

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahantambah membentuk massa padat. Sifat-sifat yang dimiliki oleh beton tergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, proporsi bahan-bahan penyusun, cara pengadukan, penguangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasannya. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat, para ahli mengupayakan untuk meningkatkan sifat-sifat beton antara lain, *workability*, *placeability*, *strength*, *durability*, *permeability*, dan *corrosivity* (SNI 03-2834-2000).

Beton limbah adalah beton yang dalam komposisi campurannya mengandung material berupa limbah. Limbah padat sering digunakan sebagai bahan campuran maupun bahantambah pada beton. Penggunaan limbah sebagai campuran beton merupakan salah satu upaya untuk mengurangi jumlah limbah yang ada. Limbah padat yang sering digunakan adalah limbah keramik, limbah genting, limbah pabrik, limbah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dll. Penggunaan limbah padat pada beton limbah sebagai campuran maupun sebagai pengganti sebagian agregat harus memenuhi persyaratan ASTM C-33, PBI 1971 NI 2 dan/atau SK SNI S-04-1989-F Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam) .

3.2 Material Beton

Berdasarkan uraian pada 3.1 beton padat memiliki komposisi material berupa semen, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahantambah. Adapun penjelasan terhadap material yang digunakan pada penelitian akan dipaparkan pada subbab 3.2.1 sampai 3.2.4.

3.2.1 Semen portland

Semen adalah campuran dari berbagai macam senyawa kimia aktif seperti kapur, silika, oksida besi dan alumina, dimana senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan air dan membentuk pasta yang akan mengeras setelah beberapa saat.

Tabel 3.1 Senyawa penyusun semen portland

Bahan Penyusun	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	20 – 25
Oksida Besi (Fe ₂ O ₃)	7 – 12
Alumina (Al ₂ O ₃)	7 – 12

Sumber: Mulyono (2003)

Menurut SNI 15-2049-2004 semen portland dibedakan menjadi 5 tipe, yaitu:

1. tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis- jenis yang lainnya,
2. tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang,
3. tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi,
4. tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah,
5. tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat

Agregat halus adalah butira-butiran yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,8 mm dan agregat kasar adalah agregat yang memiliki ukuran lebih dari 4,8 mm. Agregat yang baik adalah yang tidak bereaksi kimia dengan unsur semen. Agregat harus mempunyai distribusi ukuran sedemikian rupa, sehingga ukuran rongga-rongga antara agregat minimum.

1. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat halus alam berupa pasir Merapi. Karakteristik pasir Merapi memiliki bentuk yang tidak beraturan dan cukup beragam dari halus hingga cukup kasar.

2. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran antara agregat kasar alam dan agregat kasar limbah benton dengan persentase 40% dari agregat kasar alam.

Berdasarkan PBI 1971 NI 2, agregat kasar harus memenuhi syarat berikut ini.

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang butirannya pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butir-butir pipihnya tidak melebihi 20% berat agregat seluruhnya.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya. Bila melebihi harus dicuci.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang relatif alkali.
- d. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil alam dari batu pecah.
- e. Agregat kasar harus lewat tes kekerasan dengan bejana pengujian Rudeloff dengan beban uji 20 ton.
- f. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
- g. Angka kehalusan (Fineness Modulus) untuk Coarse Aggregate antara 6–7,5.

Agregat kasar dapat diklasifikasikan sebagai berikut ini,

a. Agregat kasar alam

Agregat kasar alam adalah agregat kasar berupa kerikil atau batuan dalam ukuran kecil. Agregat alam dapat berupa batuan alami atau kerikil alami maupun batu pecah. Agregat kasar alam yang digunakan adalah agregat kasar berupa batu pecah Merapi. Batu Pecah Merapi memiliki karakteristik yang keras dan berbentuk pipih yang tidak beraturan.

b. Agregat kasar buatan

Agregat kasar buatan adalah agregat kasar yang digunakan untuk menggantikan sebagian agregat kasar alam. Berbagai bahan dapat digunakan sebagai agregat kasar. Agregat kasar pengganti yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton limbah. Beton limbah cukup mudah ditemui khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Beton limbah banyak ditemui di proyek, *batching plan*, laboratorium pengujian beton, dan sisa penghancuran bangunan. Beton limbah yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar alam yang digunakan adalah beton limbah sisa pengujian beton di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Untuk mendapat agregat kasar dari beton limbah, maka beton limbah perlu di pecah menggunakan pemecah batu. Penelitian ini menggunakan agregat kasar buatan berupa beton limbah dengan persentase 40% dari agregat kasar alami. Penggunaan 40% agregat kasar buatan berupa beton limbah didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh saudara Wardhana I.K. pada tahun 2018. Menurut penelitiannya penggunaan beton limbah sebagai agregat kasar memiliki hasil optimum pada persentase 40%.

Agregat memiliki spesifikasi yang harus dipenuhi berdasarkan pengujian agar dapat digunakan sebagai campuran beton. Adapun pengujian yang dilakukan pada agregat adalah sebagai berikut:

1. Berat jenis-penyerapan air

Berat jenis adalah perbandingan relatif antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Pengujian berat jenis diperlukan untuk mengetahui nilai berat jenis dari agregat. Nilai berat jenis agregat halus berpengaruh pada besaran agregat halus yang harus digunakan sebagai campuran beton berdasarkan perhitungan *mix design*. Penyerapan air merupakan pengujian material terhadap kemampuannya untuk menyerap air melalui permukaan material. Hal ini dapat berpengaruh pada kebutuhan penggunaan air pada saat pencampuran.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{bk}{bje-ba} \quad (3.1)$$

$$\text{Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan} = \frac{B_{je}}{B_{je}-B} \quad (3.2)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{B_k-B_a} \quad (3.3)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B_{je}-B}{B_k} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

B_k = berat benda uji kering oven (gram),

B_{je} = berat benda uji jenuh kering permukaan (gram),

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

2. Berat volume

Pemeriksaan berat volume agregat bertujuan untuk menentukan berat isi agregat halus, kasar atau campuran yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volumenya.

Perhitungan berat volume dapat dilakukan dengan persamaan

$$B_j = \frac{w}{V} \quad (3.5)$$

Keterangan:

B_j = berat jenis,

W = massa benda uji (kg),

V = Volume benda uji (m^3).

3. Analisa saringan

Pengujian analisa saringan diperlukan untuk mengetahui gradasi agregat. Gradasi agregat yang baik adalah gradasi seragam atau merata, dengan gradasi seragam, maka kebutuhan antara agregat untuk saling mengisi dan mengunci satu sama lain akan terpenuhi dengan baik. Persamaan untuk mencari agrgat yang lolos saringan adalah sebagai berikut

$$MHB = \Sigma \text{Berat tertinggal kumulatif} / 100. \quad (3.6)$$

4. Pengujian kandungan lumpur

Pengujian kandungan lumpur hanya dilakukan pada agregat halus. Apabila kandungan lumpur pada agregat halus tinggi, maka agregat halus tidak dapat

digunakan secara langsung dan perlu dibersihkan dari lumpur agar dapat digunakan.

3.2.3 Air

Air berfungsi sebagai reaktan pada reaksi kimia pembuatan beton, tepatnya air akan beraksi dengan semen menghasilkan pasta semen sebagai perekat dan juga digunakan saat perawatan beton untuk mengurangi panas hidrasi pada saat reaksi kimia berlangsung.

Air yang dapat digunakan sebagai bahan pencampur beton adalah air yang bila digunakan akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling. Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Adapun syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk penggunaan air sebagai bahan campuran beton (Tjokrodimulyo, 1995)

Kebutuhan air yang akan digunakan untuk campuran beton perlu diperhitungkan, selain sebagai reaktan, air juga berpengaruh pada *workability* campuran beton. Penambahan air yang berlebihan akan menyebabkan munculnya masalah baru. Masalah yang ditimbulkan dapat berupa terjadinya segregasi maupun *bleeding*. Segregasi terjadi karena campuran beton yang terlalu encer, sehingga menyebabkan pasta beton tak mampu menahan posisi agregat dan akhirnya agregat kasar berkumpul di dasar campuran beton. *Bleeding* adalah munculnya sejumlah air yang sudah tidak diperlukan untuk reaksi kimia dengan semen, namun tidak terlalu encer untuk terjadinya segregasi.

3.2.4 Bahantambah (*admixture*)

Dalam pembuatan campuran beton, seringkali menemui berbagai kendala, seperti rendahnya *workability* karena campuran beton terlalu kental maupun kendala lainnya. Untuk mengatasi masalah yang timbul, pada saat pencampuran beton dapat ditambah dengan bahantambah atau *admixture* untuk mencapai tujuan tertentu, misalnya untuk menambah keenceran campuran beton dengan menggunakan *superplasticizer*.

Superplasticizer adalah bahantambah kimiawi yang mampu meningkatkan tingkat keenceran campuran beton. *Superplasticizer* memiliki banyak jenis dari berbagai merek, seperti Master Glenium dan Viscocrete.

Penggunaan *superplasticizer* pada bidang konstruksi sudah umum digunakan karena selain meningkatkan *workability*, juga meningkatkan kecepatan pengerasan beton. Penerapannya digunakan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik *flow* yang baik dan juga dalam pembuatan beton yang mampu memadat sendiri atau sering disebut dengan *self compacting concrete* (SCC).

Penelitian ini menggunakan *superplasticizer* Viscocrete-3115 N dari Sika. *Superplasticizer* jenis ini merukan generasi ketiga dari *superplasticizer* yang diproduksi oleh PT Sika Indonesia. *Superplasticizer* ini digunakan untuk menghasilkan *high flow concrete*, SCC, beton dengan faktor air semen kecil, beton mutu tinggi, beton kedap air dan beton pracetak. Berdasakan lembar data produk Viscocrete-3115 N dari Sika, penggunaan *superplasticizer* pada beton plastis konvensional berada dikisaran 0,3-0,8% dari berat semen.

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*mix design*)

Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perencanaan campuran beton (*mix design*). Perencanaan campuran beton terdiri dari beberapa tahap perhitungan. Dalam perencanaan campuran beton ada beberapa macam metode yang dapat dilakukan, antara lain:

1. metode DOE (Department of Environment),
2. SNI 03-2834-2000,
3. metode ACI (American Concrete Institue),
4. metode British Standard, dan
5. metode Dreux.

Penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000 “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

3.3.1 Kuat tekan beton yang direncanakan (f'_c)

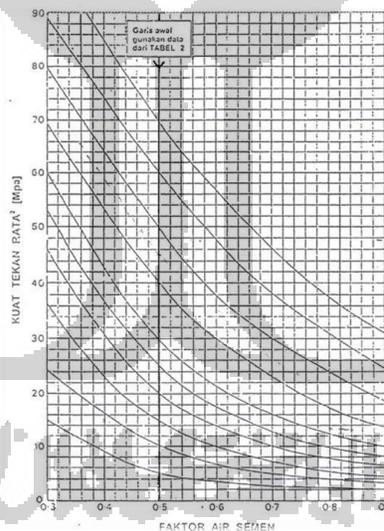
f'_c adalah kuat tekan beton yang ditargetkan pada umur 28 hari. Kuat tekan beton yang direncanakan harus memenuhi spesifikasi perencanaan campuran beton

(*mix design*). Pengendalian mutu sangat diperlukan agar kuat tekan beton sesuai yang direncanakan. Kuat tekan beton yang tidak sesuai dapat menimbulkan masalah meski melebihi yang direncanakan. Pada perencanaan struktur beton bertulang, apabila kuat tekan dibawah rencana dapat menyebabkan kegagalan struktur dan apabila kuat tekan melebihi rencana dapat menyebabkan perbedaan kekuatan pada beberapa struktur.

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus dan air dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan $f'c$ sebesar 25 MPa.

3.3.2 Faktor air semen

Faktor air semen (FAS) adalah perbandingan berat antara air dan semen portland di dalam campuran beton. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 halaman 6 perencanaan kuat tekan beton (*mix design*) dari sni nilai fas dapat diperoleh dengan Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3.1 Grafik Hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm)

Berdasarkan grafik pada Gambar 3.1, nilai faktor air semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan rata-rata beton. Nilai faktor air semen yang rendah memiliki kecenderungan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Dalam SNI

03_2834_2000 terdapat persyaratan mengenai FAS dan Jumlah semen minimum yang digunakan, adapun detail persyaratan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persyaratan FAS dan jumlah semen minimum untuk berbagai pembeconan dan bangunan khusus

Pembeconan	Jumlah Semen Minimum per m³ beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	-	Lihat Tabel 3.3
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut	-	Lihat Tabel 3.4

Tabel 3.3 FAS maksimum untuk beton yang berhubungan air tanah yang mengandung sulfat

Kadar gangguan sulfat	Konsentrasi Sulfat		Sulfat (SO ₃) dalam air tanah	Tipe Semen	Kandungan Semen minimum (kg/m ³)			fas
	Dalam Tanah				Ukuran Agregat maksimum (mm)			
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air: tanah = 2,1(g/l)			40	20	10	
1	<0,2	<1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	280	300	350	0,5
2	0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	350	330	350	0,55
				Tipe I Pozzolan (15 – 40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	310	360	
				Tipe II atau tipe V	250	290	340	
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 V	290	330	380	0,50
4	1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau tipe V	330	370	420	0,45
5	> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau tipe V dan lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Tabel 3.4 Ketentuan minimum untuk beton bertulang dalam air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan yang berhubungan dengan	fas maksimum	Tipe Semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)	
				Ukuran Maksimum Agregat (mm)	
				40	20
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

3.3.3 Nilai slump

Nilai *slump* adalah nilai antara tinggi awal dan tinggi runtuh, pengujian *slump* menggunakan kerucut Abraham. Penetapan nilai *slump* dapat dilihat pada table 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Penetapan nilai slump (mm)

Pemakaian Beton	Nilai Slump (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

3.3.4 Kadar air bebas

Kadar air bebas adalah kebutuhan air per meter kubik beton. Nilai kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 3.6, kemudian dihitung menggunakan Persamaan (3.7) (SNI 03-2834-2000).

Tabel 3.6 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	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

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad 3.7$$

Keterangan:

W = jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³),

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus,

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

3.3.5 Kebutuhan semen

Semen merupakan bagian terpenting dalam campuran beton konvensional. Semen yang tercampur dengan air akan menyebabkan reaksi kimia dalam bentuk pasta dan kemudian akan mengeras. Pasta dari campuran semen dan air berperan sebagai perekat pada campuran beton. Kurangnya semen akan mengakibatkan ikatan antar material lemah.

Oleh karena itu kebutuhan semen dalam campuran beton perlu diperhitungkan, perhitungan kebutuhan semen dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menghitung Kebutuhan Semen

Untuk menghitung jumlah kebutuhan semen, maka digunakan persamaan (3.8)

$$W_{semen} = \frac{W_{air}}{FAS} \quad 3.8$$

2. Menentukan Kebutuhan Semen Minimum

Kebutuhan semen minimum dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.2, Tabel 3.3, atau Tabel 3.4.

Kebutuhan semen yang digunakan adalah hasil terbesar diantara dua cara diatas.

3.4 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan maksimum beton untuk menahan beban persatuan luas permukaan beton hingga beton mengalami keruntuhan. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah nilai FAS dan juga kualitas material yang digunakan. Beton dengan nilai FAS rendah memiliki kecenderungan menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi dibanding beton dengan nilai FAS tinggi.

Tjokrodimulyo (1995) menyebutkan bahwa kekuatan tekan beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain

1. pengaruh mutu semen portland,
2. pengaruh dari perbandingan adukan beton,
3. pengaruh air untuk membuat adukan,
4. pengaruh umur beton,
5. pengaruh waktu pencampuran,
6. pengaruh perawatan, dan
7. pengaruh bahan campuran tambahan.

Nilai kuat tekan beton didapatkan dengan melakukan pengujian di laboratorium menggunakan mesin uji tekan berdasarkan SNI 03-1974-2011. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai $f'c$ adalah sebagai berikut: (Badan Standardisasi Nasional, 2011)

$$f'c = \frac{P}{A} \quad 3.9)$$

Keterangan: $f'c$ = kuat tekan beton,
 P = beban maksimum,
 A = luas penampang benda uji.

3.5 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton merupakan salah satu parameter kekuatan beton. Kuat tarik belah adalah kekuatan beton untuk menahan gaya tarik. Kekuatan beton dalam tarik juga merupakan suatu sifat yang mempengaruhi perambatan dan ukuran retakan didalam struktur. Nilai kuat tarik belah didapat melalui pengukuran/pengujian di laboratorium. Pengujian dilakukan dengan cara membenturkan beban pada sisi beton silinder. Untuk mendapat nilai kuat tarik belah dapat dihitung dengan persamaan 3.10 berikut

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.10)$$

keterangan:

f_t = kuat tarik belah (MPa)

P = beban pada waktu belah (N)

L = panjang benda uji silinder (mm)

D = diameter benda uji silinder (mm)