

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

1. Umum

Beton merupakan salah satu konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Oleh karena itu beton menjadi bahan yang sangat dibutuhkan dan sering dipergunakan untuk sebagian besar pekerjaan konstruksi dibandingkan dengan bahan struktur lain. Beton banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, agregat, dan (bahan tambah yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, saMPai bahan buangan non-kimia) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut apabila dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan.

Menurut Supriyatna (2011), beton adalah material komposit yang terdiri dari agregat yang diletakan dalam suatu pasta semen yang mengisi rongga diantara butiran agregat dan mengikatnya bersama-sama menjadi suatu kesatuan. Beton yang dibuat secara baik dengan perbandingan bahan yang tepat, tiap butir agregatnya akan diselimuti oleh pasta semen, dan rongga-rongga antara butiran agregat penuh terisi oleh semen.

Menurut SNI 03-2834-2000, Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Beberapa sifat umum beton sebagai salah satu material konstruksi yang harus dipenuhi berdasarkan SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut:

a. Kemampuan kerja (*workability*)

Yaitu sifat beton yang diukur dari tingkat kemudahan atau kesulitan adukan pada beton segar untuk dikerjakan (diaduk, diangkut, dituang, dan juga dipadatkan). Sifat kelecakan beton segar ditandai oleh beberapa karakter, yaitu homogenitas (*homogeneity*), kohesi adukan (*cohesiveness*), mobilitas (*mobility*), kelekatan (*flowability*), dan plastisitas (*plasticity*).

b. Keawetan (*durability*)

Yaitu sifat yang menunjukkan kemampuan beton dalam menahan kondisi eksternal, baik fisik, mekanik maupun kimia yang dapat merusak beton.

Beton serat (*fiber reinforced concrete*) ialah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat (Tjokrodinuljo, 1996). Beton serat berguna untuk mencegah suatu retakan dan menambah daya tahan (Zollo, 1997). Penambahan serat pada beton akan meningkatkan sifat mekanik beton. Penambahan serat dalam beton dapat memperbaiki kekuatan tarik beton dan sifat getasnya (Soroushian dan Bayasi, 1987). Penambahan beberapa serat ke dalam beton akan meningkatkan kuat tarik beton yang umumnya sangat rendah dan akan memperbaiki kinerja komposit beton serat.(As'ad,2007).

2. Penelitian Terdahulu

Puja Nifta Hadi (2019) melakukan penelitian yang berjudul “ STUDI EKSPERIMENTAL PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT SEBEGAI BAHAN SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON ”. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh limbah bubut sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton. Pada penelitian ini benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15cm dan tinggi 30cm sebanyak 15 buah. Dimana 3 buah untuk benda uji dengan campuran limbah bubut sebesar 0%, 3 buah untuk benda uji dengan campuran limbah bubut sebesar 5%, 3 buah untuk benda uji dengan campuran limbah bubut sebesar 10%, 3 buah untuk benda uji dengan campuran limbah bubut sebesar 15%, 3 buah untuk benda uji dengan campuran limbah bubut sebesar 20%. Dari hasil uji tekan silinder pada umur 28 hari tanpa penambahan limbah bubut adalah sebesar 27,1 MPa. Sedangkan hasil uji kuat tekan silinder pada 28 hari dengan penambahan 5%, 10%, 15%, dan 20% adalah sebesar 11,7 MPa, 9,4 MPa, 9,7 MPa, 9,7 MPa. Maka, dapat disimpulkan bahwa semakin besar presentase limbah bubut sebagai bahan pengganti agregat halus maka nilai kuat tekan semakin menurun.

Qomariah, dkk (2019) melakukan penelitian yang berjudul “PEMANFAATAN LIMBAH BUBUT BESI PADA BETON SERAT DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR”. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah bubut sebagai bahan

pengganti agregat kasar terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton dengan variasi sebesar 0%, 5%, 10%. Beton yang direncanakan adalah beton normal f_c 30 MPa. Pengaruh substitusi limbah bubuk besi terhadap agregat kasar pada benda uji silinder umur 28 hari terjadi penurunan kuat tekan di masing-masing variasi. Pada variasi 0% (39.01 MPa), 5% terjadi penurunan sebesar 37% (24.54 MPa), 10% terjadi penurunan sebesar 44% (21.80 MPa). Dan untuk pengaruh substitusi limbah bubuk besi terhadap agregat kasar pada benda uji balok umur 28 hari terjadi kenaikan kuat lentur di masing-masing variasi. Pada variasi 0% didapat hasil (3.87 MPa), 5% terjadi peningkatan sebesar 9% (4.27 MPa), 10% terjadi peningkatan sebesar 5% (4.07 MPa).

Bayu Pratama (2020) melakukan penelitian yang berjudul “PENAMBAHAN SERAT LIMBAH BUBUT BESI TERHADAP KUAT TARIK DAN KUAT LENTUR BETON NORMAL”. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah bubuk terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur beton dengan variasi sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10% terhadap berat semen. Dari hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari didapat nilai kuat tekan variasi serat 0% rata-rata 30,5 MPa, 5% rata-rata 32 MPa, 7,5% rata-rata 32,3 MPa, 10% rata-rata 32,7 MPa. Dari hasil pengujian kuat tarik beton pada umur 28 hari, didapat nilai kuat tarik variasi serat 0% rata-rata 10,10 MPa, 5% rata-rata 10,62 MPa, 7,5% rata-rata 10,99 MPa, 10% rata-rata 11,16 MPa. Dan hasil pengujian kuat lentur beton pada

umur 28 hari, didapat nilai kuat lentur variasi serat 0% rata-rata 3,84 MPa, 5% sebesar 4,48 MPa, 7,5% sebesar 4,48 MPa, 10% yaitu sebesar 5,12 MPa.

Samer S, dkk (2020) melakukan penelitian yang berjudul “MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL AERATED LIGHTWEIGHT CONCRETE REINFORCED WITH IRON LATHING WASTE”. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah bubuk terhadap kuat tekan, dan modulus elastisitas beton dengan variasi sebesar 0%, 1%, 1,5%, 2%. Dari hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari didapat nilai kuat tekan variasi serat 0% rata-rata 34 MPa, 1% rata-rata 35,5 MPa, 1,5% rata-rata 37,4 MPa, dan 2% rata-rata 38 MPa. Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton pada umur 28 hari, didapat nilai modulus elastisitas variasi serat 0% rata-rata 22020 MPa, 1% rata-rata 24170 MPa, 1,5% rata-rata 26450 MPa, dan 2 % rata-rata 27960 MPa,

W Wiranto (2020) melakukan penelitian yang berjudul “COMPRESSIVE STRENGTH AND MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE USING IRON FIBERS”. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah bubuk terhadap kuat tekan, dan modulus elastisitas dengan variasi sebesar 0%, 6%, 8%, 10%, 12% terhadap berat semen. Dari hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari didapat nilai kuat tekan variasi serat 0% sebesar 22,4 MPa, 6% sebesar 14,6 MPa, 8% sebesar 19,98 MPa, 10% sebesar 13,59 MPa, dan 12% sebesar 15,35 MPa. Dari hasil modulus elastisitas ,didapat nilai variasi serat 0% sebesar 25827

MPa, 6% sebesar 16076 MPa, 8% sebesar 21550 MPa, 10% sebesar 12854 MPa, 12% sebesar 16417 MPa,

B. Landasan Teori

1. Bahan Penyusun Beton

a. Semen Portland

Portland Cement (PC) atau semen merupakan bahan yang bertindak sebagai bahan pengikat agregat, jika dicampur dengan air semen menjadi pasta. Dengan proses waktu dan panas, reaksi kimia akibat campuran air dan semen menghasilkan sifat perkerasan pasta semen.

Menurut SNI 0031-81 semen *portland* dibagi menjadi lima jenis, sebagai berikut:

Jenis I : Semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Jenis II : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

Jenis III : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

Jenis IV : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.

Jenis V : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat.

Tabel 2.1 Persyaratan Kimia Semen Portland

No	Uraian	Jenis semen <i>Portland</i>				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20,0	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO ₃ , maksimum					
	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A > 8,0	3,5	-	4,5	-	-
6	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C ₃ S, maksimum	-	-	-	35	-
9	C ₂ S, minimum	-	-	-	40	-
10	C ₃ A, maksimum	0	8,0	15	7	5
11	C ₄ AF + 2 C ₃ A atau C ₄ AF + C ₂ F, maksimum	-	-	-	-	25

Sumber : SNI 15-2049-2004

Tabel 2.2 Persyaratan Fisik Semen Portland Tipe I

No	Uraian	Nilai
1	Kehalusan	
	Uji permeabilitas udara	
	<i>Turbidimeter</i>	160 (m ² /kg)
2	<i>Blaine</i>	280 (m ² /kg)
	Kekekalan	
	Pemuaiian dengan <i>autoclave</i> , maksimal	0,8 %
3	Kuat tekan	
	Umur 1 hari	-
	Umur 3 hari	125 kg/cm ²
	Umur 7 hari	200 kg/cm ²
	Umur 28 hari	280kg/cm ²
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat: <i>Gilmore</i>	
	Awal	60 menit
	Akhir	600 menit
	<i>Vicat</i>	
	Awal	45 menit
5	Akhir	375 menit
	Pengikatan semu penetrasi akhir	50 %
6	Kandungan udara mortal (volume)	12 %

Sumber : SNI 15-2049-2004

b. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Kira-kira 70 % volume mortar atau beton di isi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodinuljo,1996). Terdapat 2 jenis agregat yang dibutuhkan yaitu:

1) Agregat Halus

Pasir dalam campuran beton sangat menentukan kemudahan *workability*, kekuatan, dan tingkat keawetan dari beton yang dihasilkan. Pasir biasanya didapatkan dari alam dengan cara memoMPa dari sungai atau melalui endapan. Pada beberapa daerah, pasir didapat melalui tambang pasir atau pecahan batu.

Pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan. Syarat-syarat agregat halus sesuai (standar PBI/NI-2 Pasal 33), adalah sebagai berikut:

- a) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
- b) Agregat halus tidak boleh memiliki kadar lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering).

- c) Agregat halus tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dan Abrams-Harder (dengan larutan NaOH).
- d) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam dan melewati ayakan sebesar 4,75 mm.
- e) Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

2) Agregat Kasar

Agregat Kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar (antara 5 mm sampai 40 mm) (Tjokrodinuljo, 1996). Sifat dari agregat kasar yang mempengaruhi kekuatan akhir beton dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan semen.

Sifat-sifat bahan bangunan perlu untuk diketahui, karena dengan mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan tersebut, dapat ditentukan langkah-langkah yang diambil dalam menangani bahan bangunan tersebut. Sifat-sifat dari agregat kasar yang perlu untuk diketahui antara lain ketahanan (*hardness*), bentuk dan tekstur permukaan (*shape and texture surface*), berat jenis agregat (*specific gravity*), ikatan agregat kasar (*bonding*), modulus halus butir (*fineness modulus*), dan gradasi

agregat (*grading*). Batasan susunan butiran agregat kasar dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos saringan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	22-55
4,8	0-5	0-10

Sumber : Tjokrodinuljo, 1996

c. Air

Air diperlukan untuk beraksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Secara umum air yang dapat digunakan untuk campuran beton ialah air yang memenuhi syarat sebagai air minum, memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton. Air yang digunakan tidak harus memenuhi persyaratan air minum. Jika tidak diperoleh air dengan standar air minum, maka dapat dilakukan pemeriksaan secara visual yang menyatakan bahwa air tidak berwarna, tidak berbau dan cukup jernih. Jika masih diragukan, dapat dilakukan uji laboratorium sehingga memenuhi persyaratan, yaitu :

- a) Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya lebih dari 15 gram/liter).
- c) Tidak mengandung klorida (CL) lebih dari 0,5 gram/liter.

d) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

d. Bahan Tambah Serat Limbah Bubut Logam Besi

Serat limbah bubuk logam besi merupakan limbah yang berasal dari pabrik pembubutan logam, yang dihasilkan berupa serat-serat logam dengan bentuk spiral dengan panjang dan ketebalan yang berbeda.

Salah satu diantara limbah digunakan sebagai campuran tulangan adalah dengan mencampurkan serat limbah bubuk logam besi ke dalam campuran beton karena serat limbah bubuk logam besi akan menambahkan kekuatan beton. Serat merupakan salah satu bahan tambah pada beton yang berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat populer digunakan sebagai bahan tambah adukan beton pada akhir tahun 1950. Serat sudah diaplikasikan pada beberapa proyek seperti proses *shotcrete* untuk lapisan trowongan, *eksterior*, dan *interior* pada konstruksi jalan atau areal parkir dan lantai gudang atau landasan pacu pesawat. Secara umum pemberian serat pada beton dapat mengurangi *spalling* ketika beton sudah retak, meningkatkan kekuatan lentur serta geser balok beton serat, meningkatkan penyerapan energi, *fracture toughness*, mengontrol retak dan mengurangi retak plastis pada umur awal. Beberapa jenis serat lain juga memiliki kemampuan khusus untuk menahan rusak akibat suhu/ panas yang tinggi.

Penggunaan serat pada beton dihitung dari persentase volume beton dan berat serat per volume beton. Kadar optimum serat harus

diperhitungkan pada campuran beton. Penggunaan serat yang berlebih maupun kurang pada beton dapat menimbulkan kerugian. Jika serat terlalu banyak dapat menyebabkan *balling*. *Balling* merupakan kondisi dimana beton sulit dipadatkan dan menimbulkan banyak rongga sehingga mengurangi kekuatan beton. Jika kandungan serat dalam beton sedikit, maka kinerja serat kurang optimal.

Tabel 2.4 Komposisi kimia serat limbah bubuk logam besi

Kandungan limbah bubuk besi	Jumlah (%)
Besi (Fe)	97,11
Europium (Eu)	0,67
Rubidium (Rb)	0,65
Mangan (Mn)	0,54
Kalsium (Ca)	0,30
Kromium (Cr)	0,26
Fosfor (P)	0,2
Renium (Re)	0,2
Tembaga (Cu)	0,13
Skandium (Se)	0,053
Nikel (Ni)	0,037
Lantanum (La)	0,03
Ytterbium (Yb)	0,03
Seng (Zn)	0,03

Sumber:(Khoiroh,2013)



Gambar 2.1 Serat limbah bubuk logam besi
Sumber : Penelitian 2022

2. Mix Design

Metode perhitungan yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan SNI 03-2834-2000. Kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 25 MPa. Langkah-langkah yang dilakukan dalam menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:

- a. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c') pada umur 28 hari

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat.

- b. Menetapkan nilai *deviasi standart* (sd)

Standar deviasi ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton. Semakin baik mutu pelaksanaan semakin kecil nilai deviasi standar. Untuk memberikan gambaran cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan, diberikan pedoman dengan melihat tabel berikut ini:

Tabel 2.5 Nilai Sd untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2.8
Sangat Baik	3.5
Baik	4.2
Cukup	5.6
Jelek	7
Tanpa Kendali	8.4

Sumber: SNI 03-2834-2000

- c. Menghitung nilai tambah (*margin*)

$$M = K \cdot Sd$$

Dengan $M =$ nilai tambah(MPa)

$$K = 1,64$$

$Sd =$ *deviasi standar* rencana(MPa)

- d. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan

Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus:

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

Dimana : $f'_{cr} =$ kuat tekan rata-rata (MPa)

$f'_c =$ kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

$M =$ nilai tambah (MPa)

- e. Menetapkan jenis semen

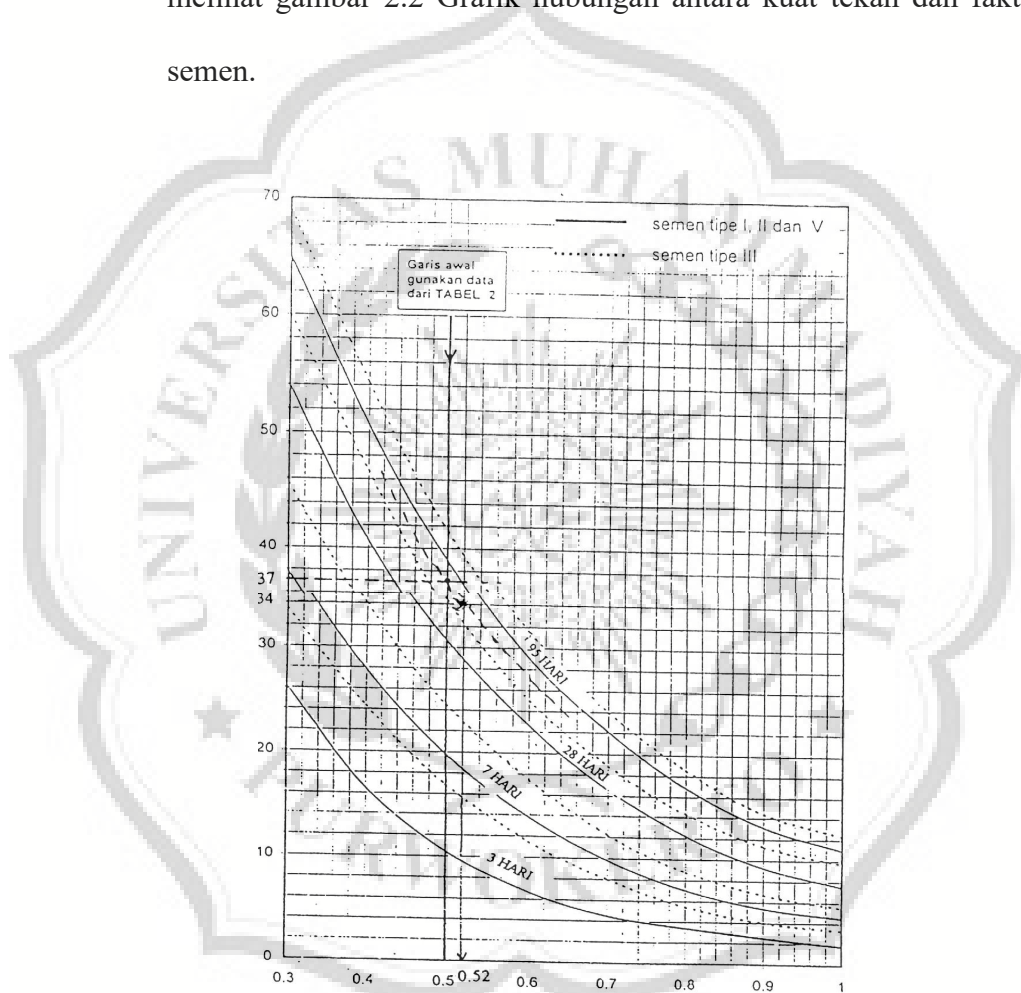
Menurut PUBI 1982 di Indonesia Semen Portland dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV, dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, sedangkan jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau dengan kata lain sering disebut semen cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah dipakai semen biasa ataukah semen yang cepat mengeras.

- f. Menetapkan jenis agregat

Jenis kerikil dan pasir ditetapkan, apakah berupa agregat alami (tak dipecahkan) ataukah agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*).

g. Menetapkan faktor air semen

Penetapan faktor air semen pada penelitian ini berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan faktor air semen dengan melihat gambar 2.2 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen.



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen
Sumber : SNI 03-2834-2000

h. Menetapkan faktor air semen maksimum

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai f.a.s maksimum. Jika nilai f.a.s maksimum ini lebih rendah dari

nilai f.a.s pada langkah g, maka nilai f.a.s maksimum ini yang dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2.6 Perkiraan Kekuatan (MPa) Beton Dengan Faktor Air Semen Dan Agregat Kasar Yang Biasa Dipakai Di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Bentuk Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
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	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	25	31	46	53	
	Batu pecah	30	40	53	60	Kubus

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 2.7 Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:	
a. keadaan keliling non-korosif	0.6
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0.52
Beton di luar ruangan bangunan:	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.6
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.6
Beton masuk ke dalam tanah:	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0.55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	lihat tabel
Beton yang kontinu berhubungan:	
a. air tawar	lihat tabel
b. air laut	

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 2.8 Ketentuan Untuk Beton Yang Berhubungan Dengan Air Tanah Yang Mengandung Sulfat

Kadar gangguan sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran agregat maksimum (Kg/M ³)			Faktor air semen
	Total SO ₃ (%)	Dalam tanah SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2:1 g/l	Sulfat (SO ₃) dalam air tanah g/l		40 mm	20 mm	10 mm	
1	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	80	300	350	0.5
				Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0.5
2	0,2-0,5	1,0-1,9	0,3-1,2	Tipe 1 Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0.55
				Tipe 1 Tip ell atau Tipe V	250	290	340	0.55
3	0,5-1	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe 1 Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0.45
				Tipe 1 Tip ell atau Tipe V	290	330	380	0.5
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe 1 Tip ell atau Tipe V	330	370	420	0.45
5	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe 1 Tip ell atau Tipe V Lapisan pelindung	330	370	420	0.45

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 2.9 Ketentuan Minimum Untuk Beton 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
	Air tawar	0.5	Tipe-V	280	300
Bertulang atau Pra tegang	Air payau	0.45	Tipe 1 + Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozalen		
		0.5	Tip ell atau Tipe V	340	380
	Air laut	0.45	Tipe II atau Tipe V		

Sumber : SNI 03-2834-2000

i. Menetapkan nilai slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya.

j. Menetapkan besar butir agregat maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan-ketentuan berikut :

- 1) Seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan.
- 2) Sepertiga dari tebal pelat.
- 3) Tiga perempat dari jarak bersih minimum antar batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

- k. Menetapkan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan *slump* yang diinginkan.

Tabel 2.10 Perkiraan Kebutuhan Air Per Meter Kubik 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: Untuk suhu di atas 25 °C harus ditambah air 5 liter per m³ adukan beton

Sumber: SNI 03-2834-2000

Dalam tabel apabila agregat halus dan kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan) maka jumlah air yang diperkirakan dengan diperbaiki dengan rumus :

$$W = 0,67W_h + 0,33W_k \dots\dots\dots 2.1$$

Dengan:

W adalah jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

W_h adalah perkiraan jumlah air pada agregat halus (liter)

W_k adalah perkiraan jumlah air pada agregat kasar (liter)

l. Menghitung berat semen yang diperlukan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah k) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah g dan h.

m. Menetapkan kebutuhan semen minimum

Tabel 2.11 Kebutuhan Semen Minimum Per M3 Beton

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau, dan air laut.

n. Menyesuaikan kebutuhan semen

Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari langkah l ternyata lebih sedikit dari pada kebutuhan semen minimum pada langkah m,

maka kebutuhan semen yang harus dipakai adalah yang minimum (yang nilainya lebih besar).

o. Menyesuaikan jumlah air atau faktor air semen

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah m, maka nilai faktor air semen berubah. Dalam hal ini, dapat dilakukan dua cara berikut:

- 1) Cara pertama, faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
- 2) Cara kedua, jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

Catatan: cara pertama akan menurunkan faktor air semen, sedangkan cara kedua akan menaikkan jumlah air yang diperlukan.

p. Menentukan daerah gradasi agregat halus

Berdasarkan gradasinya (hasil analisis ayakan) agregat halus yang akan dipakai dapat diklasifikasikan menjadi 4 daerah. Penentuan daerah gradasi itu didasarkan atas grafik gradasi yang diberikan dalam tabel 2.12.

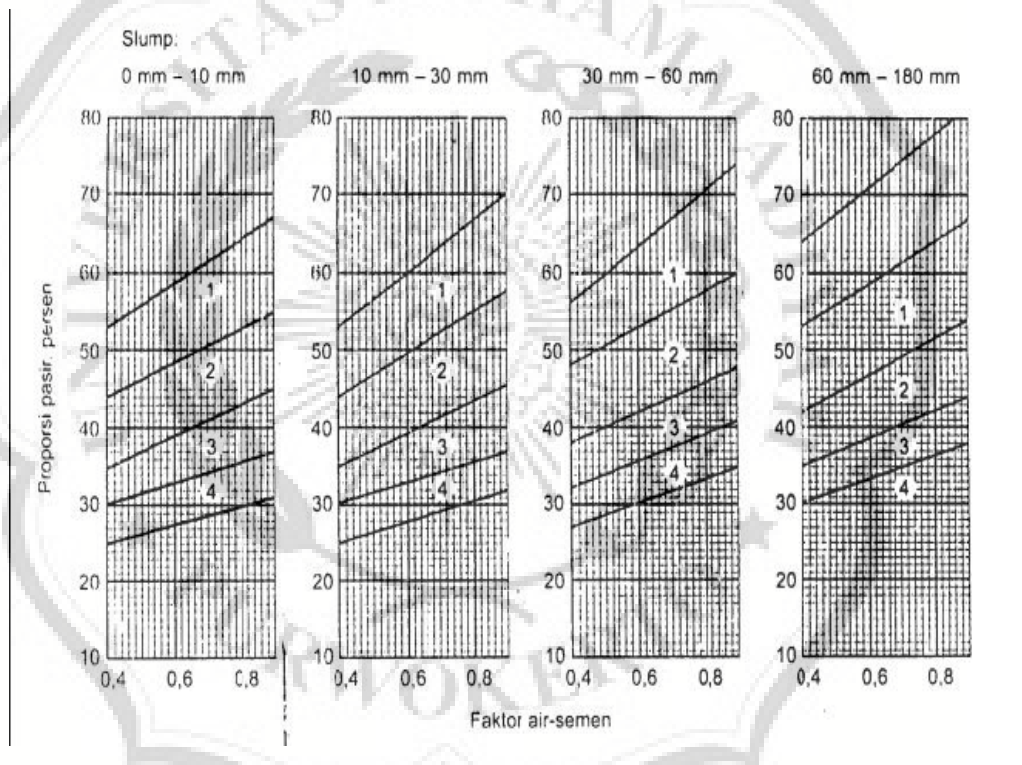
Tabel 2.12 Batas Gradasi Pasir

Lubang ayakan (mm)	Persen berat yang lewat ayakan			
	1	2	3	4
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	34 – 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

- q. Menentukan perbandingan agregat halus dan agregat kasar

Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi aregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai *slump*, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus.



Gambar 2.3 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm
 Sumber: SNI 03-2834-2000

- r. Berat jenis agregat campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$B_j \text{ camp} = \frac{P}{100} \times b_j \text{ agg. hls} + \frac{K}{100} \times b_j \text{ agg. ksr} \dots \dots \dots 2.2$$

Dengan :

Bj camp = berat jenis agregat campuran

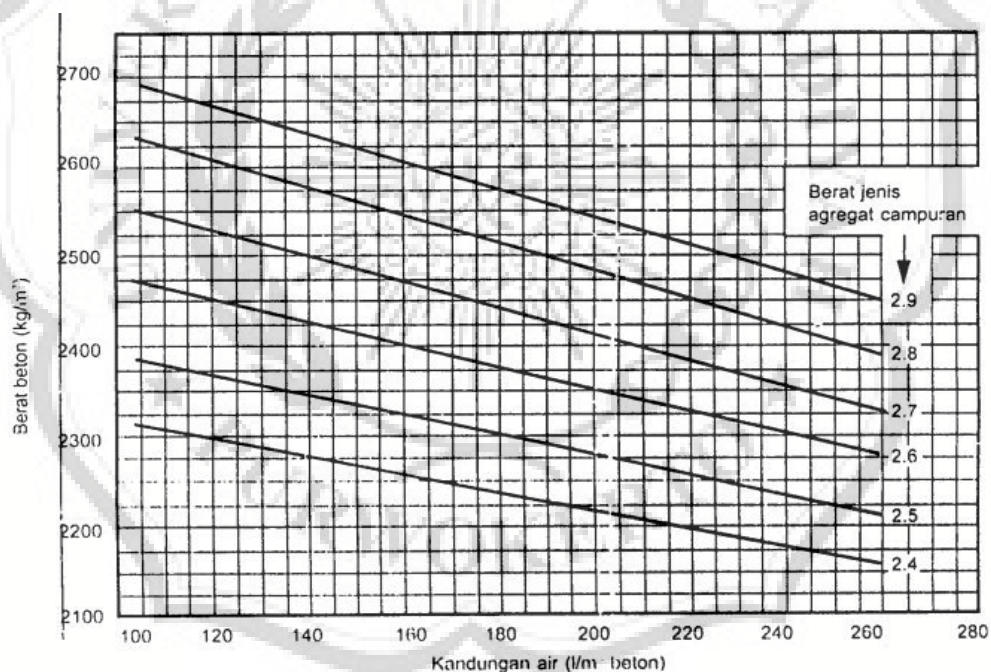
Bj agg. Hls = berat jenis agregat halus

Bj agg. Ksr = berat jenis agregat kasar

P = persentase agregat halus terhadap agregat campuran

K = persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,60 untuk agregat tak pecah/alami dan 2,70 untuk agregat pecahan.



Gambar 2.4 Grafik perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan
Sumber: SNI 03-2834-2000

s. Penentuan berat jenis beton

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah r dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dengan grafik pada Gb. 2.4 dapat diperkirakan berat jenis betonnya.

Caranya adalah sbb :

- 1) Dari berat jenis agregat campuran pada langkah q dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada gambar 2.4 kebutuhan air yang diperoleh pada langkah k dimasukkan dalam gambar 2.4 kemudian dari nilai ini ditarik garis vertikal ke atas sampai garis kurva yang dibuat pada nomor diatas.
- 2) Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat jenis beton.
 - t. Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per-meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.
 - u. Hitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah q dan t. Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.
 - v. Hitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah t dan u. Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus. Untuk mempermudah pelaksanaan, maka berikut ini diberikan formulir isian.

Tabel 2.13 Formulir Perencanaan Mix Design Beton

No	Uraian	Tabel/Grafik/Perhitungan	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan karakteristik	Ditetapkan	.....	MPa
2	Deviasi standar (s)	Ditetapkan	.....	MPa
3	Nilai Tambah (margin)	1,64 x Deviasi standar	.....	MPa
4	Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}')	No. 1 + No. 3	.....	MPa
5	Jenis semen	Ditetapkan	.....
6	Jenis agregat kasar (alami / pecah)	Ditetapkan	.....
7	Jenis agregat halus (alami / pecah)	Ditetapkan	.....
8	Faktor air semen	Tabel 2, Grafik 1 SNI 2000	.....
9	Nilai Slump	Butir 4.2.3.3	.....	Mm
10	Ukuran maksimum agregat kasar	Butir 4.2.3.4	.....	Mm
11	Kebutuhan air	Tabel 3	.....	Liter
12	Kebutuhan Semen	No. 11 : No. 8	.....	Kg
13	Kebutuhan Semen Minimum	Tabel 4 SNI 2000	.....	Kg
14	Daerah gradasi agregat halus	Tabel 2.10	.....
15	Persen berat agregat halus	Grafik 15	.....	Persen
16	Berat jenis agregat campuran	Bj. Agregat Kasar + Bj. Agregat Halus / 2	.....
17	Berat jenis beton	Grafik 16 SNI 2000	.....	kg/m ³
18	Kebutuhan agregat	No. 17 – (No. 12 + No. 11)	.....	kg/m ³
19	Kebutuhan agregat halus	No. 15 x No. 18	.....	kg/m ³
20	Kebutuhan agregat kasar	No. 18 – No. 19	.....	kg/m ³

Sumber : SNI 03-2834-2000

3. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar kuat tekan sesuai umur beton. Semakin tinggi kuat tekan , maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Pada umumnya, beton yang akan diuji kuat tekannya berbentuk silinder dengan diameter 15 cm

dan tinggi 30 cm. Perhitungan kuat tekan beton sesuai dengan rumus berikut :

$$f'c = P/A \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan : $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan aksial (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Tabel 2.14 Perbandingan Kekuatan Beton Pada Berbagai Benda Uji

Benda Uji	Perbandingan Kekuatan Beton
Kubus 15 x 15 x 15	1,0
Kubus 20 x 20 x 15	0,95
Silinder 15 x 30	0,83

Sumber : PBI, 1971

Untuk keperluan perhitungan kekuatan dan/ pemeriksaan mutu beton, perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur terhadap beton yang berumur 28 hari, dapat diambil berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 2.15 Konversi Beton

Umur Beton (Hari)	3	7	14	21	28	96	365
Semen Portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,0	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,0	1,15	1,20

Sumber : PBI, 1971