

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

1. Umum

Beton merupakan campuran yang terdiri dari agregat dan pasta. Beton dapat didefinisikan sebagai suatu bahan bangunan dan konstruksi yang sifatnya dapat ditentukan sebelumnya dengan melaksanakan perencanaan dan pengawasan yang cermat terhadap bahan-bahan yang akan digunakan. Menurut SNI 03-2834-2000, beton adalah campuran dari semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan untuk membentuk suatu padatan.

Jenis agregat yang digunakan dalam campuran beton berupa agregat halus (pasir), agregat kasar (batu, kerikil), adapun pasta yaitu berupa campuran antara air dan *cement portland*. Agregat adalah partikel batuan pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik alam maupun buatan dalam bentuk mineral padat dalam bentuk besar maupun kecil atau serpihan. Semen portland merupakan semen hidrolis untuk mengikat bahan yang digunakan dalam pembuatan beton, yang terdiri atas bahan-bahan yang mengandung kapur, silica, alumina, dan oksida besi. Semen dan air yang mengeras dan mengikat agregat menjadi batu-batuan massa dapat disebut dengan proses hidrasi. Proses pengerasan ini berlangsung secara terus-menerus selama bertahun-tahun, yang berarti bahwa beton semakin kuat karena bertambahnya umur beton.

2. Penelitian Terdahulu

Ade Lisantono dan Jap Yovita Natalie (2018) melakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh penggunaan abu serabut kelapa dengan pembakaran 800° dan 1000° celcius sebagai bahan substitusi semen pada beton. Variasi substitusi kadar abu serabut kelapa yang digunakan yaitu sebesar 0%, 3% dan 6%. Penelitian dilakukan terhadap benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, diuji pada saat umur beton 28

hari. Kuat tekan beton tertinggi terdapat pada benda uji dengan pembakaran abu serabut kelapa pada suhu 1000° celcius dan kadar serabut kelapa 3% yaitu sebesar 29,877 MPa. Namun demikian saat kadar abu serabut kelapa dinaikkan menjadi 6% terjadi penurunan kuat tekan menjadi 24,939 MPa, meskipun nilai tersebut masih berada di atas kuat tekan beton normal yang besarnya 21,965 MPa. Berbeda dengan hasil uji kuat tekan terhadap abu serabut kelapa dengan suhu pembakaran 800° celcius. Kuat tekan yang diperoleh mengalami kenaikan apabila dibandingkan dengan kadar abu serabut kelapa 0%. Beton dengan kadar abu serabut kelapa 3% dan 6% secara berturut-turut adalah 26,641 MPa dan 27,341 MPa.

Nur Azizah Affandi dan Agus Imam Bukhori (2019) melakukan eksperimen dengan menggunakan abu serabut kelapa sebagai bahan tambah untuk kuat tekan beton. Eksperimen ini dilakukan di laboratorium dengan produksi 12 buah uji dengan persentase 0%, 0,25%, 0,5% dan 0,75% pada 7 hari. Dari data penelitian yang telah dilakukan, penelitian abu serabut kelapa mengalami kenaikan secara signifikan. Beton normal K-100 kuat tekan yang diperoleh 13,964 MPa, beton campuran abu serabut kelapa 0,25% mencapai 20,217 MPa, beton campuran abu serabut kelapa 0,50% mencapai 20,173 MPa, yang paling tinggi beton campuran abu serabut kelapa 0,75% dapat mencapai kuat tekan 20,041 MPa. Dengan demikian, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa abu serabut kelapa dapat dijadikan sebagai bahan tambah semen pada beton mutu K-100 pada persentase diatas.

Amiwarti, Agus Setiobudi, dan Apriko (2019) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan abu sekam padi dan abu serabut kelapa terhadap kuat tekan beton K-225. Penelitian ini dilakukan terhadap benda uji berbentuk kubus sebanyak 16 buah benda uji dengan variasi campuran abu sekam padi dan abu serabut kelapa sebanyak 0%+0%, 1%+1%, 2%+2%, dan 3%+3%. Pengujian kuat tekan dilakukan saat beton berumur 14 dan 28 hari. Berdasarkan data yang diperoleh, kuat tekan beton semakin meningkat seiring dengan bertambahnya variasi campuran abu sekam padi

dan abu serabut kelapa. Hasil nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari secara berturut-turut adalah 228,93 kg/cm², 176,8 kg/cm², 201,74 kg/cm², dan 213,17 kg/cm². Adapun hasil nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari secara berturut-turut adalah 258,4 kg/cm², 226,66 kg/cm², 260,66 kg/cm², dan 315,17 kg/cm². Kuat tekan maksimum yang diperoleh dalam penelitian ini berada pada variasi campuran 3%+3% umur 28 hari yaitu sebesar 315,17 kg/cm².

Septy Andany Subagyo, Eko Noerhayati, dan Bambang Suprpto (2020) mengkaji pengaruh penambahan abu sabut kelapa pada campuran beton untuk perkerasan jalan. Penelitian ini dilakukan karena di daerah sekitar Kecamatan Nguling Kabupaten Pasuruan banyak dijumpai limbah sabut kelapa, maka digunakan sebagai inovasi campuran beton dengan mengurangi penggunaan semen. Pembuatan sampel beton dilakukan dengan kuat tekan rencana 22,5 MPa serta dengan persentase penambahan abu sabut kelapa sebanyak 5%, 10%, 15%, dan 25%. Pengujian terhadap sampel beton dilakukan ketika beton telah mencapai umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Dari hasil penelitian ini diperoleh nilai kuat tekan rata-rata untuk variasi campuran 5% nilai kuat tekan 401 kg/cm², 10% nilai kuat tekan 408 kg/cm², 15% nilai kuat tekan 387 kg/cm², 20% nilai kuat tekan 278 kg/cm², dan untuk variasi campuran 25% nilai kuat tekan 214 kg/cm². Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dari hasil yang diperoleh untuk nilai kuat tekan paling tinggi berada pada variasi campuran 10% yaitu hasil nilai kuat tekan sebesar 408 kg/cm².

Arimanwa M. C., Anyadiegwu P. C., dan Ogbonna N. P. (2020) melakukan penelitian untuk mengetahui potensi penggunaan abu sabut kelapa (CFA) dalam beton. Eksperimen ini dilakukan dengan campuran yang bervariasi, yaitu sebesar 10%, 20% dan 30%, dengan umur beton 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari secara berturut-turut adalah 16,54 MPa, 13,00 MPa, dan 12,65 MPa. Hasil tersebut mengalami penurunan secara terus menerus apabila dibandingkan dengan beton normal, yaitu sebesar 19,51 MPa.

B. Landasan Teori

1. Bahan Penyusun Beton

a. Semen Portland

Semen portland merupakan semen hidrolis yang terdiri atas bahan-bahan yang mengandung kapur, silica, alumina, dan oksida besi. Semen portland memiliki beberapa sifat yang dapat meningkatkan kekuatan. Sifat yang paling penting dari semen Portland yaitu mampu mengeras melalui suatu reaksi kimia dengan air yang disebut dengan hidrasi.

Semen Portland dapat diproduksi dengan menggiling terak semen Portland, yang terutama dibuat secara hidrolis dari kalsium silikat dan digiling dengan aditif yang berupa satu atau lebih bentuk kristal dari senyawa kalsium sulfat dan mungkin ditambahkan aditif lainnya.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 tentang Semen Portland, jenis dan penggunaan semen portland dibedakan menjadi 5 jenis, diantaranya:

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

Tabel 2.1 Persyaratan Fisik Semen Portland Jenis I

No.	Uraian	Nilai
1.	Kehalusan:	
	Uji permeabilitas udara, m ² /kg	
	Dengan alat:	
	<i>Turbidimeter</i> , min	160
	<i>Blaine</i> , min	280
2.	Kekentalan:	
	Pemuaian dengan <i>autoclave</i> , maks %	0,80
3.	Kuat tekan:	
	Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum	-
	Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum	125
	Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum	200
	Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	280
4.	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat:	
	<i>Gillmore</i>	
	- Awal, menit, minimal	60
	- Akhir, menit, maksimum	600
	<i>Vicat</i>	
	- Awal, menit, minimal	45
- Akhir, menit, maksimum	375	

(Sumber: SNI 15-2049-2004)

b. Agregat

Agregat adalah partikel mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Karena volume agregat pada beton $\pm 70\%$ dari volume beton, agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, serta memberikan kekuatan pada beton, sehingga kualitas agregat sangat mempengaruhi mutu beton yang akan dihasilkan. Terdapat 2 jenis agregat yang dibutuhkan, yaitu:

1) Agregat Halus (Pasir)

Pasir dalam campuran mortar atau beton sangat berpengaruh dalam menentukan kemudahan *workability*, kekuatan, dan tingkat keawetan dari mortar atau beton yang akan dihasilkan. Pasir dapat diperoleh dari alam, salah satunya dengan cara memompa dari

sungai atau melalui endapan. Pada beberapa daerah, pasir juga dapat diperoleh melalui tambang pasir atau pecahan batu (*stone crusher*) yang berupa abu batu.

Pasir sebagai agregat halus yang digunakan harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan karena sangat berpengaruh pada kualitas beton yang dihasilkan. Menurut PBI 1971 Pasal 3.3, syarat-syarat agregat halus (pasir) 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 beraneka ragam 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.

Batas susunan butiran agregat halus terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batasan Susunan Butir Agregat Halus

Ukuran Saringan (Aayakan)				% Lolos Saringan/Ayakan				
				SNI 03-2834-2000				ASTM C-33
mm	SNI	ASTM	inch	Pasir Kasar Gradasi No. 1	Pasir Sedang Gradasi No. 2	Pasir Agak Halus Gradasi No. 3	Pasir Halus Gradasi No. 4	Fine Aggregate Sieve Analysis
9,50	9,6	% in	0,3750	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
4,75	4,8	no. 4	0,1870	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100	95 - 100
2,36	2,4	no. 8	0,0937	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100	80 - 100
1,18	1,2	no. 16	0,0469	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100	50 - 85
0,60	0,6	no. 30	0,0234	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100	25 - 60
0,30	0,3	no. 50	0,0117	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50	5 - 30
0,15	0,15	no. 100	0,0059	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15	0 - 10

Tabel Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33)

The fine aggregate shall have not more than 45 % passing any sieve and retained on the next consecutive sieve

(Sumber: SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33)

2) Agregat Kasar (Batu Pecah)

Agregat kasar bersifat mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Suatu material dapat disebut dengan agregat kasar apabila sudah melebihi $\frac{1}{4}$ inch (6 mm). Menurut PBI 1971 Pasal 3.4, syarat-syarat agregat kasar (batu pecah) adalah sebagai berikut:

- a) Disebut agregat kasar karena tidak memiliki pori-pori yang lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya. Agregat kasar harus memiliki ketahanan yang baik dalam keadaan cuaca panas ataupun dingin.
 - b) Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering. Jika melebihi 1% maka agregat kasar tersebut harus dicuci terlebih dahulu.
 - c) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
 - d) Menurut SNI 2847-2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung) ukuran maksimum agregat kasar harus tidak melebihi:
 - (1) $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi cetakan;
 - (2) $\frac{1}{3}$ ketebalan *slab*; dan
 - (3) $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antar tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon prategang, atau selongsong.
- c. Air

Dalam produksi beton, beberapa fungsi air adalah untuk mengolah semen secara kimiawi, membasahi agregat, dan untuk memudahkan pekerjaan beton. Air minum sering dapat digunakan dalam campuran beton. Air yang digunakan sebagai campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan berbahaya yang mengandung minyak, asam, alkali, garam, bahan organik atau bahan lain yang berbahaya bagi beton atau tulangan, karena jika digunakan dalam campuran beton akan

menurunkan mutu beton, dan bahkan dapat mengubah kualitas dan sifat-sifat beton yang dihasilkan.

2. *Pozzolan*

Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), dimana tidak memiliki sifat mengikat seperti semen, tetapi berbentuk halus dan bila terkena air senyawa ini akan bereaksi dengan kapur bebas atau kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada suhu normal, sehingga membentuk senyawa dengan sifat seperti kalsium silikat dan kalsium aluminat (Tjokrodimuljo, 1996). Komponen utama *pozzolan* adalah silikat (SiO_2).

Pozzolan dapat ditambahkan ke dalam campuran beton dan mortar untuk meningkatkan kemampuan kerja (kekuatan) dan membuat beton lebih kedap air (mengurangi permeabilitas). Berdasarkan proses pembentukan (asalnya), jenis *pozzolan* dibedakan menjadi dua jenis yaitu *pozzolan* alam dan *pozzolan* buatan. *Pozzolan* alam adalah bahan alam berupa endapan abu vulkanik atau lahar yang mengandung silika aktif, yang bila dicampur dengan kapur akan melakukan proses sementasi. Adapun *pozzolan* buatan dalam bentuk residu yang berasal dari sisa pembakaran tungku, serta penggunaan limbah yang diubah menjadi abu yang mengandung silika reaktif selama pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*rice husk ash*), *silica fume*, dan lainnya.

3. Abu Serabut Kelapa

Abu serabut kelapa terdiri dari unsur-unsur organik seperti serat selulosa dan *lignin*. Selain itu, abu serabut kelapa juga mengandung mineral antara lain silika, alumina dan oksida oksida besi. Kandungan SiO_2 dalam abu serabut kelapa berfungsi sangat penting karena dapat bereaksi dengan kapur dan air.

Komposisi senyawa Abu Serabut Kelapa (dalam persen massa) meliputi unsur SiO_2 42,98%, Al_2O_3 2,26% dan Fe_2O_3 1,66% (Alexander & Mukhlis, 2011). Hasil penelitian terhadap kandungan silika oksida dalam abu serabut kelapa dapat bereaksi secara reaktif (*amorphous*) sehingga

memungkinkan SiO_2 dapat bereaksi secara kimia dengan Ca(OH)_2 atau kapur bebas akibat reaksi hidrasi semen dengan air.

4. Pengujian Bahan Campuran Beton

a. Pengujian Agregat

Pemilihan agregat yang akan digunakan dalam pembuatan beton sangat penting karena menempati kurang lebih 70% dari total volume beton keras. Agregat yang akan digunakan dalam campuran beton terdiri dari agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu pecah). Dalam campuran beton, agregat berfungsi sebagai bahan pengisi, memberikan nilai ekonomis, memberikan kekuatan dan keawetan, serta memberikan stabilitas dan kekuatan terhadap beton keras. Dengan demikian, agregat sangat berdampak terhadap beton, sehingga diperlukan karakteristik dari masing-masing agregat, yaitu dengan metode pengujian yang tepat untuk mengevaluasi agregat dalam perkerasan beton.

1) Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar

Salah satu syarat yang harus dipenuhi agar beton dapat tercampur dengan baik adalah uji gradasi. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pemisahan butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan cara diayak. Dari hasil tersebut maka dapat diketahui kesesuaian atau ketidaksesuaian antara gradasi dan spesifikasi. Adapun acuan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu SNI 03-1968-1990 : Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.

2) Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Kadar Lumpur adalah agregat yang sangat halus berukuran kurang dari 75 mikron (ayakan No. 200). Pengujian kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui persentase kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus, serta bertujuan untuk menentukan apakah agregat tersebut baik atau tidak apabila digunakan dalam campuran beton. Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI 1982), nilai maksimum kandungan lumpur

pada pasir adalah 5%. Apabila kadar lumpur melebihi 5% maka agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.

3) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis (*Bulk*), berat kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry* (SSD) dan berat jenis semu (*Apparent*), serta penyerapan air oleh agregat halus. Adapun acuan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu SNI 1970:2008 : Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.

4) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat jenis (*Bulk*), berat kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry* (SSD) dan berat jenis semu (*Apparent*), serta penyerapan air oleh agregat kasar. Adapun acuan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu SNI 1969:2008 : Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.

5) Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles*. Adapun acuan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu SNI 2417:2008 : Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*.

b. Pengujian Kehalusan Abu Serabut Kelapa

Abu Serabut Kelapa digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen. Bahan pengganti yang digunakan harus dilakukan pengujian terlebih dahulu. Kehalusan merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi laju reaksi antara partikel semen dan air. Pengujian kehalusan dilakukan dengan menggunakan saringan No. 100 dan No. 200. Adapun acuan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu SNI 15-2531-1991 : Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland.

5. *Mix Design*

Perencanaan *Mix Design* menggunakan acuan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan *mix design* adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan Kuat Tekan Beton yang disyaratkan (f_c')

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

- b. Menentukan Deviasi Standar

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton. Semakin baik mutu pelaksanaan maka nilai deviasi standar semakin kecil. Deviasi standar yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton menurut rumus (SNI 03 2834-2000).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

S = Standar deviasi

x_i = Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

\bar{x} = Kuat tekan beton rata-rata menurut rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:

n = Jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji).

Untuk memberikan gambaran cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan, diberikan pedoman dengan melihat Tabel 2.3.

Tabel 2.3 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: Kardiyono Tjokrodinuljo, 1992)

c. Menghitung Nilai Tambah (*Margin*)

$$M = k \cdot Sd \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

M = Nilai tambah (MPa)

k = 1,64

Sd = Deviasi standar rencana

d. Menentukan kuat tekan rata-rata yang direncanakan

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

$$f_{cr} = fc' + MM = k \cdot Sd \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

f_{cr} = Kuat tekan rata-rata (MPa)

fc' = Kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

e. Menentukan Jenis Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004 tentang Semen Portland, di Indonesia semen portland dibedakan menjadi lima jenis yaitu tipe I, II, III, IV, V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, sedangkan jenis III merupakan semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau dengan kata lain sering disebut cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah dipakai semen biasa atau semen yang cepat mengeras. Dan pada penelitian ini digunakan semen Portland

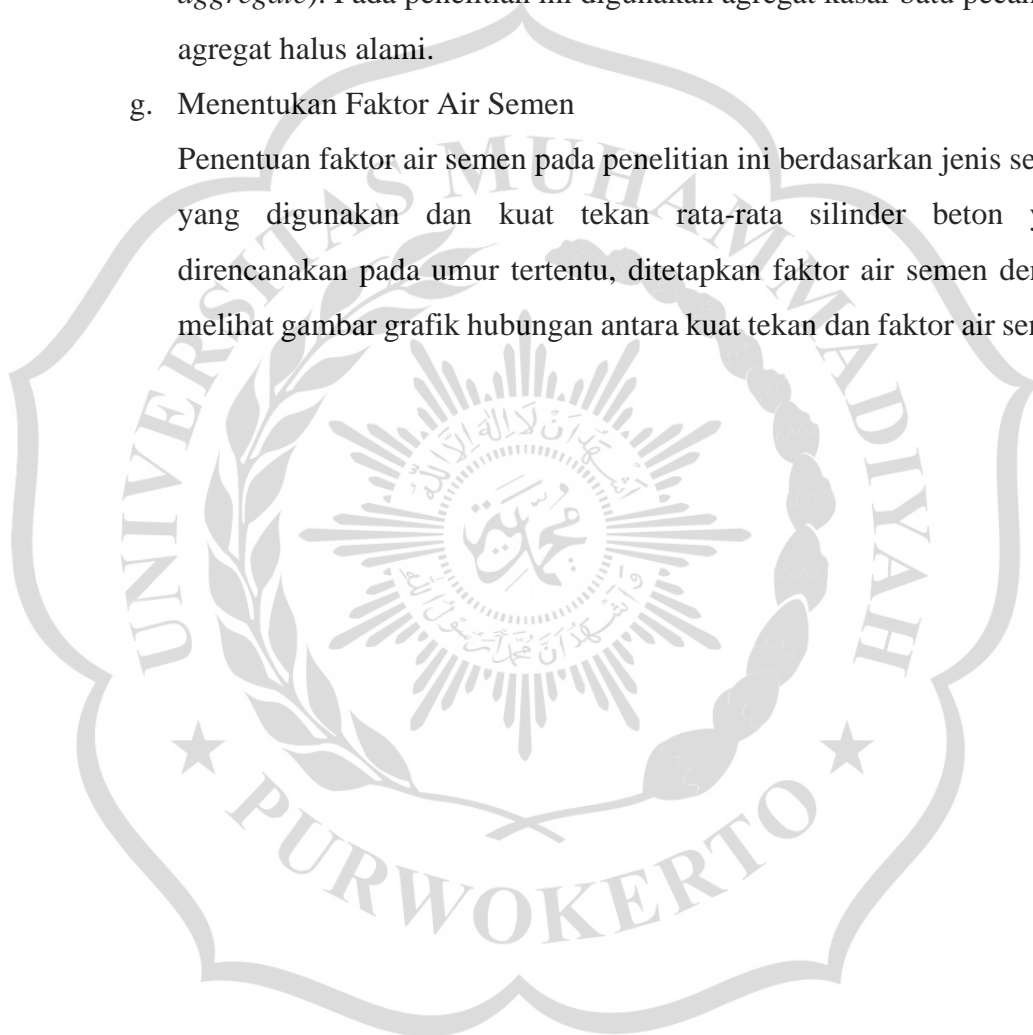
tipe I karena beton yang akan digunakan tidak memerlukan persyaratan khusus.

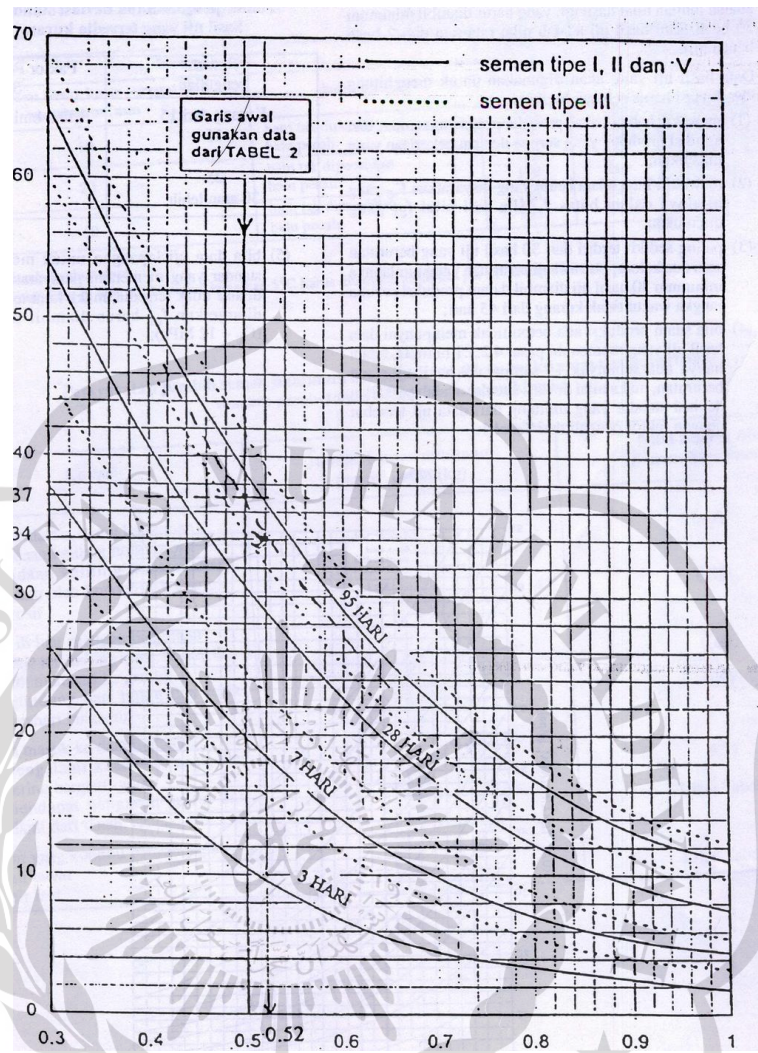
f. Menentukan Jenis Agregat

Jenis agregat kasar dan agregat halus ditetapkan, apakah berupa agregat alami (tak dipecahkan) ataukah agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*). Pada penelitian ini digunakan agregat kasar batu pecah dan agregat halus alami.

g. Menentukan Faktor Air Semen

Penentuan faktor air semen pada penelitian ini berdasarkan jenis semen yang digunakan dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan faktor air semen dengan melihat gambar grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen.





Gambar 2.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

h. Menentukan Faktor Air Semen Maksimum

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai fas maksimum. Jika nilai fas maksimum ini lebih rendah dari fas pada langkah 7, maka nilai fas maksimum ini yang dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2.4 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 Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I atau Semen Tahan Sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	23	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	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2.5 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	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
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 2.3
Beton yang kontinu berhubungan:	
a. air tawar	Lihat Tabel 2.4
b. air laut	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2.6 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 Nominal Agregat Maksimum (kg/m ³)			Faktor air semen
	Dalam Tanah		Sulfat (SO ₃) dalam Air Tanah g/l		40 mm	20 mm	10 mm	
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2 : 1 g/l						
1.	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe I dengan atau tanpa <i>pozzolan</i> (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 <i>pozzolan</i> (15-40%)	290	330	350	0,5
				Tipe I <i>pozzolan</i> (15-40%) atau Semen Portland <i>Pozzolan</i>	270	310	360	0,55
				Tipe ell atau Tipe V	250	290	340	0,55
3.	0,5-1	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I <i>pozzolan</i> (15-40%) atau Semen	340	380	430	0,45

				Portland <i>Pozzolan</i>				
				Tipe ell atau Tipe V	290	330	380	0,50
4.	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe ell atau Tipe V	330	370	420	0,45
5.	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe ell atau Tipe V Lapisan Pelindung	330	370	420	0,45

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2.7 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 Pra Tegang	Air Tawar	0,50	Tipe-V Tipe I + <i>Pozzolan</i> (15-40%) atau Semen Portland Pozalen	280	300	
	Air Payau	0,45		Tipe ell atau Tipe V	340	380
	Air Laut	0,50		Tipe ell 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. Menentukan Besar Butir Agregat Maksimum

Penentuan 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 2.8 Perkiraan Kebutuhan Air per Meter Kubik Beton

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

(Catatan: untuk suhu di atas 25°C harus ditambah air 5 liter per m³ adukan beton)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

l. Menghitung Berat Semen yang Diperlukan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 11) dengan faktor air semen yang diperoleh pada Langkah 7 dan 8.

m. Menetapkan Kebutuhan Semen Minimum

Tabel 2.9 Kebutuhan Semen Minimum per m³ Beton

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (kg)
Beton di dalam ruang bangunan:	275
a. keadaan keliling non-korosif	325

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (kg)
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	
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:	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
b. 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 12 ternyata lebih sedikit daripada kebutuhan semen minimum pada langkah 13, maka kebutuhan semen yang harus dipakai adalah yang minimum (yang nilainya lebih besar).

o. Menyesuaikan Jumlah Air atau Faktor Air Semen

Apabila jumlah semen terdapat perubahan pada langkah 14, maka nilai faktor air semen berubah. Dalam hal ini, dapat dilakukan dua cara berikut:

- 1) Pertama, faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum;
- 2) 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 hasil analisis ayakan (uji gradasi), agregat halus yang akan digunakan dapat diklasifikasikan menjadi 4 daerah. Penentuan daerah gradasi tersebut didasarkan atas grafik gradasi yang diberikan dalam Tabel 2.10.

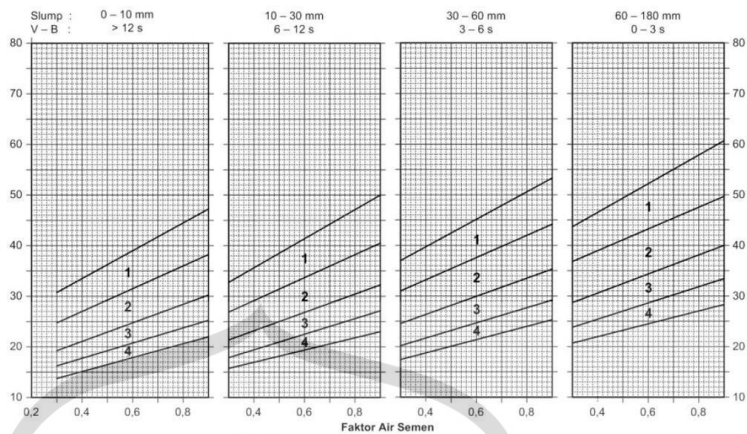
Tabel 2.10 Batas Gradasi Pasir

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	1-10	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 agregat campuran yang baik. Pada langkah ini yaitu mencari 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. (Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 2.2 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 dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$BJ \text{ Camp} = \frac{P}{100} \times BJ \text{ Ag. Halus} + \frac{K}{100} \times BJ \text{ Ag. Kasar} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan:

BJ Camp = Berat jenis agregat campuran

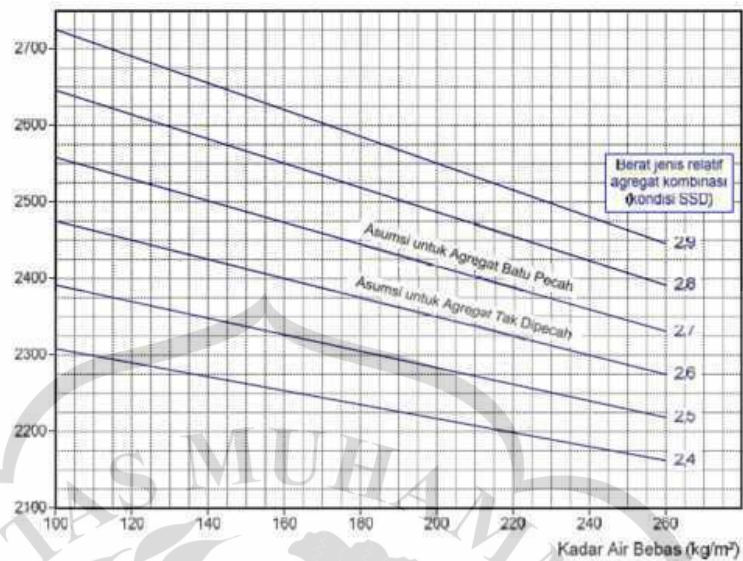
BJ Ag. Halus = Berat jenis agregat halus

BJ Ag. Kasar = 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 apabila tidak ada dapat diambil sebesar 2,60 untuk agregat tak pecah/alami dan 2,70 untuk agregat pecahan.



Gambar 2.3 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 18 dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dengan grafik pada Gambar 2.3 dapat diperkirakan berat jenis betonnya dengan cara berikut:

- 1) Dari berat jenis agregat campuran pada langkah 17 dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada Gambar 2.3 kebutuhan air yang diperoleh pada langkah 11 dimasukkan dalam Gambar 2.3 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 17 dan 20. Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan

kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat campuran dengan persentase berat agregat halus.

- v. Hitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 20 dan 21. Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

6. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beban beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang dapat menyebabkan benda uji hancur apabila diberi beban dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari pada masing-masing benda uji. Pengujian dilakukan dengan mesin uji tekan, kemudian benda uji ditekan searah dengan tinggi silinder beton sampai benda uji tersebut pecah dan jarum penunjuk tidak naik lagi.

Kuat tekan benda uji dapat diperoleh dengan rumus:

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan pengertian:

f_c' adalah kuat tekan beton dengan benda uji silinder, dinyatakan dalam MPa atau N/mm²;

P adalah gaya tekan aksial, dinyatakan dalam Newton (N);

A adalah luas penampang melintang benda uji, dinyatakan dalam mm².

Dari hasil kuat tekan masing-masing benda uji, kemudian dapat dihitung kuat tekan rata-rata (f_{cr}) yaitu:

$$(f_{cr}) = \frac{\sum f_c}{n} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

f_{cr} = Kuat tekan rata-rata

f_c = Kuat tekan beton masing-masing benda uji

n = Jumlah sampel