

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan membahas mengenai teori-teori, material, serta pengujian yang dilakukan pada penelitian beton agregat halus daur ulang.

3.2 Beton

Menurut SNI 2847-2013, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton normal mempunyai berat isi sebesar 2200 kg/m³ sampai 2500 kg/m³. Beton biasanya digunakan untuk membuat struktur bangunan, perkerasan jalan, jembatan penyebrangan, atau bendungan. Beton memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya. Kelebihan beton adalah sebagai berikut.

1. Harga beton relatif murah karena sebagian besar bahan penyusun beton merupakan bahan lokal, kecuali semen atau bahan tambah kimia.
2. Beton tahan terhadap temperatur yang tinggi sehingga aman jika terjadi kebakaran.
3. Biaya pemeliharaan yang cukup rendah.
4. Beton tahan terhadap serangan korosi yang disebabkan oleh kondisi lingkungan.
5. Beton dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
6. Kekuatannya tinggi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan struktur.
7. Adukan beton dapat disempatkan di permukaan beton lama yang retak dalam proses perbaikan, selain itu dapat dipompakan ke tempat yang posisinya sulit.

Beberapa kekurangan beton dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya ialah sebagai berikut.

1. Beton mempunyai bentuk yang sulit untuk diubah.
2. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.

3. Beton bersifat getas sehingga harus dihitung secara seksama agar setelah dikombinasikan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa.
4. Beton memiliki daya pantul suara yang besar.
5. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah sehingga mudah retak.

Pada perancangan dan pelaksanaan struktur beton perlu mengetahui sifat-sifat adukan beton segar maupun sifat-sifat adukan beton yang telah mengeras. Sifat-sifat yang dimaksudkan adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan, pada kuat tekan beton dipengaruhi oleh faktor air semen, jenis dan jumlah semen, umur beton, serta efisiensi dari perawatan (*curing*).
2. Keawetan (*durability*), merupakan kemampuan beton untuk bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan.
3. Kuat tarik, merupakan bagian terpenting dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu.
4. Rangkak (*creep*), didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun.
5. Susut (*shrinkage*), merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban.

3.3 Beton Daur Ulang

Beton agregat daur ulang merupakan beton dengan campuran menggunakan agregat yang berasal dari pecahan limbah yang sudah tidak dipakai lagi baik sebagai pengganti agregat halus maupun agregat kasar dengan kadar pemakaian tertentu. Pemanfaatan agregat daur ulang bertujuan untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang sama besarnya dengan kerusakan akibat tumpukan limbah beton di berbagai tempat serta dapat memberikan nilai ekonomis terhadap konstruksi. Agregat daur ulang mempunyai sifat yang berbeda dibandingkan dengan agregat alami, hal tersebut dikarenakan secara fisik agregat daur ulang berpotensi mempunyai retak

akibat tumbukan dengan mesin penghancur selama proses daur ulang. Agregat daur ulang dalam pembuatannya adalah agregat alami yang telah bercampur dengan semen serta mengalami reaksi hidrasi oleh penambahan air, sehingga mengakibatkan perbedaan sifat beton yang dihasilkan. Pada penelitian ini limbah beton yang digunakan sebagai agregat halus daur ulang berasal dari limbah beton kontrol pembangunan Fakultas Hukum dengan kuat tekan rerata sebesar 44,6263 MPa.

3.4 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Bahan penyusun beton mempunyai fungsi serta pengaruh yang berbeda-beda. Penjelasan untuk bahan penyusun beton adalah sebagai berikut.

3.4.1 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Semen yang digunakan untuk pekerjaan, harus disesuaikan dengan rencana kekuatan serta spesifikasi teknik yang diberikan.

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen *portland*. Menurut SNI 15-2049-2004 semen *portland* yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain. Sifat-sifat fisik semen *portland* yaitu sebagai berikut.

1. Kehalusan butir

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Butiran semen yang semakin halus akan mempercepat proses hidrasi semen serta dapat mengurangi terjadinya *bleeding* (air semen yang naik ke permukaan adukan beton segar), akan tetapi menambah kecenderungan betn untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

2. Kepadatan

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3,15. Pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,05 sampai 3,25. Variasi berat jenis tersebut akan berpengaruh pada proporsi semen dalam campuran.

3. Konsistensi

Konsistensi semen *portland* lebih berpengaruh banyak pada saat pencampuran awal, yaitu saat terjadi pengikatan sampai beton mengeras. Konsistensi yang terjadi bergantung pada rasio antara semen dan air serta aspek-aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi. Konsistensi mortar bergantung pada konsistensi semen dan agregat pencampurnya.

4. Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta disebut waktu ikat awal, sedangkan waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras disebut waktu ikat akhir. Pada semen *portland*, waktu ikat awal memerlukan waktu minimal 60 menit sedangkan untuk waktu ikat akhir maksimal 480 menit. Waktu ikat awal yang panjang diperlukan untuk transportasi, penuangan, pemadatan, dan penyelesaiannya.

5. Panas hidrasi

Panas hidrasi merupakan panas yang terjadi saat semen bereaksi dengan air. Jumlah panas yang dibentuk bergantung pada jenis semen yang dipakai serta kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas dapat mengakibatkan masalah timbulnya retakan pada saat pendinginan (terutama pada struktur beton mutu tinggi), maka dari itu perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan pada saat pelaksanaan.

6. Perubahan volume (kekekalan)

Kekekalan atau perubahan volume pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campuran serta kemampuan untuk mempertahankan volume setelah terjadi

pengikatan. Ketidakkekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna. Kapur bebas tersebut mengikat air dan kemudian menimbulkan gaya-gaya ekspansi.

7. Kekuatan tekan

Kekuatan tekan semen ditentukan dengan cara membuat benda uji mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Contoh semen yang diuji dicampur pasir silika dengan perbandingan tertentu, kemudian dibentuk menjadi kubus. Benda uji tersebut dirawat dengan jangka waktu tertentu dan diuji dengan cara ditekan sampai hancur untuk memperoleh perkembangan kekuatan tekan semen tersebut.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen *portland* dibedakan menjadi lima jenis yaitu sebagai berikut.

1. Tipe I, yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Tipe II, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Tipe III, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Tipe V, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.4.2 Agregat

Agregat merupakan material *granular*, seperti pasir, kerikil, batu pecah yang digunakan bersama-sama dengan media perekat untuk menghasilkan beton. Komposisi agregat dalam beton biasanya sangat dominan, menempati sekitar 60% sampai 70% dari berat campuran beton. Fungsi agregat dalam campuran beton adalah sebagai pengisi. Agregat berdasarkan ukurannya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan ukuran untuk agregat kasar serta

agregat halus adalah 4,75 mm (Standar ASTM). Penjelasan agregat kasar dan halus ialah sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Fungsi agregat halus ialah sebagai pengisi antara butir agregat kasar. Agregat halus harus memenuhi persyaratan batas-batas susunan butir yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Agregat Halus

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
9,6	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

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar,

Daerah II : Pasir agak kasar,

Daerah III : Pasir agak halus,

Daerah IV : Pasir halus.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam pembuatan beton berupa kerikil yang dihasilkan dari pembentukan alami (batuan) atau dari hasil pemecahan (batu pecah). Agregat kasar dinyatakan untuk batuan dengan ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm (Standar ASTM). Dalam penggunaan agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering), apabila agregat tersebut mengandung lebih dari 1% maka harus dicuci terlebih

dahulu serta tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang relatif alkali. Agregat kasar harus memenuhi persyaratan batas-batas susunan butir yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Agregat Kasar

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan (%)		
	Ukuran besar butir agregat (mm)		
	Maksimum 40	Maksimum 20	Maksimum 10
38,1	95-100	100	-
19,0	37-70	95-100	100
9,5	10-40	30-60	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

3. Agregat Halus Daur Ulang

Agregat halus daur ulang merupakan bahan penyusun beton yang diperoleh dari hasil olahan limbah yang dimanfaatkan kembali sebagai pengganti sebagian atau seluruh agregat halus alami. Agregat halus daur ulang pada penelitian ini menggunakan limbah beton kontrol pada Proyek Pembangunan Fakultas Hukum, Universitas Islam Indonesia. Cara mendapatkan agregat halus daur ulang dengan bantuan mesin pemecah batu.

3.4.3 Air

Air dipergunakan pada pembuatan beton untuk membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton serta memicu terjadinya proses kimiawi semen. Air yang dapat diminum pada umumnya bisa digunakan sebagai bahan campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, jika dipakai dalam campuran beton dapat menyebabkan penurunan kualitas beton yang dihasilkan dan juga akan mengubah sifat-sifat beton yang dibuat.

Air yang berlebihan pada campuran beton akan mengakibatkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan

menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

3.5 Pengujian Material

Pengujian material diperlukan untuk mendapatkan campuran beton yang baik. Pengujian material bertujuan agar agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat memenuhi persyaratan. Dalam pemenuhan persyaratan pemeriksaan material, akan dilakukan beberapa pemeriksaan pada material agregat kasar dan halus.

3.5.1 Pengujian material agregat halus

Pengujian material agregat halus yang akan dilakukan adalah pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan berat volume, modulus halus butir, serta kadar lumpur agregat halus. Penjelasan dan persamaan yang digunakan untuk pengujian material agregat halus yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus. Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering oven dengan air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suatu suhu tertentu. Perhitungan berat jenis curah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.1 berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B+B_u-B_t)} \quad (3.1)$$

Keterangan:

B_k = Berat benda uji kering oven (gram),

B = Berat piknometer berisi air (gram),

B_t = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram),

B_u = Berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan (gram).

Berat jenis jenuh kering permukaan ialah perbandingan antara berat agregat pada keadaan jenuh kering permukaan dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suatu suhu tertentu. Perhitungan berat jenis jenuh kering permukaan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.2 berikut.

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{B_u}{(B+B_u-B_t)} \quad (3.2)$$

Keterangan:

B_u = Berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan (gram),

B = Berat piknometer berisi air (gram),

B_t = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram).

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering oven dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suatu suhu tertentu. Perhitungan berat jenis semu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.3 berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B+B_k-B_t)} \quad (3.3)$$

Keterangan:

B_k = Berat benda uji kering oven (gram),

B = Berat piknometer berisi air (gram),

B_t = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram).

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, serta dinyatakan dalam persen. Perhitungan penyerapan air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.4 berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(B_u-B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

Bu = Berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan (gram),

Bk = Berat benda uji kering oven (gram).

2. Pemeriksaan berat volume agregat halus

Berat volume agregat halus merupakan perbandingan antara berat agregat halus dengan volume dalam keadaan kering. Pemeriksaan berat volume dilakukan baik keadaan gembur maupun keadaan padat, sehingga dapat mengetahui perbedaan berat volume keduanya. Perhitungan berat volume agregat halus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.5 berikut.

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{V} \quad (3.5)$$

Keterangan:

W = Berat benda uji dalam cetakan (gram),

V = Volume benda uji (cm³).

3. Modulus halus butir

Modulus halus butir merupakan cara yang digunakan untuk mengetahui nilai kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Modulus halus butir selain menjadi ukuran kehalusan butir juga dapat untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil. Perhitungan modulus halus butir dapat dihitung menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.6.

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.6)$$

4. Kadar lumpur agregat halus

Lumpur dalam beton merupakan partikel yang lolos ayakan dengan diameter lubang ayakan 0,075 mm. Kadar lumpur dalam agregat dapat mempengaruhi terhadap kualitas agregat yang akan digunakan. Persyaratan kadar lumpur yang diperbolehkan dalam suatu agregat tidak melebihi 5% untuk mendapatkan kualitas material yang baik. Jika kadar lumpur melebihi 5% maka harus dicuci

terlebih dahulu. Perhitungan kadar lumpur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.7 berikut.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3.7)$$

Keterangan:

W_1 = Berat agregat kering oven (gram),

W_2 = Berat agregat kering oven setelah dicuci (gram).

3.5.2 Pengujian material agregat kasar

Pengujian material agregat kasar yang akan dilakukan adalah pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan berat volume, modulus halus butir, serta pengujian abrasi/keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles*. Penjelasan dan persamaan yang digunakan untuk pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat kasar. Pengujian dilakukan terhadap agregat kasar yang tertahan pada saringan berdiameter 4,75 mm (saringan no. 4). Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering oven dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suatu suhu tertentu. Perhitungan berat jenis curah dapat dihitung menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.8 berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.8)$$

Keterangan:

B_k = Berat benda uji kering oven (gram),

B_j = Berat benda uji jenuh kering permukaan (gram),

B_a = Berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (gram).

Berat jenis jenuh kering permukaan ialah perbandingan antara berat agregat pada keadaan jenuh kering permukaan dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suatu suhu tertentu. Perhitungan berat jenis jenuh kering permukaan dapat dihitung menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.9 berikut.

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.9)$$

Keterangan:

B_j = Berat benda uji jenuh kering permukaan (gram),

B_a = Berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (gram).

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering oven dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suatu suhu tertentu. Perhitungan berat jenis semu dapat dihitung menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.10 berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3.10)$$

Keterangan:

B_k = Berat benda uji kering oven (gram),

B_a = Berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (gram).

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, serta dinyatakan dalam persen. Perhitungan penyerapan air agregat dapat dihitung menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.11 berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.11)$$

Keterangan:

B_j = Berat benda uji jenuh kering permukaan (gram),

B_k = Berat benda uji kering oven (gram).

2. Pemeriksaan berat volume agregat kasar

Berat volume agregat kasar merupakan perbandingan antara berat agregat kasar dengan volume dalam keadaan kering. Pemeriksaan berat volume dilakukan untuk mempermudah perhitungan campuran beton jika menimbang agregat dengan ukuran volume. Perhitungan berat volume dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.12 berikut.

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{V} \quad (3.12)$$

Keterangan:

W = Berat benda uji dalam cetakan (gram),

V = Volume benda uji (cm³).

3. Modulus halus butir

Modulus halus butir adalah cara yang digunakan untuk mengetahui nilai kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Pemeriksaan ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dalam saringan. Perhitungan modulus halus butir agregat kasar dapat dihitung menggunakan persamaan yang dilihat pada persamaan 3.13 berikut.

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.13)$$

3.6 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran atau *mix design* beton merupakan pemilihan bahan campuran beton dengan mempertimbangkan kuantitas atau perbandingan dari setiap material agar beton mencapai mutu yang direncanakan. Pada perencanaan beton terdapat beberapa metode seperti, Metode ACI (*American Concrete Institute*),

Metode *British Standard*, Metode SNI, dan lainnya. Pada penelitian ini digunakan metode SNI 03-2834-2000 “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”. Adapun tahap-tahap yang dilakukan pada perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan ($f'c$)

Kuat tekan beton normal biasanya memiliki standar nilai kuat tekan sebesar 25 MPa. Pada penelitian ini kuat tekan beton yang direncanakan adalah 25 MPa, karena nilai optimum kuat tekan beton agregat halus daur ulang belum diketahui.

2. Menentukan nilai faktor air semen (FAS)

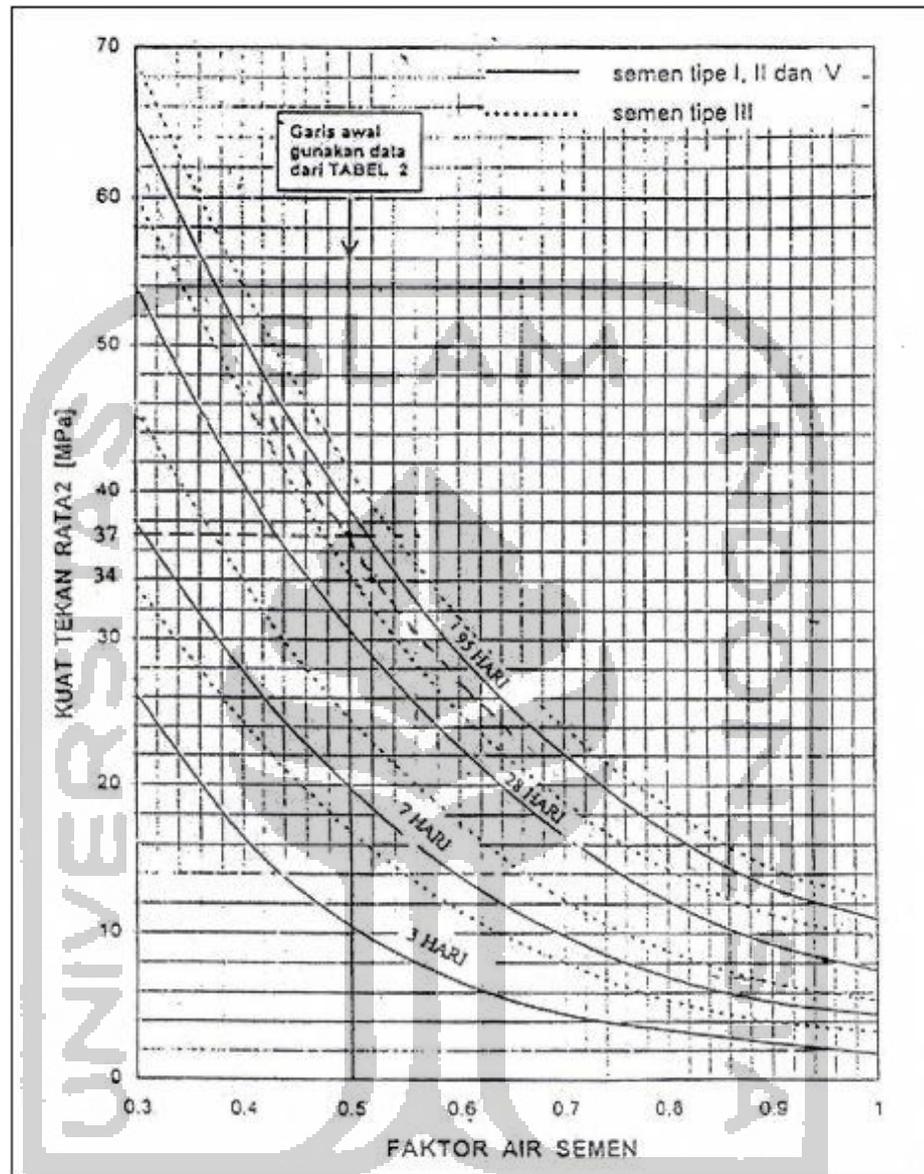
Berdasarkan hubungan jenis semen, jenis agregat kasar, serta bentuk benda uji terhadap umur beton yang dapat menentukan perkiraan kuat tekan yang dihasilkan. Perkiraan kuat tekan (MPa) beton dengan faktor air semen 0,5 dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

Dari Tabel 3.3 telah diperoleh nilai kuat tekan beton, kemudian nilai faktor air semen dapat ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal)

Faktor air semen telah diperoleh dari Gambar 3.1, selanjutnya dapat menentukan faktor air semen maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Kondisi Lingkungan	Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai FAS 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 3.5
Beton yang kontinu berhubungan		
a. Air tawar		Lihat Tabel 3.6
b. Air laut		

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Ketentuan Untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

Kadar Gangguan Sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum (kg/m ³)			FAS
	Dalam Tanah		Sulfat (SO ₃) Dalam Air Tanah g/l		Ukuran Agregat Maksimum (mm)			
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ Dalam Campuran Air : Tanah = 2 : 1 g/l			40	20	10	
1	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15-40%)	80	300	350	0,50
2	0,2-0,5	1,0-1,9	0,3-1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe IV	250	290	340	0,55
3	0,5-1,0	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe IV	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe II atau Tipe IV	330	370	420	0,45
5	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe II atau Tipe IV dan Lapisan Pelindung				

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6 Ketentuan Minimum Untuk Beton Bertulang Kedap Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan yang Berhubungan dengan	Faktor Air Semen Maksimum	Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum (kg/m ³)	
				Ukuran Nominal Maksimum Agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Prategang	Air Tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air Payau	0,45	Tipe I + Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380
	Air laut	0,45	Tipe II atau V	330	370

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

Dari beberapa tabel diatas, nilai faktor air semen yang digunakan adalah nilai yang terkecil.

3. Menentukan nilai *slump*

Penentuan nilai *slump* berdasarkan pemakaian beton yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Penetapan Nilai *Slump*

Pemakaian Beton	Nilai <i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak	125	50
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur di bawah tanah	90	25
Pelat, balok, kolom, dan dinding	150	75
Pengerasan jalan	75	50
Pembetonan masal	75	25

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

4. Menentukan jumlah air per meter kubik beton

Penentuan kebutuhan air per meter kubik beton dapat menggunakan Tabel 3.8 berikut ini.

Tabel 3.8 Perkiraan Kebutuhan Air per Meter Kubik Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
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

Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

Perkiraan air telah diperoleh, kemudian jumlah air yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan yang dilihat pada Persamaan 3.14.

$$W = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.14)$$

Keterangan:

W = Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3),

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3),

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3).

5. Menentukan kebutuhan semen.

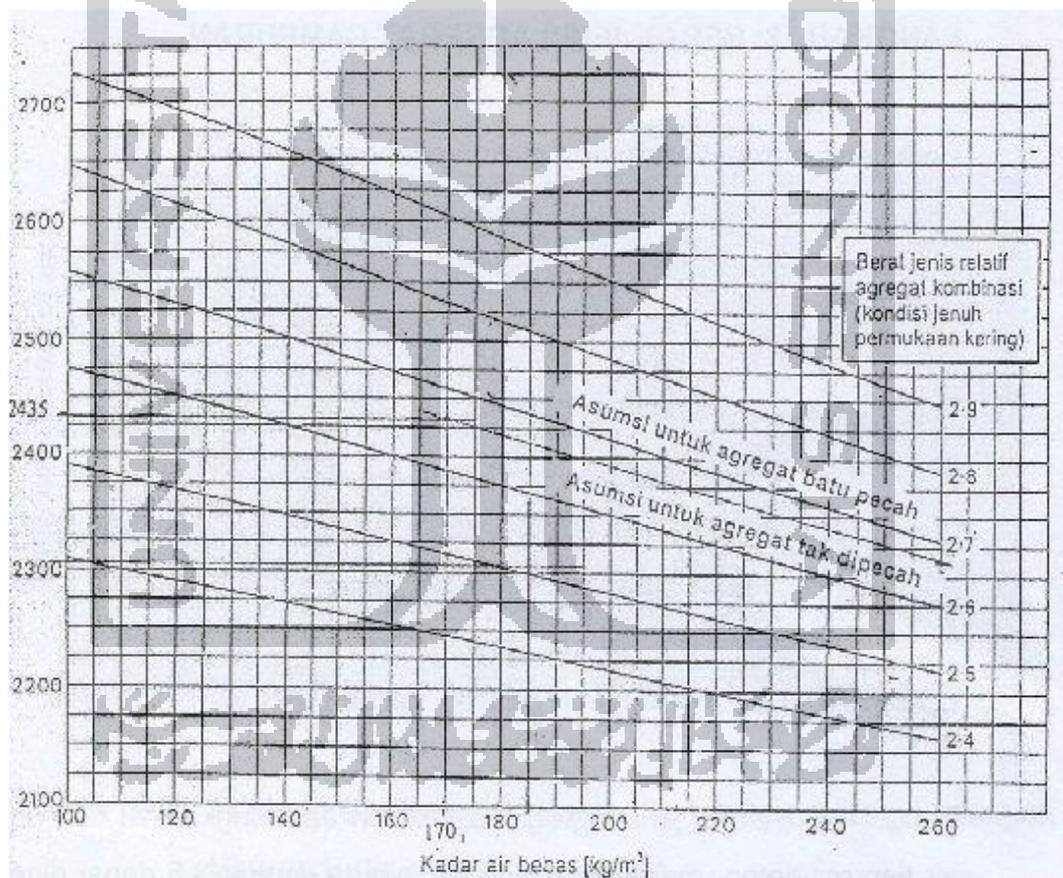
Kebutuhan semen dapat dihitung menggunakan persamaan yang dapat dilihat pada Persamaan 3.15.

$$\text{Berat semen} = \frac{\text{Berat air}}{\text{FAS}} \quad (3.15)$$

Untuk berat semen minimum dapat ditentukan dengan menggunakan Tabel 3.4. Dari kedua penentuan berat semen, diambil berat semen yang paling besar. Jika berat semen yang digunakan berat semen minimum (menggunakan tabel), maka nilai faktor air semen juga akan berubah.

6. Menentukan berat beton basah.

Untuk menentukan berat beton basah dapat digunakan grafik pada Gambar 3.2, dengan memasukkan gabungan berat jenis agregat dan kadar air bebas yang telah didapatkan sebelumnya. Grafik perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal)

3.7 Pengujian Beton Agregat Daur Ulang

Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian beton agregat daur ulang adalah pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Penjelasan untuk kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton yaitu sebagai berikut.

3.7.1 Kuat tekan beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton dalam menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton dapat mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, dimana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan beton dapat diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan yaitu menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat pada benda uji silinder beton yang mempunyai diameter 150 mm serta tinggi 300 mm sampai benda uji tersebut hancur. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton dapat dilihat pada Persamaan 3.16.

$$\text{Kuat tekan beton (f'c)} = \frac{P}{A} \quad (3.16)$$

Keterangan:

P = Beban maksimum (N),

A = Luas penampang benda uji (mm²).

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut.

1. Faktor air semen

Faktor air semen merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen dalam campuran adukan beton. Nilai faktor air semen yang besar akan mengakibatkan jumlah air yang digunakan juga besar, sehingga campuran beton menjadi encer serta mutu beton yang dihasilkan akan rendah. Maka dari itu untuk menghasilkan beton dengan mutu yang tinggi, nilai faktor air semen harus rendah akan tetapi hal tersebut dapat menyulitkan dalam proses pengerjaan beton. Pada beton normal nilai faktor air semen umumnya digunakan 0,4 sampai 0,6. Pengurangan faktor air semen bertujuan untuk mengurangi hingga

seminimal mungkin porositas beton yang dibuat, sehingga dapat menghasilkan beton dengan mutu tinggi.

2. Umur beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Menurut PBI-1971, kuat tekan beton mencapai 100% pada waktu beton berumur 28 hari.

3. Jumlah dan jenis semen

Pada kondisi faktor air semen yang sama, jika jumlah semen terlalu sedikit maka air yang digunakan juga sedikit sehingga membuat adukan beton menjadi sulit dipadatkan dan berakibat kuat tekan beton menjadi rendah. Jumlah semen yang berlebihan akan membutuhkan jumlah air yang besar, sehingga beton mempunyai banyak pori serta berakibat kuat tekan beton menjadi rendah. Pada kondisi nilai *slump* yang sama, jumlah air yang digunakan juga hampir sama sehingga penambahan semen dapat diartikan dengan pengurangan nilai faktor air semen, hal tersebut berakibat penambahan kuat tekan beton. Jenis semen yang digunakan harus disesuaikan dengan fungsinya, sehingga beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang diharapkan.

4. Perawatan beton (*curing*)

Perawatan beton bertujuan untuk memelihara beton dalam kondisi tertentu setelah bekisting dibuka agar optimasi kekuatan beton dapat dicapai mendekati kekuatan beton yang telah direncanakan. Perawatan tersebut dilakukan untuk mengurangi kehilangan air dari dalam beton yang ternyata masih diperlukan dalam kelanjutan proses hidrasi. Jika terjadi kehilangan air maka proses hidrasi akan terganggu dan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan perkembangan kekuatan beton. Metode perawatan beton biasanya digunakan cara yaitu dengan membasahi beton, direndam, serta dilindungi karung basah. Perawatan beton merupakan proses perbaikan mutu sehingga semakin lama perawatan, maka semakin baik mutu betonnya.

3.7.2 Kuat tarik belah beton

Menurut SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah beton dengan benda uji berbentuk silinder mempunyai nilai kuat tarik tidak langsung diperoleh dari hasil pembebanan benda uji yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji. Kuat tarik belah merupakan salah satu parameter penting kekuatan beton, karena dapat mencegah keretakan beton akibat susut. Pada saat beban P mencapai maksimum, benda uji akan terbelah. Nilai kuat tarik belah beton pada umumnya berkisar $1/8$ sampai $1/12$ nilai kuat tekan beton. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Persamaan 3.17 berikut ini.

$$\text{Kuat tarik belah (} f'_{ct} \text{)} = \frac{2P}{\pi ld} \quad (3.17)$$

Keterangan:

P = Beban maksimum (N),

l = Panjang benda uji (mm),

d = Diameter atau lebar benda uji (mm).