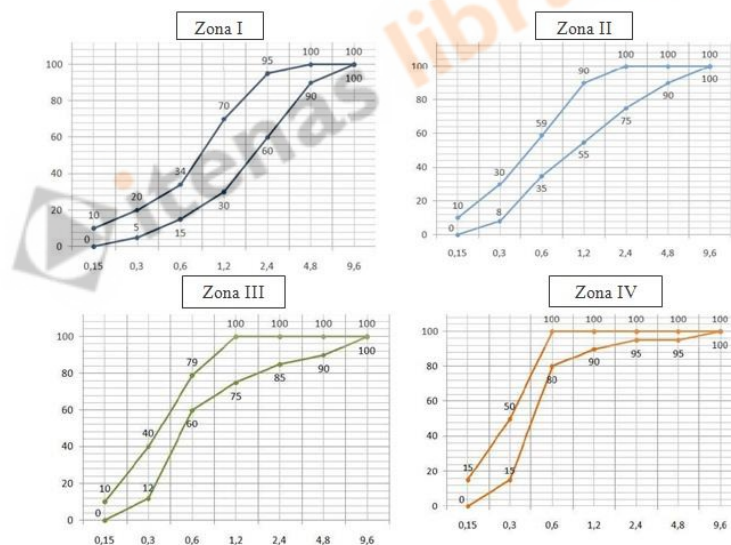
Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	---	---	---	---
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

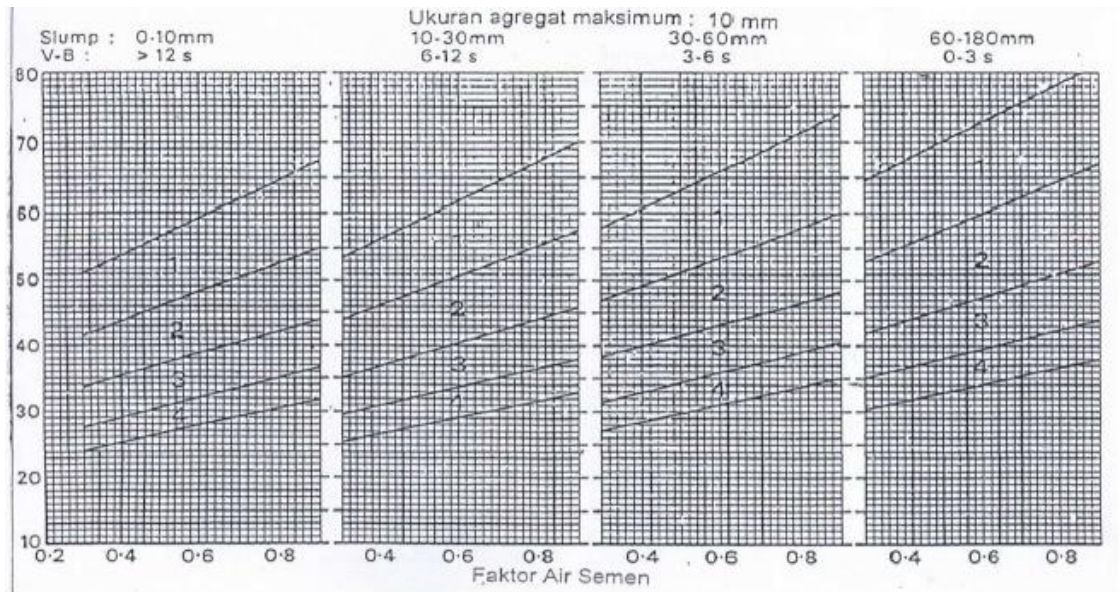
Catatan : Koreksi suhu udara :

Untuk suhu di atas 25°C , setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m^2 adukan beton.

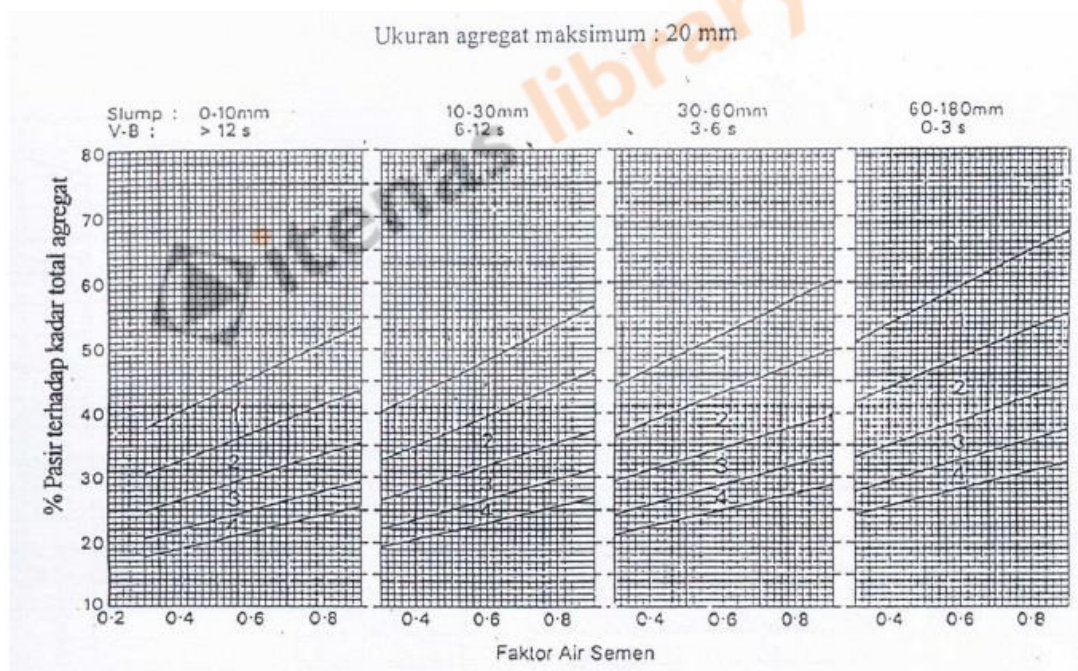
12. Hitung jumlah semen
13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan
14. Tentukan jumlah semen minimum [menurut butir 4.5.6]
15. Tentukan faktor air semen
16. Tentukan susunan butir agregat halus

**Gambar 2. 6** Batas gradasi pasir

17. Tentukan susunan agregat kasar



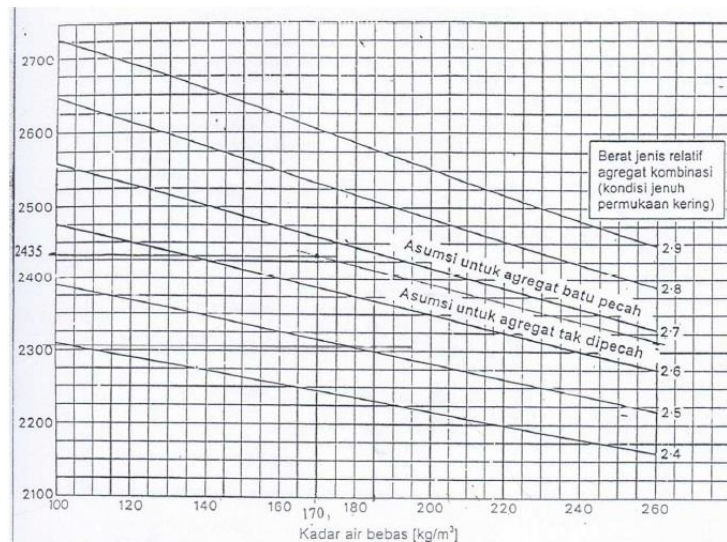
Gambar 2. 8 Persen pasir terhadap kadar total agregat ukuran (10mm)



Gambar 2. 7 Persen pasir terhadap kadar total agregat ukuran (20mm)

18. Tentukan Presentase pasir (agregat halus)

19. Berat isi Beton



Gambar 2. 9 Perkiraan berat isi beton basah

20. Hitung kadar agregat gabungan
21. Kadar agregat halus
22. Kadar agregat kasar

2.4.2 Perancangan Campuran Beton Metode ACI

Perancangan campuran pada metode ini mempertimbangkan sisi ekonomis. Metode ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang akan mempengaruhi pelaksanaan pada pekerjaan. Untuk pembuatan beton normal ACI memiliki tata cara perencanaan proporsi menggunakan ACI 211.1-91 sedangkan untuk beton ringan menggunakan ACI 211.2-98.

Berikut merupakan langkah pembuatan rencana campuran beton ringan dengan menurut ketentuan ACI 211.2-98 ;

1. Menentukan kuat tekan rencana
2. Menentukan nilai slump
3. Pemilihan ukuran maksimum agregat
4. Estimasi kebutuhan air pencampur dan kandungan udara

Tabel 2. 5 Kebutuhan Air dan Udara untuk *air-entrained concrete*

Approximate mixing water (kg/m ³) for indicated nominal maximum size of aggregate			
Slump (mm)	9.5 mm	12.5 mm	19 mm
25 to 50	181	175	166
75 to 100	202	193	181
120 to 150	211	199	187
Entrained air (%) for condition exposure			
Mild exposure	4.5	4	4
Moderate exposure	6	5.5	5
Extreme exposure	7.5	7	6

Tabel 2. 6 Kebutuhan Air dan Udara untuk non *air-entrained concrete*

Water (kg/m ³) of concrete for indicated nominal maximum aggregate size			
Slump (mm)	9.5 mm	12.5 mm	19 mm
25 to 50	208	199	187
75 to 100	228	217	202
120 to 150	237	222	208
Entrapped air (%)	3	2.5	2

5. Pemilihan ratio air semen (w/c)

Tabel 2. 7 Rasio Air Semen

Compressive strength at 28 days, Mpa	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air entrained concrete	Air-entrained concrete
42	0.41	
35	0.48	0.40
28	0.57	0.48
21	0.68	0.59
14	0.82	0.74

6. Perhitungan kebutuhan semen

7. Perkiraan volume agregat kasar

Tabel 2. 8 Volume Agregat Kasar Dalam Volume Beton

Nominal Maximum size of aggregate (mm)	Volume of dry-rodded coarse aggregate per unit volume of concrete for different fineness moduli of aggregate			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.58	0.56	0.54	0.52
12.5	0.67	0.65	0.63	0.61
19	0.74	0.72	0.70	0.68

8. Menghitung berat beton ringan keseluruhan berdasar tabel hubungan berat jenis agregat kasar terhadap kandungan udara dalam beton

Tabel 2. 9 Berat Beton Ringan (kg/m^3)

Spesifik Gravity Factor	Entrained air (%)		
	4	6	8
1	1596	1560	1519
1.2	1679	1643	1608
1.4	1768	1727	1691
1.6	1851	1810	1774
1.8	1934	1899	1857
2	2023	1982	1940

9. Menghitung kebutuhan pasir, dengan mengurangi berat beton dengan jumlah berat campuran lain.

2.4.3 Perancangan Campuran Beton Metode Dreux-Gorrise

Pada tahun 1979 Dreux Gorrise mengembangkan dari pernyataan (Bolomey) bahwa kuat tekan beton ditentukan oleh kekuatan mortar, rasio air-semen, dan sejumlah agregat. Dreux-Gorrise merumuskan perancangan beton

$$F_{28} = G \times F_{csemen} \times ((c/w) - 0.5)$$

F_{28} = kuat tekan rencana 28 hari

G = koefisien G

$\frac{c}{w}$ = cement water ratio

F_{csemen} = kuat tekan semen

Langkah-langkah pembuatan rencana campuran beton ringan dengan menggunakan metode menurut *Dreux-Corrised* ;

1. Menentukan kuat tekan rencana
2. Menentukan faktor G

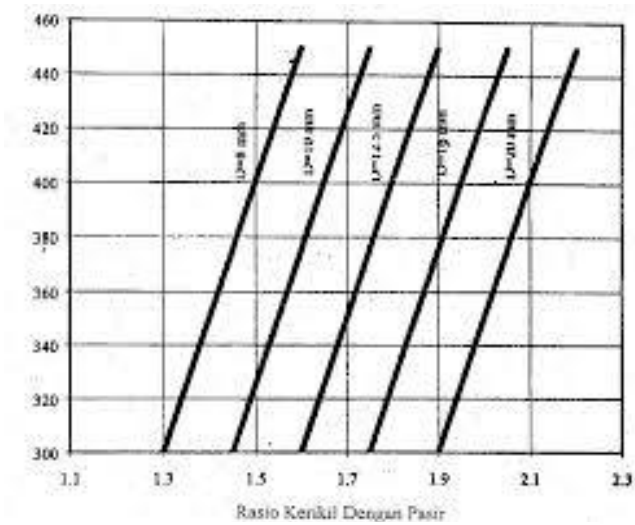
Tabel 2. 10 Nilai Koefisien G

Kualitas Agregat	Diameter Agregat Kasar (mm)		
	$D < 16$	$25 < D < 40$	$D > 63$
Baik Sekali	0.55	0.60	0.65
Normal	0.45	0.50	0.55
Dapat Dipakai	0.35	0.40	0.45

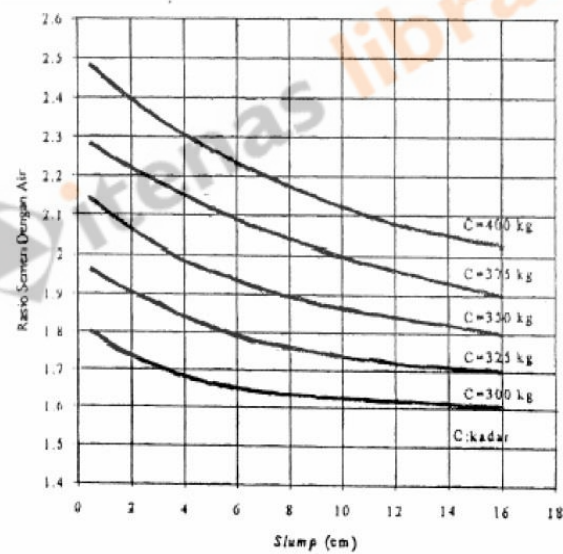
3. Menentukan nilai slump
4. Menghitung nilai perbandingan air (c/w)

$$F_{28} = G \times F_{csemen} \times ((c/w) - 0.5)$$

5. Menentukan jumlah semen/m³ dari kurva hubungan c/w dengan slump



Gambar 2. 10 Penentuan Kadar Semen Terhadap Nilai Slump



Gambar 2. 11 Penentuan Rasio ALWA dengan Pasir

6. Penentuan rasio ALWA dengan pasir

7. Menghitung nilai kemampatan

$$\epsilon = VA + VSd + Vpc = \frac{vs}{1000}$$

VA = Volume agregat kasar (liter)

VSd = Volume agregat halus (liter)

Vpc = Volume semen (liter)

Vs = Volume bahan padat (liter)

Tabel 2. 11 Koefisien Kemampatan Beton

Cara Pemampatan	Kekentalan Beton		
	Kental	Plastis	Encer
	Slump < 4 cm	Slump 4 - 8	Slump > 8
Dengan Tangan	-	-	0.80
Digetar Lemah	-	-	0.81
Digetar Normal	0.64	0.83	-
Digetar Keras	0.85	-	-

2.5 Sifat Beton

Beton memiliki sifat mekanik, berikut merupakan beberapa sifat mekanis dari beton ;

2.5.1 Kuat Tekan Beton

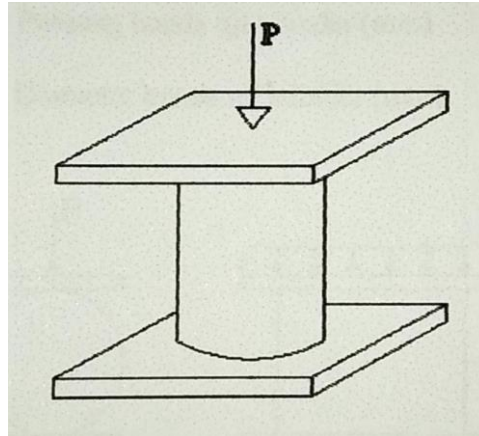
Pembebanan pada pengujian kekuatan tekan uniaksial termasuk jenis pebebanan statik monotonik dengan menggunakan standar ASTM C39 “ *Standard Test Method for Compressive Cylindrical Concrete Specimens* ” [ASTM, 1996]

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan

$$\sigma_{tk} = \frac{P}{A}$$

Dimana :

- σ_{tk} = Kekuatan tekan beton (Mpa)
- P = Beban Tekan (N)
- A = Luas penampang beton (mm²)



Gambar 2. 12 Pemodelan kuat tekan Beton

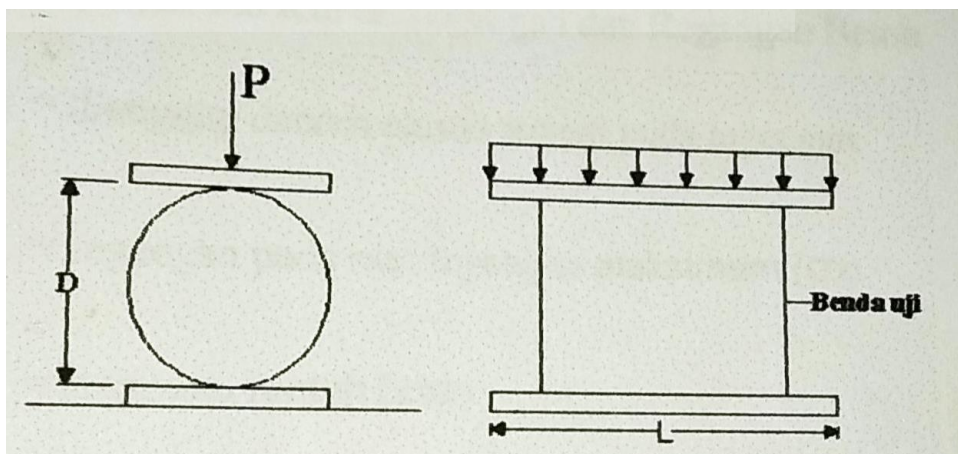
2.5.2 Kuat Tarik Beton

Pengujian kuat tarik berdasarkan standar ASTM C496-90 “*Standard Test Method for Splitting Tensile of Cylindrical Concrete Specimens*” kekuatan tarik beton dihitung berdasarkan persamaan :

$$\sigma_{tr} = \frac{2P}{\pi DL}$$

Dimana :

- σ_{tr} = Kekuatan tarik beton (Mpa)
- P = Beban tekan (N)
- D = Diameter penampang beton (mm)
- L = Panjang silinder beton (mm)



Gambar 2. 13 Pemodelan kuat tarik beton

2.6 Penelitian Sebelumnya

Ratna Widyawati telah melakukan penelitian beton ringan dengan menggunakan lempung bekah sebagai agregat kasar (ALWA). Metode campuran pada penelitian tersebut menggunakan Dreux Gorrisse dengan kuat tekan rencana 17.5 MPa. Saat umur beton 28 hari menghasilkan kuat tekan rata rata sebesar 20.45 MPa dan memiliki nilai slump $\pm 75-100$ mm.

Penelitian yang dilakukan Eko Riyawan dan Monita Olivia membuat beton ringan menggunakan agregat kasar lempung bakar dengan kuat rencana 20 MPa dengan metode perancangan SNI 03-3449-1994. Pada perancangan tersebut menggunakan variasi ukuran agregat 19 - 4.75 dan 25 - 4.75. Agregat dengan variasi 19 - 4.75 mm mendapatkan nilai kuat tekan beton tertinggi sebesar 22.63 MPa karna ukuran butirannya sehingga volume porinya kecil dan nilai kemampatannya tinggi. Mikro struktur beton mengandung retakan meskipun belum diberi beban, retakan tersebut terjadi karena adanya perbedaan perubahan volume dari pasta semen. Retakan tidak berubah selama tekanan terhadap beton masih dibawah 30% kekuatan beton.

Penelitian Peningkatan Mutu Agregat Ringan Buatan Untuk Beton Ringan Struktural yang dilakukan oleh Andriati Amir Husin dan Bambang Sughiharto dimaksudkan untuk mengembangkan agregat ringan untuk beton ringan struktural menggunakan bahan baku lempung mendapatkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari mencapai 26.03 MPa.