

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Sampel Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium struktur dan bahan JPTS FPTK UPI. Bentuk sampel penelitian ini berupa silinder dengan ukuran 100 mm x 200 mm. Ada 6 variasi penambahan limbah marmer, yaitu 10%, 12.5%, 15%, 17.5% dan 20%. Masing-masing sampel dibuat 3 sampel yang akan diuji pada umur 28, 45 dan 60 hari. Pada setiap variasi ada yang dirawat menggunakan air biasa, ada pula yang dilakukan perendaman menggunakan larutan sulfat. Total benda uji ada 90 buah. Target kuat tekan beton rencana ($f'c$) pada umur 28 hari adalah 25 Mpa.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen ini dilakukan dengan membandingkan beton rencana $f'c = 25$ Mpa dengan beton yang akan dieksperimen. Kedua beton tersebut akan diuji kuat tekannya setelah dirawat dengan air biasa dan juga setelah perendaman dengan bahan kimia $MgSO_4$ 5%. Dari pengujian tersebut, diharapkan dapat mengetahui pengaruh penambahan limbah marmer terhadap kuat tekan beton dan juga durabilitas beton terhadap lingkungan sulfat.

3.3. Bahan Baku dan Peralatan

3.3.1. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan sampel beton pada penelitian ini adalah:

1) Semen

Semen berfungsi sebagai bahan pengisi dan pengikat pada campuran beton. Pada penelitian ini, semen yang digunakan adalah Semen Tiga Roda kemasan 40 kg.

2) Agregat Kasar

Agregat kasar atau batu pecah yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm.

3) Agregat Halus

Agregat pasir yang digunakan adalah pasir beton galunggung dan sebelum melakukan pembuatan beton dilakukan penyaringan untuk menentukan zona pasir dan kandungan lumpurnya.

4) Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan JPTS FPTK UPI. Secara visual air tampak jernih, tidak berwarna dan tidak berbau.

5) Limbah Marmer

Limbah marmer yang digunakan adalah limbah marmer halus dari Desa Gunung Masigit, Kecamatan Cipatat.

6) Magnesium Sulfat

Magnesium sulfat yang digunakan adalah magnesium sulfat yang berbentuk bubuk diperoleh dari central kimia Jalan Gardujati no. 8 Bandung.

3.3.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1) Timbangan;

Memiliki kapasitas yang memadai dan dapat menimbang dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh.

2) Pemanas;

Oven yang memiliki ventilasi dan dapat mempertahankan temperatur contoh $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3) Wadah benda uji;

Wadah benda uji harus tahan panas dengan volume yang memadai sehingga dapat menampung benda uji agar tidak sampai jatuh/tumpah.

- 4) Pengaduk;
Pengaduk yang terbuat dari logam atau spatula dengan ukuran yang memadai sesuai ukuran benda uji.
- 5) Tongkat pematik;
Berdiameter 15 mm, panjang 60 cm, yang ujungnya bulat, terbuat dari baja tahan karat.
- 6) Mistar perata;
- 7) Sekop
- 8) Wadah baja;
Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dilengkapi dengan pegangan.
- 9) Satu set saringan;
37,5 mm (3"); 63,5 mm (2½"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); No.4 (4.75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm);
- 10) Alat Penggetar Ayakan
- 11) Gelas ukur 1000 cc
- 12) Timbangan dengan penggantung;
Timbangan harus dilengkapi dengan peralatan yang sesuai untuk menggantung wadah contoh uji di dalam air pada bagian tengah-tengah alat penimbang
- 13) Keranjang kawat;
Keranjang kawat 3,35 mm (Saringan no.6) atau yang lebih halus. Wadah harus dibuat agar dapat mencegah terperangkapnya udara ketika wadah ditenggelamkan.
- 14) Tangki air;
Sebuah tangki air yang kedap dimana contoh uji dan wadahnya akan ditempatkan dengan benar-benar terendam ketika digantung di bawah timbangan.

15) Piknometer;

Suatu labu dengan kapasitas 500 gram.

16) Cetakan kerucut;

Suatu cetakan yang terbuat dari baja berbentuk frustum kerucut (kerucut terpancung) dengan ukuran sebagai berikut: diameter bagian atas (40 ± 3) mm, diameter dalam bagian bawah (90 ± 3) mm dan tinggi kerucut terpancung (75 ± 3) mm.

17) Batang penumbuk;

Suatu batang pemadat dengan berat (349 ± 15) gram dan permukaan pemadat berbentuk lingkaran yang rata dengan diameter (25 ± 3) mm

18) Ember atau talam

19) Mesin pengaduk (Molen)

20) Kerucut Abram;

Kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, tinggi 305 mm. Cetakan dilengkapi dengan bagian injakan kaki dan untuk pegangan.

21) Penggaris atau alat ukur kerucut abram.

22) Pelat baja;

Pelat dasar harus cukup luas agar dapat menampung adukan beton setelah mengalami slump.

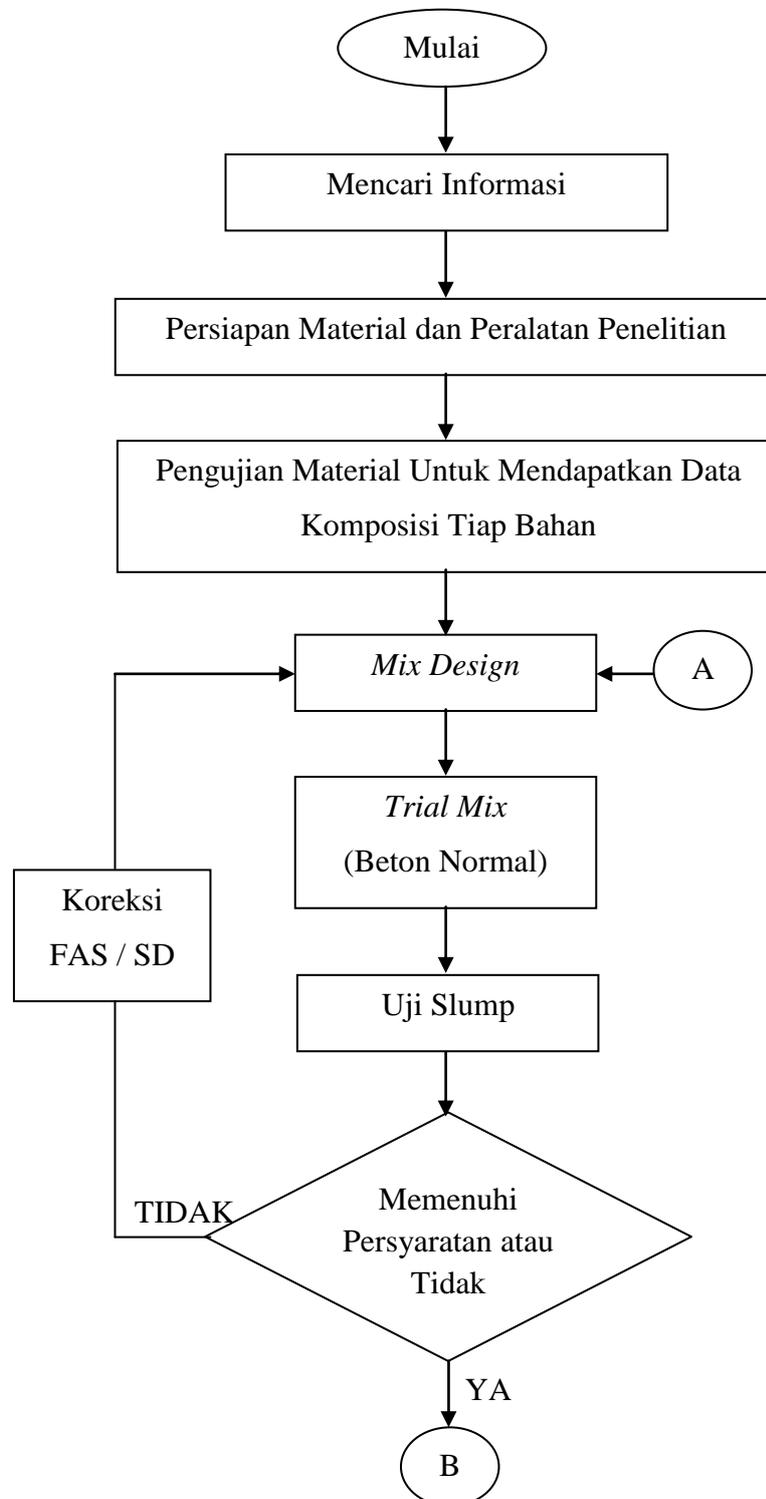
23) Cetakan Silinder 10 cm x 20 cm

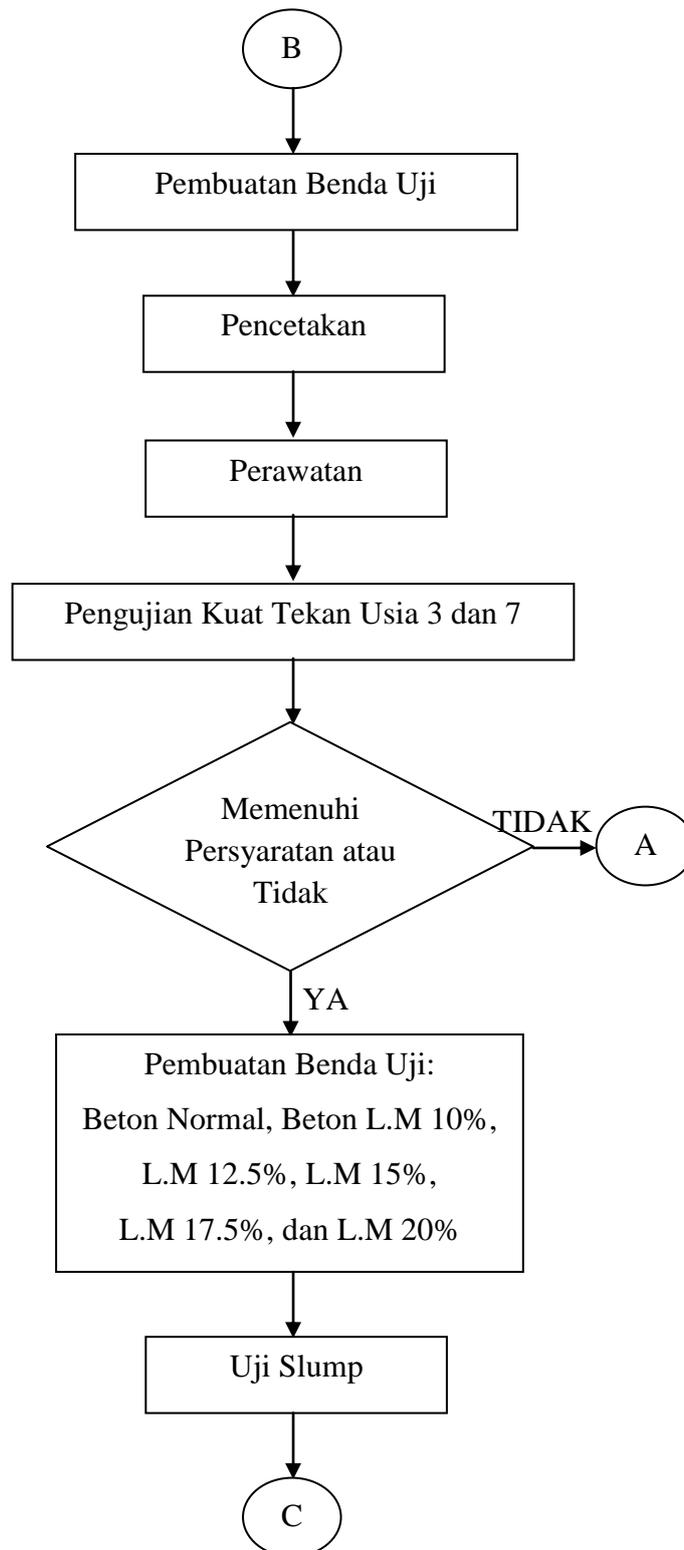
24) Palu Karet

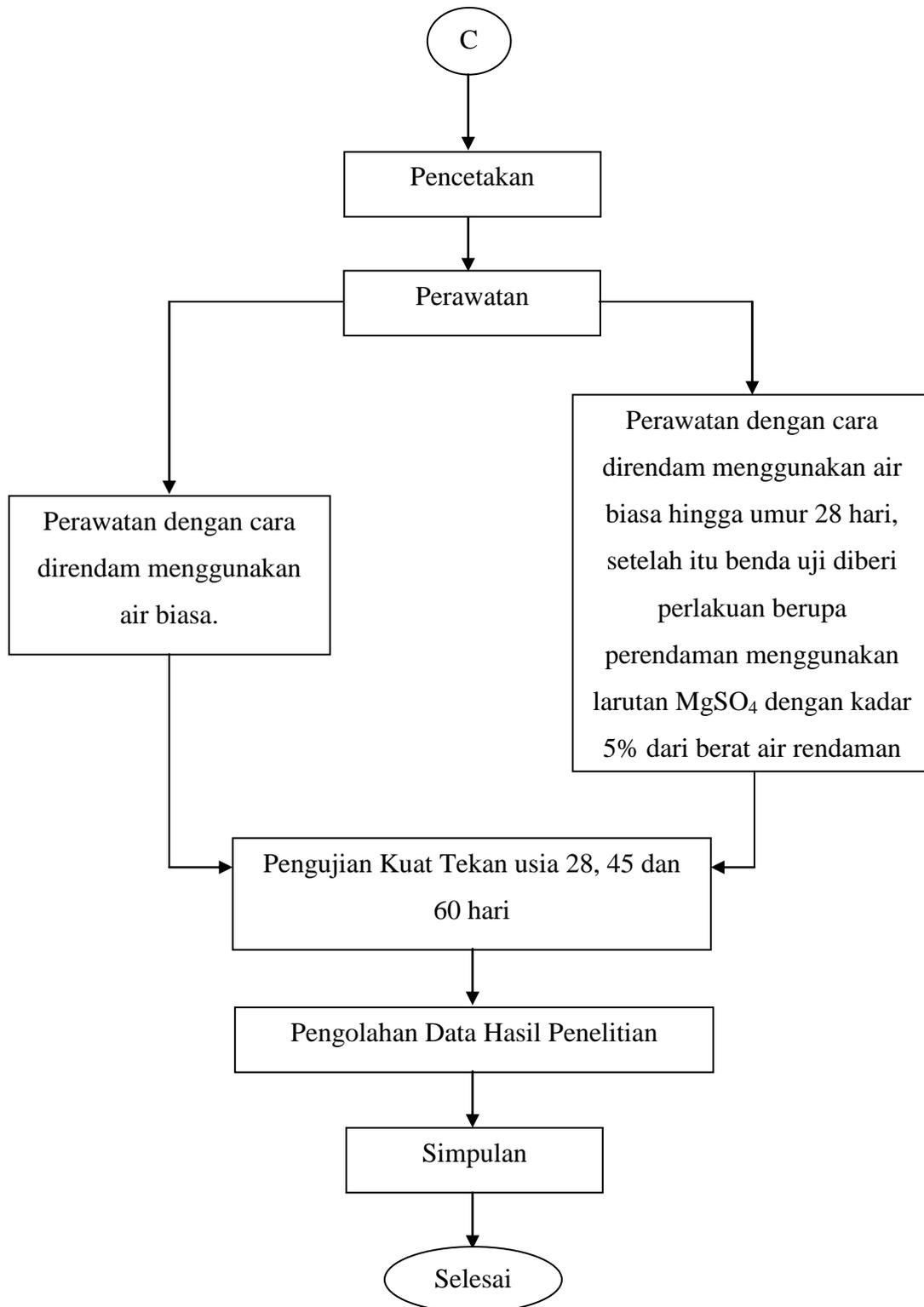
25) Mesin Kuat Tekan (*Universal Testing Machine*)

3.4. Alur Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:







Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.5. Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mendapatkan mix design. Pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam material tersebut sesuai dengan peraturan. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian material penyusun beton:

3.5.1. Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Pemeriksaan kadar air agregat bertujuan untuk perbandingan antara berat yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi takaran air dalam adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat di lapangan. Berdasarkan SNI 1971-2011 tentang uji kadar air agregat:

- a. Peralatan
 1. Timbangan dengan ketelitian 0,1% dari agregat
 2. Oven yang suhunya dapat diatur sampai $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$
 3. Talam yang cukup besar untuk pengeringan benda uji
- b. Bahan
 1. Pasir beton galunggung
 2. Kerikil
 3. Limbah Marmer
- c. Prosedur pengujian
 1. Timbang berat talam untuk pengeringan.
 2. Masukkan benda uji kedalam talam kemudian timbang berat talam beserta benda uji.
 3. Masukkan talam beserta benda uji kedalam oven sampai mencapai berat kering tetap.
 4. Setelah kering, timbang dan catat berat talam dan benda uji.
 5. Hitung kadar air agregat.

3.5.2. Pemeriksaan Berat Volume Agregat

Pemeriksaan berat volume agregat untuk perbandingan antara berat material kering dengan volume. Berdasarkan metode pelaksanaan konstruksi beton oleh Laboratorium Struktur dan Bahan JPTS FPTK UPI:

- a. Peralatan
 1. Timbangan dengan ketelitian 0,1% dari berat material
 2. Wadah tahan panas yang dengan kapasitas yang cukup besar
 3. Batang pemadat berdiameter 15 mm dan panjang 60 cm dengan ujung yang bulat
 4. Sekop
 5. Mistar perata
 6. Wadah silinder baja dilengkapi pegangan
- b. Bahan
 1. Pasir beton galunggung
 2. Kerikil
 3. Limbah Marmer
- c. Posedur pengujian
 1. Timbang dan catatlah berat wadah silinder.
 2. Masukkan agregat sepertiga dari wajah silinder tusuk 25 kali secara merata, lakukan hingga 3 kali pengisian.
 3. Ratakan permukaan wadah dengan mistar perata.
 4. Timbang dan catat berat wadah beserta isi.
 5. Hitung berat volume agregat.

3.5.3. Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat

Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat dilakukan untuk menentukan bagian butir (gradasi) agregat. Data distribusi butiran pada agregat diperlukan dalam perencanaan adukan beton. Berdasarkan SNI 03-1968-1990 tentang analisis saringan agregat halus dan kasar:

- a. Peralatan
 1. Timbangan dengan ketelitian 0,2% dari agregat yang akan diuji
 2. Saringan-saringan yang telah ditentukan ukuran lubangnya
 3. Oven dengan pengatur suhu (110 ± 5)° C
 4. Alat penggetar
 5. Talam atau wadah
 6. Kuas pembersih, sikat kuningan
- b. Bahan
 1. Pasir beton galunggung
 2. Kerikil
- c. Prosedur pengujian
 1. Bahan atau benda uji yang akan diuji oven sampai mencapai berat tetap.
 2. Masukkan benda uji ke saringan yang telah disusun. Susunan saringan dimulai dari saringan paling besar di atas hingga paling kecil di bawah.
 3. Getarkan mesin penggetar selama 15 menit.
 4. Pisahkan benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan.
 5. Timbang dan catat benda uji yang dipisahkan.
 6. Hitung analisis agregat saringan.

3.5.4. Pemeriksaan Kadar Lumpur pada Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur pada pasir bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur pada pasir. Kadar lumpur pasir harus kurang dari 5% sebagai ketentuan agregat untuk beton. Berdasarkan metode pelaksanaan konstruksi beton oleh Laboratorium Struktur dan Bahan JPTS FPTK UPI:

- a. Peralatan
 1. Gelas Ukur
 2. Alat pengaduk
- b. Bahan
 1. Pasir beton galunggung

- c. Prosedur pengujian
 1. Masukkan benda uji kedalam gelas ukur.
 2. Tambahkan air untuk melarutkan benda uji.
 3. Gelas ukur di kocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
 4. Diamkan gelas ukur sampai 24 jam di tempat yang rata agar lumpur mengendap.
 5. Kemudian catat tinggi pasir dan tinggi lumpur pada gelas ukur.
 6. Hitung kadar lumpur benda uji.

3.5.5. Analisis *Specific-Gravity* dan Penyerapan Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1969-2008 tentang uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar:

- a. Peralatan
 1. Timbangan dengan ketelitian 0,5 gr yang mempunyai kapasitas 5kg
 2. Oven yang suhunya dapat diatur sampai $(110 \pm 5)^{\circ} C$
 3. Keranjang besi
 4. Penggantung
 5. Handuk
- b. Bahan
 1. Kerikil
- c. Prosedur pengujian
 1. Benda uji direndam selama 24 jam
 2. Keringkan benda uji sampai kering permukaan (SSD) menggunakan handuk.
 3. Timbang benda uji yang sudah kering, hitung berat benda uji kondisi SSD.
 4. Benda uji dimasukkan kembali ke dalam keranjang dan direndam kembali. Goyang-goyang keranjang untuk melepas udara yang terperangkap. Kemudian dalam posisi terendam, timbang berat benda uji tersebut dan hitung berat benda uji dalam kondisi jenuh.

5. Benda uji dikeluarkan kembali dan keringkan, setelah kering timbang kembali benda uji dan hitung berat beda uji kondisi kering.

3.5.6. Analisis *Specific-Gravity* dan Penyerapan Agregat Halus

Berdasarkan SNI 1970-2008 tentang uji berat jenis dan penyerapan agregat halus:

a. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,5 gr yang mempunyai kapasitas min. 1kg.
2. Piknometer dengan kapasitas 500 gr
3. Cetakan kerucut pasir
4. Tongkat pemadat untuk kerucut pasir

b. Bahan

1. Pasir

c. Prosedur pengujian

1. Agregat halus dikeringkan dari berat jenuhnya sampai mencapai berat kering tetap.
2. Pasir dimasukkan kedalam cetakan kerucut “metal sand cone mold” kemudian dipadatkan dengan tongkat sampai 25 kali tumbukan. Lakukan sebanyak 3 kali pemadatan.
3. Setelah permukaan diratakan, angkat cetakan kerucut perlahan hingga diperoleh benda uji SSD jika butiran pasir yang ada pada cetakan longsor.
4. Masukkan benda uji 500 gr kedalam piknometer dan tambahkan air sampai 90% penuh. Goyang-gorag piknometer untuk mengeluarkan gelembung udara. Kemudian redam piknometer kedalam air selama 24 jam dan timbang piknometer yang berisi air dan benda uji.
5. Pisahkan benda uji dari piknometer kemudian keringkan sampai berat mencapai tetap atau selama 24 jam. Kemudian timbang berat benda uji yang telah kering.

6. Timbang dan catat berat piknometer berisi air sampai kalibrasi pada temperatur 74 F dengan ketelitian 0,1 gr.

3.6. Perencanaan Campuran Beton

Beton yang bertindak sebagai kelompok kontrol ditentukan memiliki kekuatan tekan (f'_c) sebesar 25 Mpa pada umur 28 hari. Perancangan beton ini mengacu pada SNI 03-2834-2000. Langkah-langkah pembuatan rencana campuran beton normal dilakukan sebagai berikut:

1. Tetapkan kuat tekan beton pada umur 28 hari.
2. Hitung deviasi standar menurut ketentuan tabel 3.1

Tabel 3.1 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji yang Tersedia kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi butir 4.2.3.1 1) di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari ($f'_c + 12$ Mpa);

3. Hitung nilai tambah menurut rumus:

$$M = 1,64 \times s_r ;$$

Dengan

M adalah nilai tambah

1,64 adalah tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

s_r adalah deviasi standar rencana

4. Hitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan menurut rumus berikut:

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

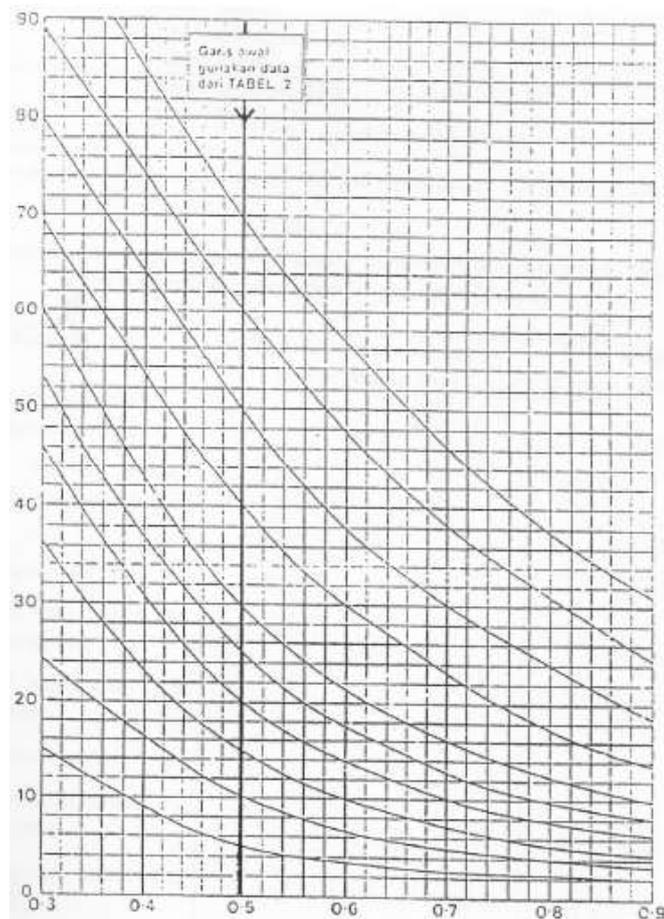
5. Tetapkan jenis semen;
6. Tentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan;
7. Tentukan faktor air semen menurut tabel 3.2 dan grafik 3.1 atau 3.2. Ikuti langkah-langkah berikut:
 - 1) Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan tabel 3.2, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai;

Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (Mpa) Beton Berdasarkan Jenis Semen, Jenis Agregat dan Umur Beton

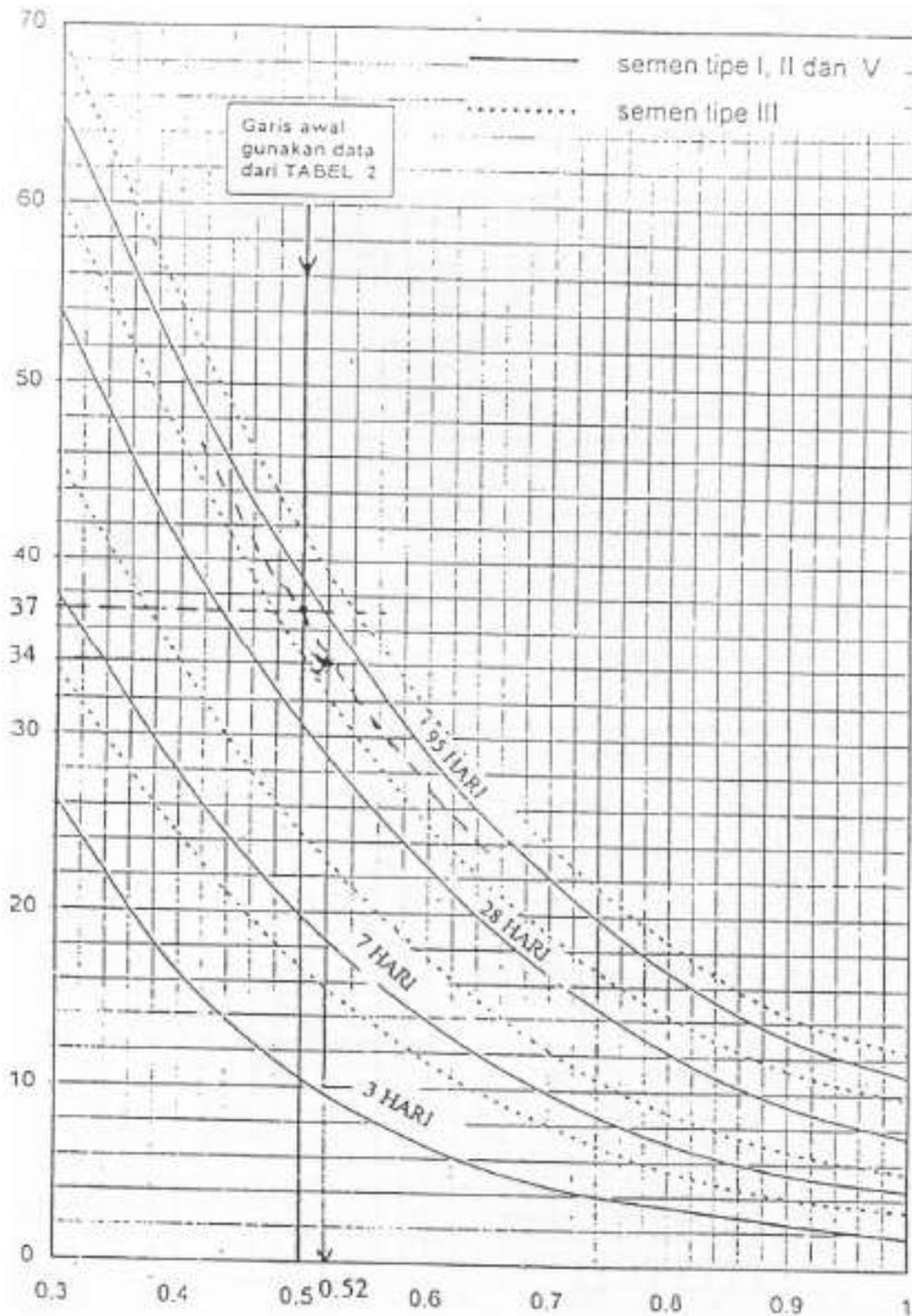
Jenis semen	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan Batu pecah	25 30	31 40	46 53	53 60	Kubus

- 2) Lihat grafik 3.1 untuk benda uji berbentuk silinder atau grafik 3.2 untuk benda uji berbentuk kubus;
- 3) Tarik garis tegak lurus ke atas melalui factor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada sub butir 1 di atas;
- 4) Tarik garis lengkung melalui titik pada sub butir 3 secara proporsional;
- 5) Tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan pada sub butir 4 di atas; Tarik garis tegak lurus ke bawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan faktor air semen yang diperlukan;

8. Tetapkan faktor air semen maksimum menurut tabel 3.3 (dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak). Jika faktor air semen yang diperoleh dari butir 7 di atas lebih kecil dari yang dikehendaki, maka dipakai yang terendah;
9. Tetapkan slump;
10. Tetapkan ukuran agregat maksimum;
11. Tentukan nilai kadar air bebas menurut tabel 3.4;
12. Hitung jumlah semen yang besarnya adalah kadar air bebas dibagi faktor air semen;
13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan;



Grafik 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(benda uji berbentuk kubus 150 x 150 x 150 mm)



Grafik 3.2 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(benda uji berbentuk silinder 150 mm, tinggi 300 mm)

Tabel 3.3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

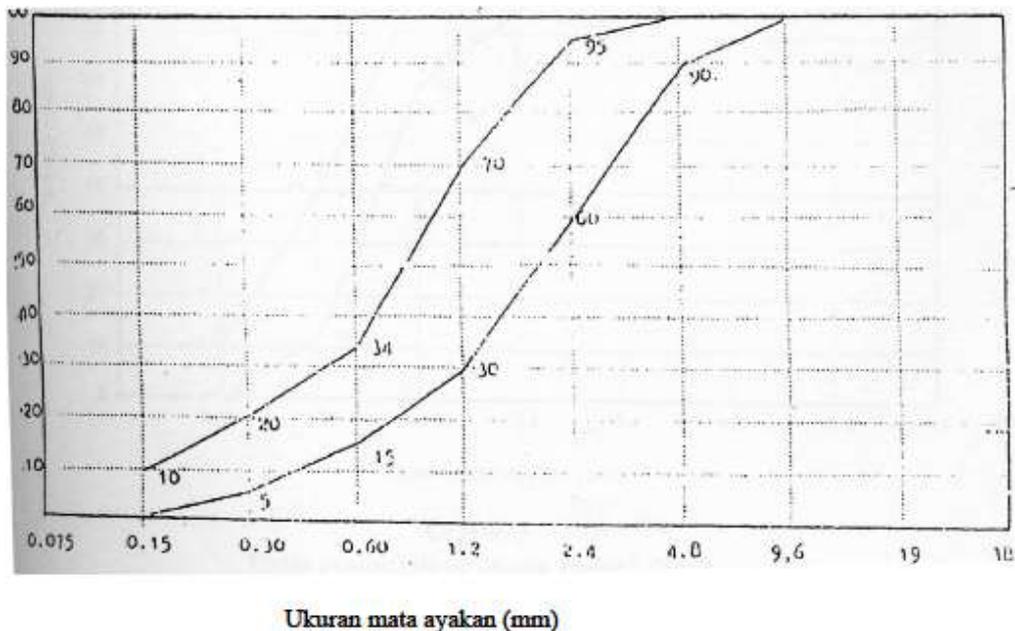
Lokasi ---	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan 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 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

Tabel 3.4 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

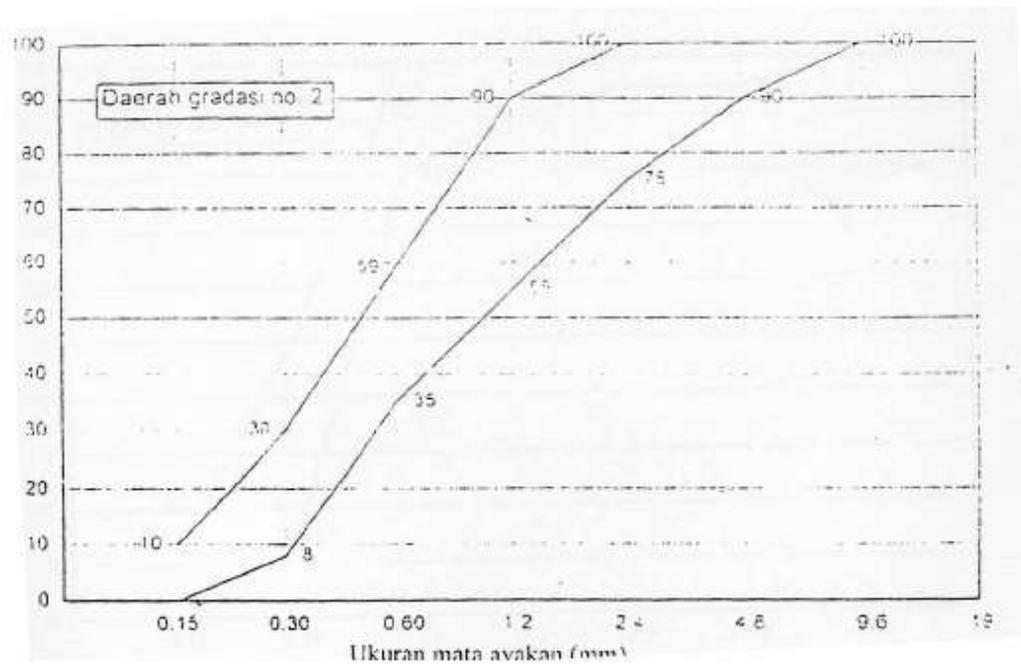
Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	---	---	---	---
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Catatan : Koreksi suhu udara :
Untuk suhu di atas 25 °C, setiap kenaikan 5 °C harus ditambah air 5 liter per m² adukan beton.

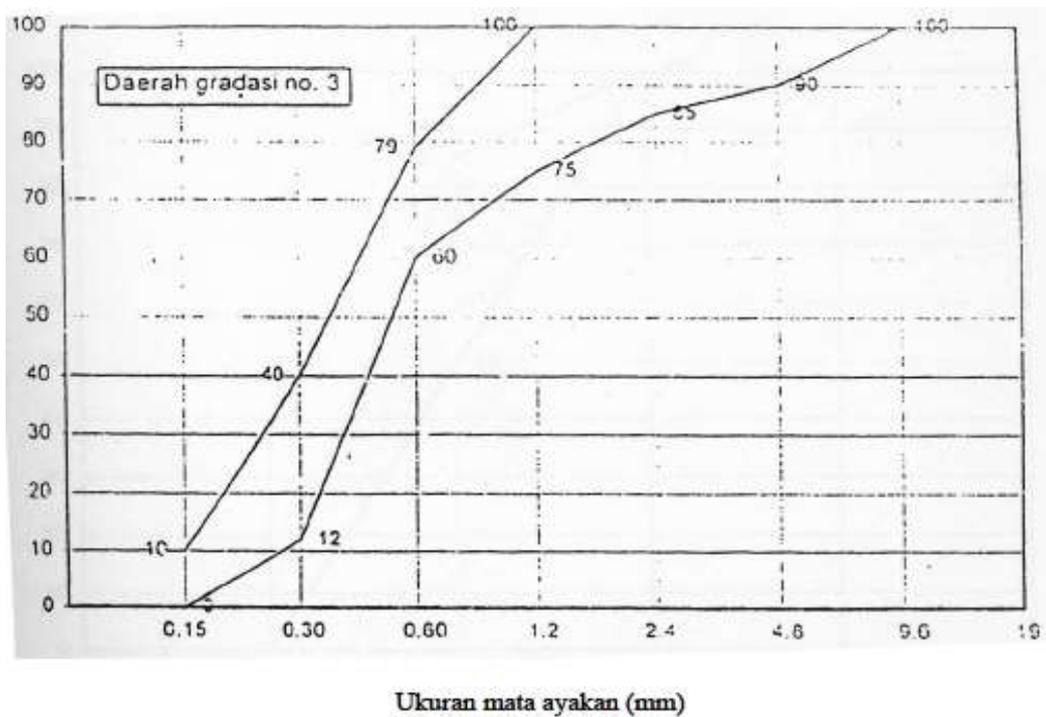
14. Tentukan jumlah semen semimum mungkin. Jika tidak lihat tabel 3.3 jumlah semen yang diperoleh dari perhitungan jika perlu disesuaikan;
15. Tentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan), maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali;
16. Tentukan susunan butir agregat halus (pasir kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayak menurut standar yang berlaku, maka kurva dari pasir ini dapat dibandingkan dengan kurva-kurva yang tertera dalam grafik 3.3 sampai dengan 3.6;



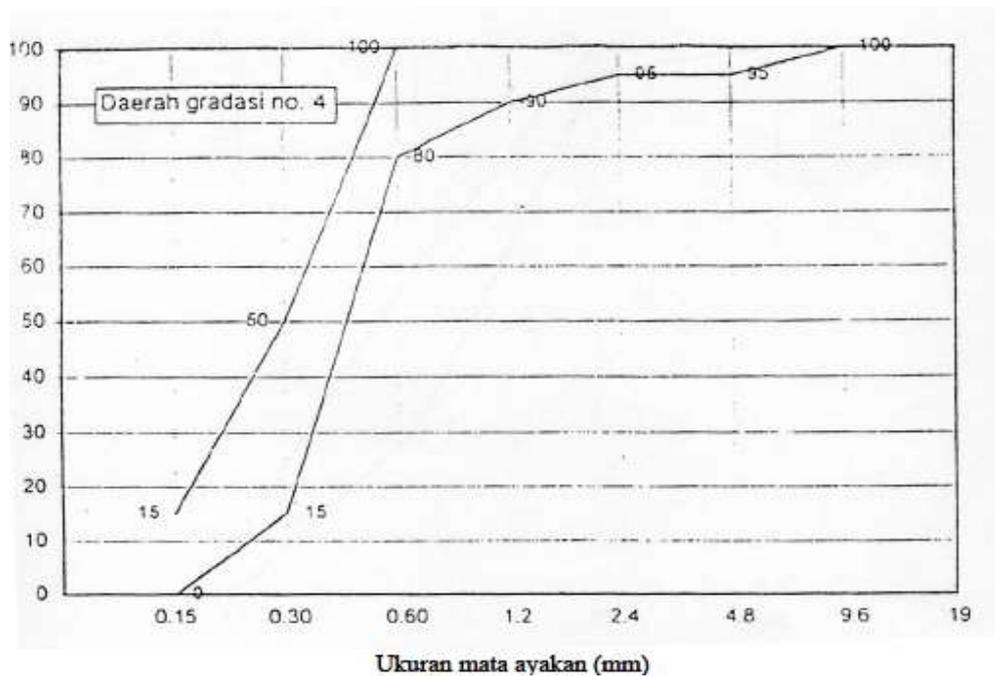
Grafik 3.3 Batas Gradasi Pasir (Kasar) No. 1



Grafik 3.4 Batas Gradasi Pasir (Sedang) No. 2

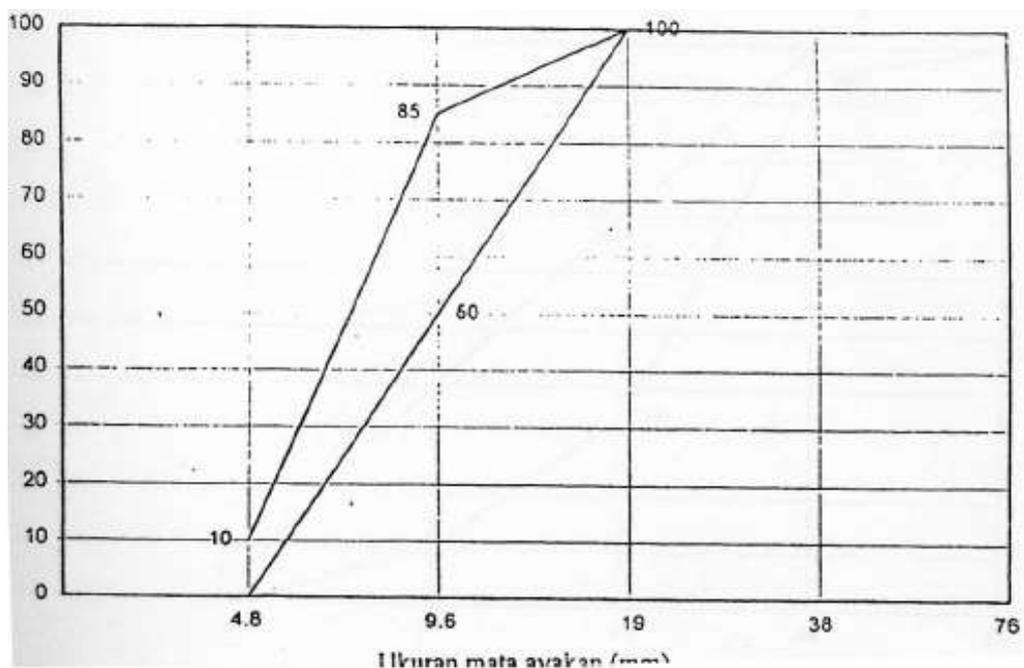


Grafik 3.5 Batas Gradasi Pasir (Agak Halus) No. 3

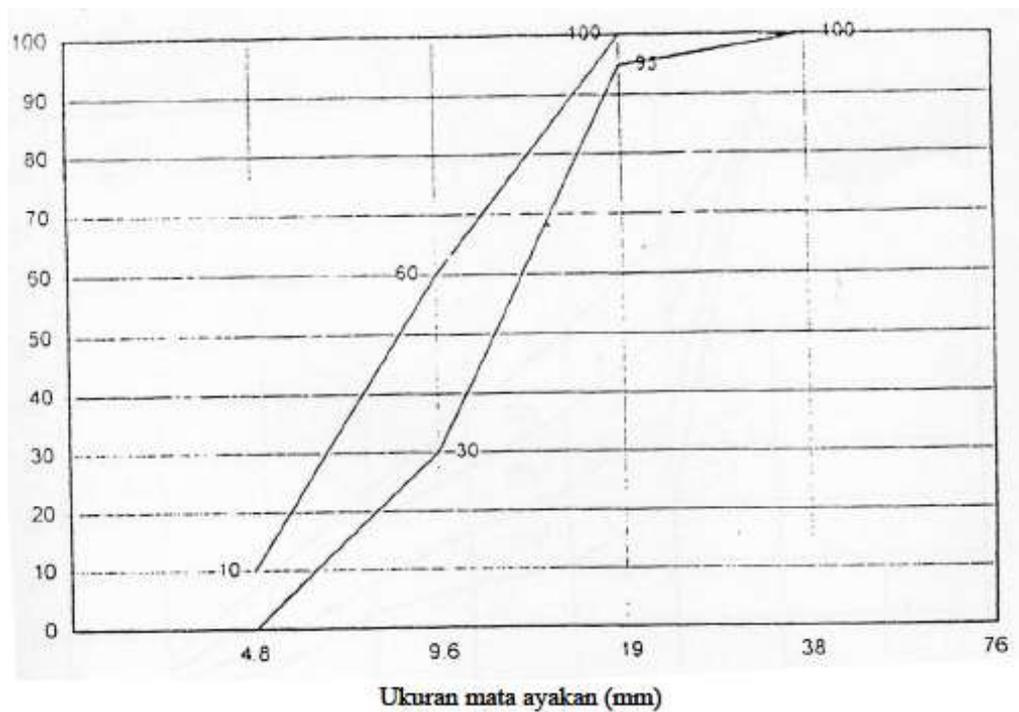


Grafik 3.6 Batas Gradasi Pasir (Halus) No. 4

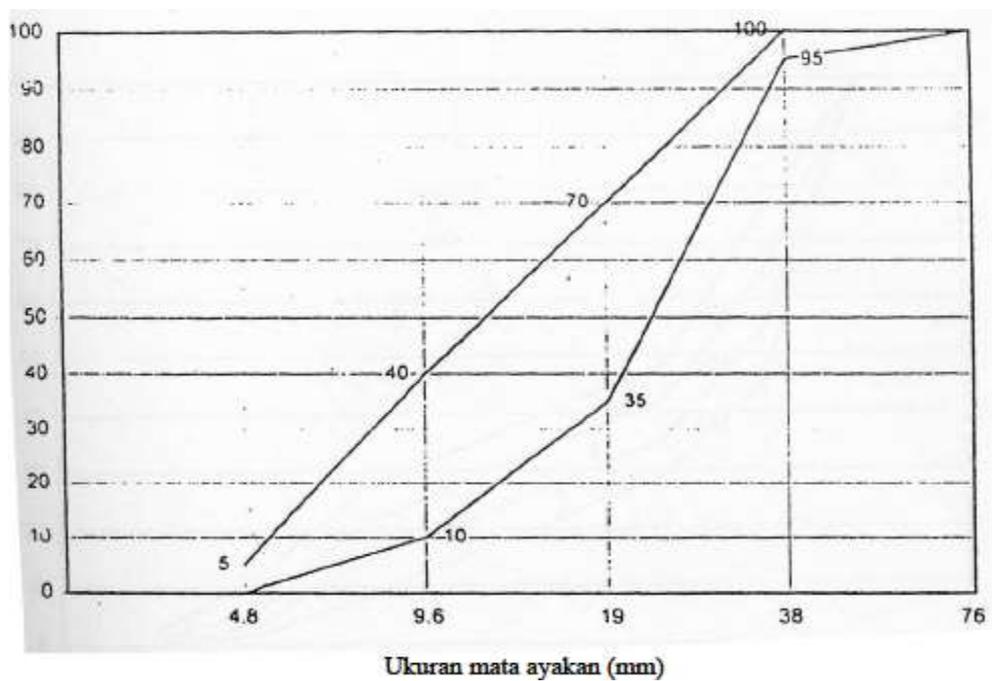
17. Tentukan susunan agregat kasar menurut grafik 3.7 sampai dengan 3.9;



Grafik 3.7 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 10 mm

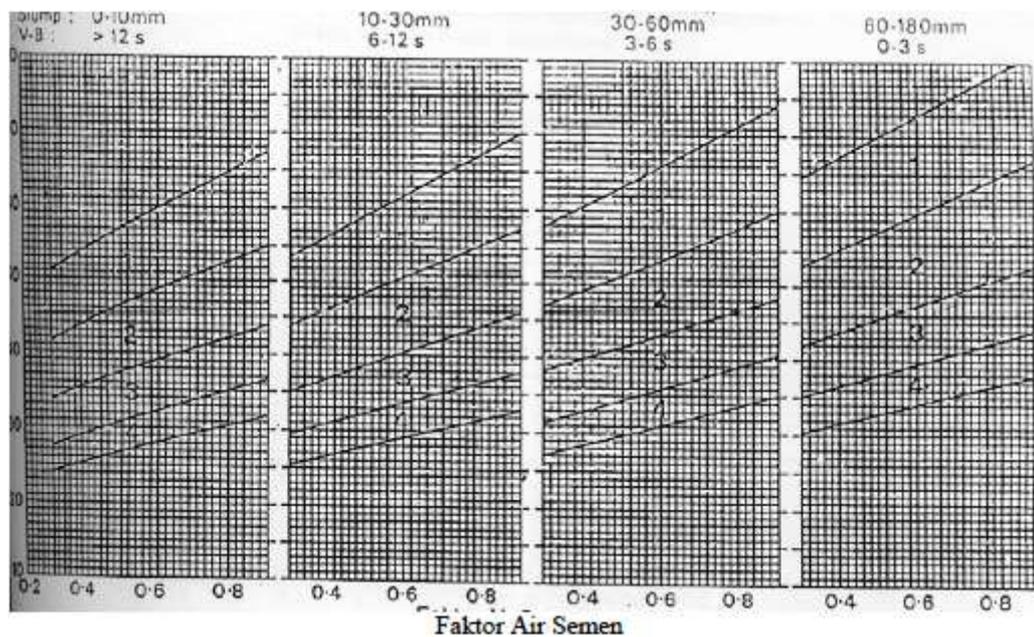


Grafik 3.8 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 20 mm

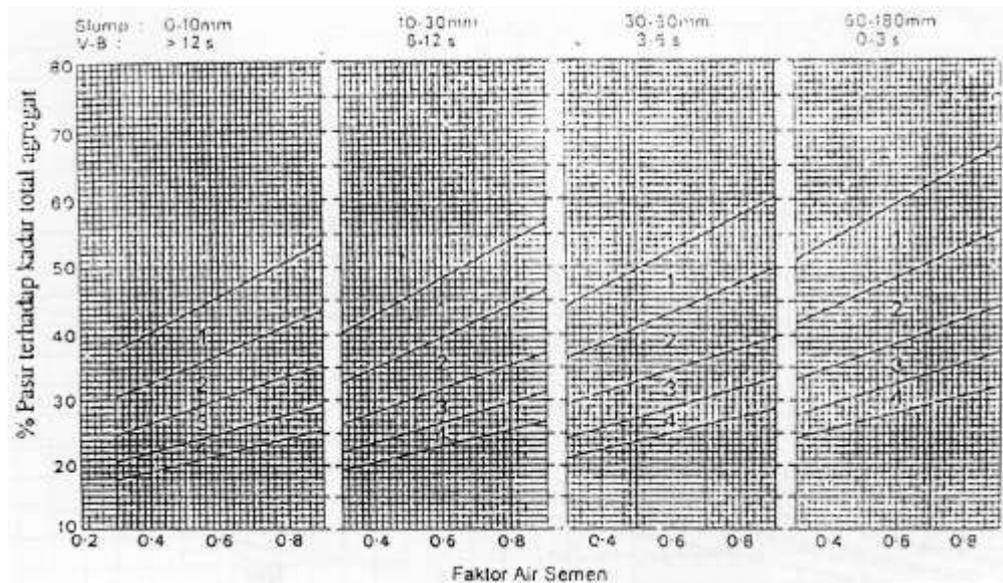


Grafik 3.9 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 40 mm

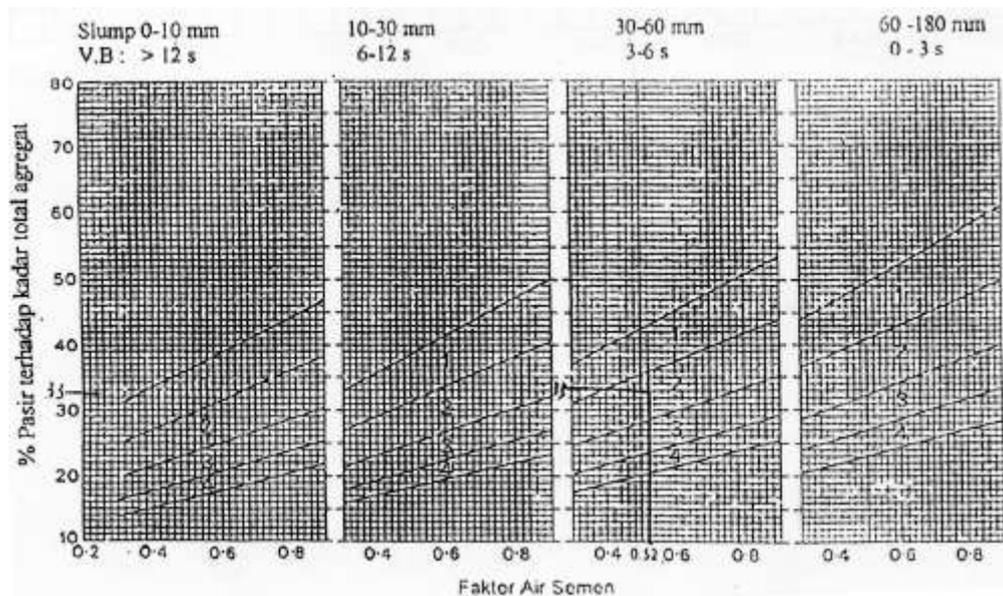
18. Tentukan persentase pasir dengan perhitungan atau menggunakan grafik 3.10 sampai dengan 3.12; dengan diketahui ukuran butir agregat maksimum menurut butir 10, slump menurut butir 9, faktor air semen menurut butir 15 dan daerah susunan butir 16, maka jumlah persentase pasir yang diperlukan dapat dibaca pada grafik. Jumlah ini adalah jumlah seluruhnya dari pasir atau fraksi agregat yang lebih halus dari 5 mm. Dalam agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia seringkali dijumpai bagian yang lebih halus dari 5 mm dalam jumlah yang lebih dari 5 persen. Dalam hal ini maka jumlah agregat halus yang diperlukan harus dikurangi;



Grafik 3.10 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan (Untuk ukuran butir maksimum 10 mm)



Grafik 3.11 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan (Untuk ukuran butir maksimum 20 mm)



Grafik 3.12 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan (Untuk ukuran butir maksimum 40 mm)

19. Hitung berat jenis relatif agregat yang ditentukan sebagai berikut:

1) Diperoleh dari data hasil uji atau bila tidak tersedia dipakai nilai di bawah ini:

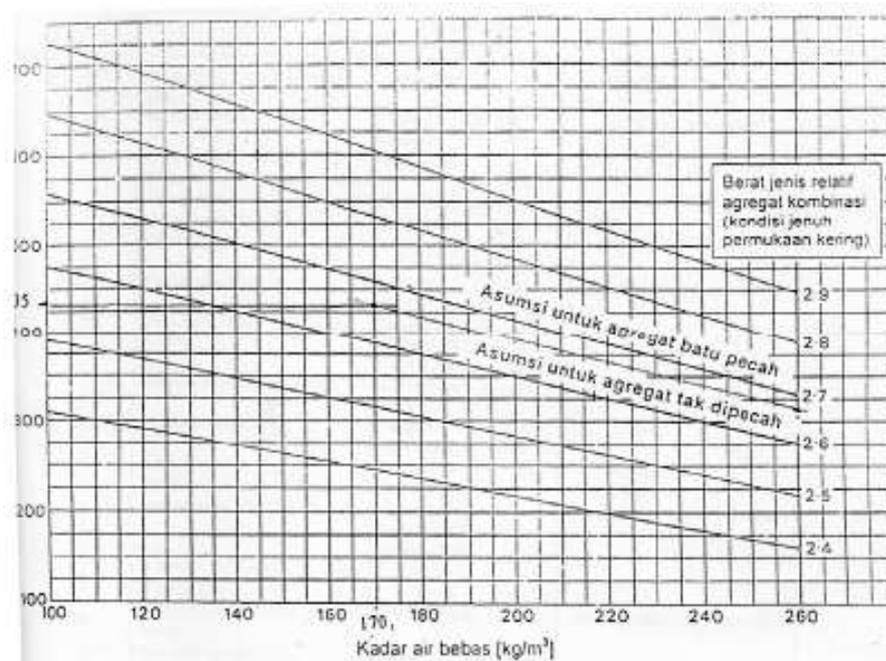
(1) Agregat tak dipecah = 2,5

(2) Agregat dipecah = 2,6 atau 2,7

2) Berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai berikut:

Berat jenis agregat gabungan = persentase agregat halus x berat jenis agregat halus + persentase agregat kasar x berat jenis agregat kasar

20. Tentukan berat isi beton menurut grafik 3.13 sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditemukan dari tabel 3.4 dan berat jenis relatif dari agregat gabungan menurut butir 18;



Grafik 3.13 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan

21. Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas;

22. Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persen pasir butir 18 dengan agregat gabungan butir 21;
23. Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan butir 21 dikurangi kadar agregat halus butir 22; dari langkah-langkah tersebut di atas butir 1 sampai dengan 23 sudah dapat diketahui susunan campuran bahan-bahan untuk 1 m³ beton;
24. Proporsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan;
25. Koreksi proporsi campuran menurut perhitungan berikut:

$$1) \text{ Air} = B - (C_k - C_a) \times C/100 - (D_k - D_a) \times D/100;$$

$$2) \text{ AH} = C + (C_k - C_a) \times C/100;$$

$$3) \text{ AK} = D + (D_k - D_a) \times D/100$$

Dengan:

B adalah jumlah air

C adalah jumlah agregat halus

D adalah jumlah agregat kasar

C_a adalah absorpsi air pada agregat halus (%)

D_a adalah absorpsi agregat kasar (%)

C_k adalah kandungan air dalam agregat halus (%)

D_k adalah kandungan air dalam agregat kasar (%)

26. Buatlah campuran uji, ukur dan catatlah besarnya slump serta kekuatan tekan yang sesungguhnya, perhatikan hal berikut:
 - 1) Jika harga yang didapat sesuai dengan harga yang diharapkan, maka susunan campuran beton tersebut dikatakan baik. Jika tidak, maka campuran perlu dibetulkan;
 - 2) Kalau slumpnya ternyata terlalu tinggi atau rendah, maka kadar air perlu dikurangi atau ditambah (demikian juga kadar semennya, karena faktor air semen harus dijaga agar tetap tak berubah);
 - 3) Jika kekuatan beton dari campuran ini terlalu tinggi atau rendah, maka faktor air semen dapat atau harus ditambah atau dikurangi sesuai dengan grafik 3.1 atau 3.2.

3.7. Pembuatan Benda Uji

3.7.1. Penimbangan Material

Berdasarkan SNI 2493-2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium :

- a. Alat
 - 1) Timbangan Digital
 - 2) Ember atau talam untuk bahan
- b. Bahan
 - 1) Agregat kasar
 - 2) Agregat halus
 - 3) Semen
 - 4) Limbah Marmer
 - 5) Air

- c. Tahapan

Menakar seluruh bahan yang digunakan dalam pembuatan beton sesuai dengan mix desain dan menimbang bahan-bahan tersebut agar sesuai dengan yang dibuat. Timbangan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah timbangan digital. Penggunaan timbangan digital dapat meminimalisasi kesalahan dan mengefektifkan waktu. Angka yang ditunjukkan pada timbangan digital mendekati akurat dalam penakaran material.

3.7.2. Pengadukan Beton Segar

Berdasarkan SNI 2493-2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium :

- a. Alat
 - 1) Mesin pengaduk (Molen)
 - 2) Ember atau talam
 - 3) Sekop

b. Bahan

- 1) Agregat kasar
- 2) Agregat Halus
- 3) Semen
- 4) Limbah Marmer
- 5) Air

c. Tahapan

Dalam pengadukan beton menggunakan alat mesin pengadukan campuran beton selama penelitian. Langkah-langkah dalam proses pengadukan menggunakan mesin pengadukan adalah sebagai berikut:

- 1) Siapkan agregat-agregat yang akan diaduk.
- 2) Masukkan agregat halus dan semen terlebih dahulu dan memutar mesin pengaduk.
- 3) Masukkan agregat kasar dan putar kembali sampai campuran merata.
- 4) Masukkan air sedikit demi sedikit sampai 50% air yang akan dimasukan dan putar mesin pengaduk dengan tenaga mesin.
- 5) Setelah campuran tersebut sudah kelihatan tidak kering lagi, masukkan sisa air berikutnya sedikit demi sedikit dan aduk kembali hingga rata sampai campuran terlihat homogen.

3.7.3. Pengujian *Slump*

Berdasarkan SNI 1972-2008 tentang cara uji slump beton:

a. Alat

- 1) Kerucut abram
- 2) Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 mm dan memiliki ujung berbentuk setengah bola.
- 3) Penggaris atau alat ukur kerucut abram
- 4) Pelat baja untuk alas tes slump

b. Bahan

- 1) Adukan beton

c. Tahapan

- 1) Basahi kerucut terpancung dan letakkan di atas pelat baja
- 2) Segera tuangkan adukan beton ke dalam kerucut sebanyak tiga lapis, tebal tiap lapisan sebanyak $\frac{1}{3}$ dari volume kerucut.
- 3) Padatkan tiap lapisan sebanyak 25 kali tusukan menggunakan batang penusuk. Untuk lapisan bawah membutuhkan penusukan secara miring dan membuat sekira setengah dari jumlah tusukan dekat ke batas pinggir cetakan, dan kemudian lanjutkan penusukan vertikal secara spiral pada seputar pusat permukaan. Padatkan lapisan bawah seluruhnya hingga kedalamannya. Penusukan pada lapisan tidak boleh menembus lapisan di bawahnya. Padatkan lapisan kedua dan lapisan atas seluruhnya hingga kedalamannya, sehingga penusukan menembus batas lapisan di bawahnya.
- 4) Setelah kerucut terisi penuh, ratakan permukaannya menggunakan batang penusuk.
- 5) Lepaskan segera kerucut dari beton dengan mengangkatnya ke arah vertikal secara hati-hati.
- 6) Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan horisontal.
- 7) Waktu pelaksanaan dari saat pengisian sampai pelepasan kerucut tidak boleh lebih dari 2,5 menit.
- 8) Letakkan kerucut disamping adukan beton.
- 9) Setelah terjadi penurunan pada beton, segera ukur penurunan yang terjadi dengan cara meletakkan batang penusuk di atas kerucut secara horisontal.
- 10) Apabila terjadi keruntuhan atau keruntuhan geser beton pada satu sisi atau sebagian massa beton, abaikan pengujian lalu buat pengujian baru dengan porsi lain dari contoh.

3.7.4. Penuangan dan Pematatan Beton Segar

Berdasarkan SNI 2493-2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium :

- a. Alat
 - 1) Cetakan silinder 10/20
 - 2) Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 mm dan memiliki ujung berbentuk bola
 - 3) Alat perata
 - 4) Palu Karet
- b. Bahan
 - 1) Adukan Beton
- c. Tahapan
 - 1) Masukkan adukan beton kedalam silinder. Pemasukkan adukan beton sebanyak 3 kali, 1/3 dari silinder.
 - 2) Setiap 1/3 lapisan lakukan penusukan seperti uji slump sebanyak 25 kali secara merata.
 - 3) Setelah tiap lapisan ditusuk, bagian luar silinder diketok menggunakan tongkat karet sebanyak 10 sampai 15 kali secara perlahan-lahan untuk merapatkan lubang akibat tumbukan dan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap.
 - 4) Setelah silinder terisi penuh, ratakan permukaannya dan bersihkan silinder.

3.7.5. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dapat dilakukan dengan perendaman dan juga dapat dengan menutupi beton dengan goni basah, namun harus diingat kalau menggunakan goni basah bahwa goni harus dijaga agar tetap basah. Perawatan benda uji dilakukan untuk menghindari penguapan air pada benda uji. Berdasarkan SNI 2493-2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium :

- a. 24 jam setelah pengecoran, cetakan silinder dibuka, lalu dilakukan perendaman terhadap sampel beton tersebut.
- b. Perendaman dilakukan sampai umur beton 28 hari didalam air biasa.
- c. Perendaman dilakukan juga pada air yang dicampur dengan $MgSO_4$ setelah perendaman dalam air biasa.
- d. Sebelum beton direndam terlebih dahulu diberi tanda atau kode penamaan pada permukaan sampel.

3.8. Pengujian Benda Uji

3.8.1. Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-1974-1990 tentang metode pengujian kuat tekan beton:

- a. Alat
 - 1) Timbangan digital
 - 2) UTM (*Universal Testing Machine*) sebagai alat penguji kuat tekan.
- b. Bahan
 - 1) Beton
- c. Tahapan
 - 1) Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian keringkan selama 24 jam.
 - 2) Menimbang dan mencatat berat sampel beton.
 - 3) Meletakkan sampel beton di atas alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan lakukan pembebanan secara perlahan.
 - 4) Lakukan pembebanan sampai beton hancur.
 - 5) Mencatat hasil beban maksimum.

3.8.2. Analisis Pengaruh Sulfat

Pengaruh sulfat pada beton dapat diketahui setelah dilakukan uji kuat tekan beton pada umur 28, 45 dan 60 hari. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Benda uji dibuat sebanyak 90 buah. Dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3.5 Rencana Pembuatan Benda Uji

Kadar Penambahan (%)	MgSO ₄					Jumlah
	0%			5%		
	28 hari	45 hari	60 hari	45 hari	60 hari	
0	3	3	3	3	3	15
10	3	3	3	3	3	15
12,5	3	3	3	3	3	15
15	3	3	3	3	3	15
17,5	3	3	3	3	3	15
20	3	3	3	3	3	15
Jumlah	18	18	18	18	18	90

- 2) Pada saat beton berumur 28 hari, dilakukan pengujian kuat tekan beton kepada 18 benda uji.
- 3) Kemudian pada 36 benda uji, diberi 5% MgSO₄ pada umur 29 hari.
- 4) Lakukan pengujian kuat tekan beton lagi pada beton yang berumur 45 hari sebanyak 18 benda uji dengan kadar MgSO₄ 0% dan 18 benda uji dengan kadar MgSO₄ 5%. Dan sisanya dilakukan pengujian setelah umur beton mencapai 60 hari.
- 5) Catat setiap hasil pengujian. Buat grafiknya agar memudahkan dalam menarik kesimpulan.