

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1992) menyatakan bahwa beton merupakan hasil mencampurkan semen *portland*, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non-kimia) pada perbandingan tertentu. Hasil pencampuran setelah dimasukkan ke dalam cetakan yang sudah di sediakan akan mengeras seperti batuan.

Pada Peraturan 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 yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Tjokrodimuljo (1992) sebagai berikut:

a. kelebihan:

1. harga relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari bahan local, kecuali semen *portland*,
2. beton termasuk bahan berkekuatan tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan,
3. beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran seberapapun tergantung keinginan,

4. kuat tekannya yang tinggi mengakibatkan jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat.
 5. beton segar dapat disemprotkan di permukaan beton lama yang retak maupun diisi ke dalam retakan beton dalam proses perbaikan,
 6. beton segar dapat dipompa sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit,
 7. beton termasuk tahan aus dan tahan kebakaran, sehingga biaya perawatan termasuk rendah.
- b. kekurangan:
1. beton memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak,
 2. beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah,
 3. beton keras mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu,
 4. beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusak beton,
 5. beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga harus dihitung dan didetail secara seksama agar setelah di kompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa,

2.2. Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun dari beton serat kawat bendrat yang ditambah *viscocrete-1003* dan *fly ash* tidak jauh berbeda. Bahan utama seperti semen *portland*, pasir, agregat kasar dan halus, air masih sama seperti bahan pembuatan beton pada umumnya.

2.2.1. Semen Portland

Semen *portland* menurut SNI15-2049-2004 adalah 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.

Bahan-bahan pokok penyusun semen terdiri dari kapur, silica, alumina dan oksida besi. Menurut Tjokrodimuljo (1992) pada dasarnya terdapat 4 unsur penting dalam semen yaitu:

- a. trikalsium silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$,
- b. dikalsium silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$,
- c. trikalsium aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$,
- d. tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) atau $3CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$,

Menurut Tjokrodimuljo (1992) unsur trikalsium silikat dan dikalsium silikat biasanya menjadi bagian yang paling dominan dalam semen yaitu mengisi 70% – 80%, sehingga mempengaruhi sifat semen. Di lapangan terdapat berbagai macam jenis semen yang dapat dijumpai di berbagai proyek konstruksi atau di toko bangunan. Jenis semen yang tersedia dipasaran

disesuaikan dengan kebutuhan dari beton yang dihasilkan. Dalam SNI 15-2049-2004 menjelaskan beberapa jenis semen, yaitu sebagai berikut.

- a. Jenis I: semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II: semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III: semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap pemulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV: semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V: semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.2. Air

Air merupakan bahan yang harus ada dalam pembuatan beton, karena dengan menambahkan air semen akan bereaksi. Selain itu, air juga berfungsi untuk menjadi pelumas agregat kasar maupun agregat halus agar nanti dapat dengan mudah dikerjakan. Penggunaan air pada campuran beton segar berkisar 0,3 dari berat semen. Pada penerapannya di lapangan, penggunaan faktor air semen (fas) dibawah 0,35 sulit untuk diterapkan, karena beton segar akan cenderung susah untuk dikerjakan, keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Akan tetapi, apabila air pada campuran beton terlalu banyak, akan

mengakibatkan naiknya air bersama semen ke permukaan (*bleeding*) yang menyebabkan menurunnya lekatan antar lapisan.

Air yang dapat digunakan dalam pencampur beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling (Tjokrodimuljo, 1992). Oleh karena itu, Tjokrodimuljo (1992) memberikan syarat-syarat air yang dapat digunakan dalam pencampuran beton sebagai berikut.

- a. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang merusak beton 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.

2.2.3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat mengisi sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Agregat mempunyai pengaruh terhadap sifat-sifat beton, oleh karena itu pemilihan agregat sangat penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1992). Praktek di lapangan menurut Tjokrodimuljo (1992) pada umumnya agregat dapat digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

- a. batu (besar butiran > 40 mm),
- b. kerikil (besar butiran antara 5 mm – 40 mm),
- c. pasir (besar butiran antara 0,15 mm – 5 mm).

Faktor penting lain yang perlu diperhatikan dalam pemilihan agregat untuk pembuatan mortar atau beton adalah gradasi atau distribusi ukuran butiran agregat. Dalam pemilihannya diperlukan ukuran agregat yang bervariasi agar pada saat pencampuran adukan mortar/beton, butir-butir yang lebih kecil mengisi rongga yang dihasilkan oleh agregat yang lebih besar sehingga menghasilkan beton dengan kemampuan yang tinggi.

A. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI-03-2847-2002). Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan organik dan mampu memiliki ikatan yang baik.

Mutu agregat kasar menurut ASTM C 33-02 (2002) (Ardy, 2017) disyaratkan sebagai berikut:

- a. tidak reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen mengandung natrium oksida kurang dari 0,6%,
- b. susunan gradasi memenuhi syarat,
- c. kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk pada beton,
- d. sifat fisika (kekerasan butir agregat yang diuji dengan *Los Angeles Abrasion*).

B. Agregat Halus

Agregat halus adalah hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm (SNI-03-2847-2002). Gradasi pasir dapat dikelompokkan menjadi 4 yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar.

Tabel 2.1. Gradasi pasir
(Tjokrodimuljo, 1992)

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	kasar	agak kasar	agak halus	halus
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	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

2.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah menurut Tjokrodimuljo (1992) adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera, atau selama pengadukan beton. Tujuan dari pemberian bahan tambah ini adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit serta dalam pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang justru akan memperburuk sifat beton. Perubahan sifat-sifat beton yang terjadi berupa kecepatan hidrasi (waktu ikatan), kemudahan pengerjaan, dan kekedapan terhadap air.

Menurut Tjokrodimuljo (2007), bahan tambah dapat dibedakan menjadi

3 jenis yaitu:

a. Bahan kimia tambahan (*chemical admixture*)

Bahan kimia tambahan adalah bahan tambah (bukan bahan pokok) yang dicampur pada adukan beton, untuk memperoleh sifat-sifat khusus dalam pengerjaan adukan, waktu pengikatan, waktu pengerasan, dan magsud-magsud lainnya.

Dalam hal ini bahan kimia tambahan yang dimasukan ke dalam adukan beton juga dapat dibedakan menjadi 5 jenis, tergantung dari tujuan penggunaannya. Jenis bahan kimia tambahan sebagai berikut.

1. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan mencampurkan bahan kimia ini, faktor air semen menjadi lebih rendah dengan nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer dari faktor air semen yang sama.
2. Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan kimia ini digunakan pada saat lokasi tempat pengadukan beton dan tempat penuangan memiliki jarak yang jauh serta memerlukan waktu lebih dari 1 jam.

3. Bahan kimia tambahan untuk mempercepat ikatan dan pengerasan. Bahan ini digunakan pada pekerjaan yang membutuhkan penyelesaian yang cepat.
4. Bahan kimia tambahan fungsi ganda, yang berfungsi untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton.
5. Bahan kimia tambahan fungsi ganda, yang berfungsi untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton

Secara khusus terdapat 2 jenis bahan kimia tambahan yaitu:

1. bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air campuran sampai dengan 12% atau lebih,
2. bahan kimia dengan fungsi ganda, berfungsi untuk mengurangi air sampai 12% atau lebih dan untuk memperlambat waktu pengikatan awal.

b. *Pozolan*

Pozolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat (SiO_2) dan atau aluminat (Al_2O_3) yang reaktif. Senyawa silikat dan aluminat yang reaktif akan bereaksi dengan hasil sampingan dari proses hidrasi antara semen *portland* dengan air semen yaitu kapur padam aktif (Ca(OH)_2) menjadi kalsium silikat hidrat ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$). Hasil dari reaksi ini berupa kalsium silikat hidrat, yang mana bila *pozolan*

dipakai akan membuat beton lebih rapat air, dan lebih tahan terhadap serangan kimia (garam, sulfat, dan air asam).

Menurut Tjokrodimuljo ada beberapa kelompok *pozolan* yaitu:

1. tras alam,
2. semen merah,
3. gilingan terak dapur tinggi,
4. abu terbang (*fly ash*).

Penerapan di lapangan, *pozolan* dipakai untuk bahan tambah atau sebagai bahan pengganti semen.

c. Serat

Serat merupakan salah satu bahan tambah yang berasal dari alam atau buatan. Beton yang ditambah dengan serat dapat menjadi suatu bahan komposit yang disebut dengan beton serat (*fiber concrete*). Ada beberapa jenis serat yang dapat kita terapkan dalam pembuatan beton serat, yaitu:

1. asbestos,
2. *glass*,
3. plastik,
4. serat tumbuh-tumbuhan,
5. baja.

Fungsi dari penambahan serat dalam campuran beton adalah untuk:

1. menambah kuat tarik,

2. menambah daktilitas,
3. menambah ketahanan terhadap retak.

Dalam penerapannya, ada beberapa permasalahan antara lain mahalny harga serat saat ini yang beredar dipasaran.

2.3. Beton Serat

Beton serat adalah beton yang dalam proses pengadukannya ditambah dengan potongan serat, baik itu serat yang berasal dari alam atau buatan. Serat yang dipakai biasanya memiliki diameter antara 5 sampai dengan 500 μm (mikro meter) dan memiliki panjang serat sekitar 25 mm (Tjokrodimuljo, 1992).

Jenis serat yang dipakai dalam adukan beton dapat berupa serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat asbestos, *polypropylene*, atau potongan dari kawat baja. Serat dalam beton dianggap sebagai agregat sangat tidak bulat. Penambahan serat kedalam adukan beton memberikan efek menurunnya nilai kelecakan (*workability*) dan mempersulit segregasi. Penggunaan serat dimaksudkan untuk mencegah terjadinya retak-retak sehingga beton menjadi lebih daktail. Maksud utama dari penambahan serat menurut Tjokrodimuljo (2007) adalah sebagai berikut:

1. menambah kuat tarik, karena beton memiliki kuat tarik yang rendah,
2. menambah daktilitas, karena beton adalah bahan yang getas,
3. menambah ketahanan terhadap retak.

2.4. Serat Baja (Kawat Bendrat)

Beton serat merupakan sebuah inovasi beton yang menambahkan potongan serat ke dalam campuran beton segar dan guna untuk mengatasi lemahnya kuat tarik yang dimiliki oleh beton. Ada banyak jenis serat yang tersedia, mulai dari serat alam atau pun buatan. Salah satu serat yang dapat dipakai sebagai serat dalam beton adalah serat baja. Serat baja dapat berupa potongan kawat bendrat dengan variasi diameter antara 5 – 500 mikrometer (1 mikrometer = 1 / juta meter) dan panjang sekitar 50 mm. Pemakaian serat baja pada campuran adukan beton segar berkisar antara 50 kg sampai dengan 200 kg per meter kubik beton. Dalam pengerjaannya dilapangan, serat baja yang berada di permukaan beton akan mengalami karat, namun sangat awet jika sudah berada di dalam beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Penggunaan kawat bendrat dalam campuran adukan beton harus sesuai dengan ketentuan panjang dan diameter serat yang ditentukan. Dalam ACI 544 (Gunawan dkk., 2015) menyebutkan bahwa rasio dari panjang dan diameter serat yang dapat dipakai dalam campuran beton harus masuk dalam *range* sebagai berikut.

$$12,7 < L/d < 63,5 \dots\dots\dots(2-1)$$

dimana : L : panjang serat

d : diameter serat

2.4.1. Kelebihan dan kekurangan kawat bendrat

Menurut Kusumo (2013) penggunaan kawat bendrat sebagai serat pada beton memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, yaitu sebagai berikut.

a. Kelebihan:

1. dapat meningkatkan kuat lentur beton,
2. daktilitas meningkat,
3. kemungkinan terjadi segregasi kecil,
4. retak yang terjadi dapat direduksi,
5. meningkatkan kuat tarik belah serta kuat tekan beton.

b. Kekurangan:

1. terjadinya *billing* pada saat pengadukan,
2. proses pengerjaan lebih sulit (*workability* susah),
3. mudah korosi bila terkena udara langsung.

2.5. Sika Viscocrete-1003

Sika *Viscocrete-1003* adalah jenis superplasticizer yang digunakan untuk campuran beton dengan transportasi diperpanjang dan persyaratan kerja yang diperluas, pengurangan air ultra tinggi dan karakter aliran yang sangat baik. *Superplasticizer* ini tidak memiliki kandungan klorida atau bahan lainnya yang dapat meningkatkan korosi pada baja, maka dari itu bahan ini sangat sesuai digunakan dalam struktur beton bertulang (PT. Sika, 2018).

Superplasticizer ini sangat kuat bekerja melalui beberapa mekanisme. Adapun beberapa sifat yang dapat tercapai oleh penambahan zat ini:

1. beton dengan aliran tinggi,
2. pengurangan air hingga 30%,
3. beton dengan kekuatan tinggi,
4. *self compacting concrete*,
5. beton *ready mix*.

Untuk penggunaan beton normal dengan peningkatan aliran disarankan dosis yang dipakai yaitu 0,2 – 0,6% dari berat semen.

2.6. Fly Ash

Abu terbang atau *fly ash* adalah hasil sisa dari pembakaran Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang memiliki sifat *pozolan* yang dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan tambahan air dan membentuk senyawa mengikat (Suarnita, 2011).

Ada 3 jenis *fly ash* yang digunakan (Tjokrodinuljo, 2007), yaitu:

- a. kelas F

fly ash yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasit pada suhu 1560°C,

- b. kelas N

fly ash yang dihasilkan dari kalsinasi dari proses *pozolan* alam, misalnya tanah diatomice, shale, tuft, dan batu apung,

c. kelas C

fly ash yang dihasilkan dari pembakaran lignit atau batubara dengan kadar karbon sekitar 60%; Fly ash ini memiliki sifat seperti semen dengan kadar kapur diatas 10%.

2.6.1. Sifat – sifat Fly Ash

Beberapa sifat yang terdapat pada abu terbang (*fly ash*) dapat dijelaskan sebagai berikut (Suarnita, 2011).

1. Warna

Abu terbang berwarna abu-abu, bervariasi dari abu-abu muda sampai abu-abu tua. Makin muda warnanya sifat *pozolannya* makin baik. Warna hitam sering timbul disebabkan karena adanya karbon yang dapat mempengaruhi mutu abu terbang.

2. Komposisi

Unsur pokok abu terbang adalah silikon dioksida SiO_2 (30% - 60%), aluminium oksida Al_2O_3 (15% - 30%), karbon dalam bentuk batubara yang tidak terbakar (bervariasi hingga 30%), kalsium oksida CaO (1% - 7%) dan sejumlah kecil magnesium oksida MgO dan sulfur trioksida SO_3 .

3. Sifat *Pozolan*

Sifat *pozolan* adalah sifat bahan yang dalam keadaan halus dapat bereaksi dengan kapur padam aktif dan air pada suhu kamar (24°C - 27°C) membentuk senyawa yang padat tidak larut dalam air. Abu terbang mempunyai sifat *pozolan* seperti pada *pozolan* alam,

mempunyai waktu pengerasan yang lambat. Hal ini dapat diketahui dari daya ikat yang dihasilkan apabila dicampur dengan kapur. Kehalusan butiran abu terbang mempunyai pengaruh pada sifat *pozolan*, makin halus makin baik sifat *pozolannya*.

4. Kepadatan (*density*)

Kepadatan abu terbang bervariasi, tergantung pada besar butir dan hilang pijarnya. Biasanya berkisar antara 2,43 gr/cc sampai 3 gr/cc. Luas permukaan spesifik rata-rata 225 m²/kg - 300 m²/kg. Ukuran butiran yang kecil kadang-kadang terselip dalam butiran yang besar yang mempunyai fraksi lebih besar dari 300 µm.

5. Hilang Pijar

Hilang pijar menentukan sifat *pozolan* abu terbang. Apabila hilang pijar 10% - 20% berarti kadar oksida kurang, sehingga daya ikatnya kurang, yang berarti sifat *pozolannya* kurang.

6. Persyaratan Mutu

Persyaratan kimia dan fisik abu terbang dapat dilihat pada tabel 3.2 dan tabel 3.3.

2.6.2. Pengaruh Penggunaan Fly Ash

Menurut Suarnita (2011) ada beberapa pengaruh dari penggunaan *fly ash* sebagai berikut.

- a. Pekerjaan beton atau bahan bangunan bersemen:

1. bahan tambah untuk memperbaiki mutu beton karena mempunyai sifat *pozzolan*, memudahkan pekerjaan beton juga menambah kekuatan,
 2. pengganti sebagian semen sehingga lebih murah pada beton, *paving block*, dan lain-lain,
 3. sebagai bahan pengisi sehingga beton akan lebih kedap terutama untuk DAM, bak penampung dan pipa drainase.
- b. Penggunaan lain:
1. pada pekerjaan jalan sebagai jalan penstabil tanah dan bahan pengisi dibawah lapisan drainase,
 2. bahan baku pembuatan agregat ringan dengan proses kalisinasi,
 3. sebagai bahan pembuat bahan keramik, pemisah besi mineral aluminat dan lain-lain.

2.6.3. Keunggulan dan kelemahan Fly Ash

Menurut Suarnita (2011) keunggulan dan kelemahan penggunaan *fly ash* pada beton adalah sebagai berikut.

- a. Keunggulan
1. Pada beton segar:
 - a. memperbaiki sifat pengerjaan,
 - b. mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi,
 - c. mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi,
 - d. mengurangi jumlah air campuran.

2. Pada beton keras:

- a. meningkatkan kerapatan pada beton,
- b. menambah daya tahan beton terhadap serangan agresif (sulfat),
- c. meningkatkan kekuatan beton pada jangka panjang.

b. Kelemahan

1. Pemakaian abu terbang kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan betonnya agak lambat yang disebabkan karena terjadi reaksi *pozolan*.
2. Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu abu terbang sangat tergantung pada proses (suhu pembakaran) serta jenis abu batubaranya.

Tabel 2.2. Persyaratan Kimia Abu Terbang
(SNI 2460:2014)

Uraian	Kelas		
	N	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min, %	70	70	50
SO_3 , maks, %	4	5	5
Kadar air, maks, %	3	3	3
Hilang pijar, maks, %	10	6	6

Tabel 2.3. Persyaratan Fisik Abu Terbang
(SNI 2460:2014)

No	Senyawa	Kadar (%)		
		N	F	C
1	Kehalusan : Jumlah yang tertinggal diatas ayakan no. 325 (0,045mm) maks %	34	34	34
2	Indek aktifitas kekuatan:			
	1. dengan menggunakan semen <i>portland</i> kuat tekan pada umur 7 hari, min, persen	75	75	75
	2. dengan semen <i>portland</i> , pada umur 28 hari, min, persen	75	75	75
	3. kebutuhan air, maks, persen	115	105	105
3	Kekekalan bentuk pengembangan/penyusutan dengan <i>autoclave</i> , maksimum %	0,8	0,8	0,8
4	Keseragaman : Densitas dan kehalusan dari sampel individu tidak boleh bervariasi dari rata-rata 10 sampel atau dari seluruh sampel jika jumlahnya kurang dari 10, lebih dari:			
	Densitas, variasi maksimal dari rata-rata, %	5	5	5
	Persentase bahan yang tertinggal pada ayakan No. 325, variasi maksimal, persentase dari rata-rata	5	5	5

2.7. Workability

Workability merupakan sifat yang dipakai untuk acuan tingkat kemudahan adukan beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan dan sifat bahan yang dipakai dalam adukan beton mempengaruhi *workability*. Secara umum dapat dijelaskan dengan semakin encer campuran beton maka semakin mudah dalam pengerjaannya (Tjokrodinuljo, 1992).

Menurut Tjokrodinuljo (2007) terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat *workability*, yaitu:

- a. jumlah air yang dipakai dalam adukan campuran beton,
- b. jumlah pasta (semen dan air) dalam campuran adukan,
- c. gradasi agregat (agregat halus + agregat kasar) apabila mengikuti standar yang disarankan maka adukan akan memiliki kelecakan yang baik,
- d. bentuk butir agregat, pemakaian butir batuan bulat (kerikil) tampak lebih encer dan lebih mudah dikerjakan daripada butir agregat yang bersudut (batu pecah/split),
- e. besar butir maksimum agregat umumnya sebesar 40 mm atau 20 mm.

2.8. Percobaan Slump

Percobaan *slump* adalah suatu cara yang dapat dilakukan untuk mengukur kelecakan suatu adukan beton. Cara ini umum dilakukan karena sangat mudah dalam pelaksanaannya dan alat yang digunakan sangat sederhana. Makin besar nilai *slump* yang didapat pada saat pengujian maka semakin encer pula adukan yang dihasilkan serta semakin mudah dikerjakan. Pada umumnya nilai *slump* yang didapat berkisar antara 5 cm sampai dengan 12,5 cm (Tjokrodimuljo, 1992).

Sebagai pedoman dalam pelaksanaannya, berikut ini adalah tabel nilai *slump* yang disarankan.

Tabel 2.4. Nilai *slump* beton segar
(Tjokrodimuljo, 2007)

Pemakaian	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
Dinding, plat fondasi, dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur dibawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal (beton massa)	7,5	2,5

2.9. Segregasi

Segregasi merupakan kecenderungan dari butir-butir kerikil untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton. Pemisahan kerikil dari adukan beton akan menyebabkan beton tidak lagi homogen dan sangat tidak baik bagi beton setelah mengeras.

Pemisahan agregat akan semakin terjadi bila campuran adukan beton kurus (kurang semen), terlalu banyak air, semakin besar ukuran butir kerikilnya dan semakin kasar permukaan kerikil. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan agar mencegah terjadinya segregasi (Tjokrodimuljo,2007), yaitu:

- a. menambah pemakaian semen *portland* pada adukan beton,
- b. mengurangi jumlah air,
- c. memperkecil ukuran maksimal butir agregat kasar,
- d. menggunakan agregat kasar yang permukaannya lumayan halus,
- e. memperkecil jarak jatuh adukan saat penuangan (kurang dari 1 meter).

2.10. Bleeding

Bleeding adalah naiknya air campuran ke atas (memisahkan diri) pada beton segar yang baru saja dipadatkan. Air yang naik keatas akan mengandung semen dan butir halus pasir, dan setelah beton mengeras akan terlihat lapisan selaput yang disebut *laitance*.

Pencegahan terjadinya *bleeding* menurut Tjokrodimuljo (1992) dapat dilakukan dengan:

- a. memberikan lebih banyak semen *portland* pada campuran adukan beton,
- b. menggunakan air sesedikit mungkin,
- c. menggunakan butiran pasir yang halus lebih banyak,
- d. masukan sedikit udara untuk beton khusus.

2.11. Umur Beton

Kuat tekan beton bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksudkan umur disini dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu semakin lambat, dan laju kenaikan tersebut menjadi relative sangat kecil setelah 28 hari (Tjokrodimuljo, 2007).

Laju kenaikan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. jenis semen *portland*,
- b. suhu sekeliling beton, faktor air semen,
- c. dan faktor lain yang mempengaruhi.

Hubungan kuat tekan beton dengan umur beton dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.5. Rasio kuat tekan beton pada berbagai umur
(Tjokrodimuljo, 2007)

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen <i>Portland</i> biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen <i>Portland</i> dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

2.12. Penelitian Terdahulu Tentang Beton Serat Kawat Bendrat

Pada penelitian yang dilakukan Widodo (2012) pada “Pengaruh Penggunaan Potongan Kawat Bendrat Pada Campuran Beton dengan Konsentrasi Serat Panjang 4 cm Berat Semen 350 Kg/m³ dan FAS 0,5” , peneliti menggunakan serat kawat bendrat sebanyak 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Hasil yang didapat adalah turunnya nilai slump antara 2 sampai 5 cm. Pada kadar penambahan 5%, kuat tekan dan kuat tarik naik masing-masing sebesar 31,684% dan 39,931%, sedangkan modulus elastisitas naik pada kadar 7,5%.

Penelitian yang dilakukan oleh Junus (2017) pada “Efek Penambahan Serat Kawat Bendrat Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton yang Dirawat melalui Metode *Wet and Dry Curing*”, penelitian ini menggunakan kadar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%. Dari penelitian ini didapatkan hasil kuat tekan dan kuat tarik pada perawatan kering berturut-turut adalah 10,07 MPa, 10,25 MPa, 13,66 MPa, 18,5 MPa dan 1,42 MPa, 1,56 MPa, 1,78 MPa, 2,2 MPa. Sedangkan pada perawatan basah didapat kuat tekan dan kuat tarik berturut-turut adalah

14,26 MPa, 12,35 MPa, 20,5 MPa, 24 MPa dan 1,95 MPa, 1,99 MPa, 2,42 MPa, 2,64 MPa.

Pada penelitian Sahay dan Ngini (2010) pada “Pengaruh Penambahan Kawat Bendrat Pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan Beton”, peneliti menggunakan berat serat per m^3 (dari semen) 0%, 1%, 2%, 3%, 4%. Pada campuran beton ditambah Sikament-NN sebanyak 1,403% dan menggunakan *fly ash* sebanyak 6,83% dari berat semen. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah kuat tekan tertinggi didapat pada kadar kawat bendrat 2% sebesar 20,372 MPa.

Pada penelitian Napitupulu dan Surbakti (2014) pada “Analisa dan Kajian Eksperimental Pengaruh Penambahan Serat Bendrat (Serat Kawat) Pada Daerah Tarik Balok Beton Bertulang”, penelitian ini menggunakan kadar serat bendrat sebanyak 2%. Pada hasil pengujian didapat kuat tekan beton normal sebesar 19,763 MPa sedangkan beton serat sebesar 27,119 MPa atau meningkat sebesar 37,22%. Sedangkan pada kuat tarik didapatkan hasil beton normal 1,864 MPa dan beton serat 3,253 MPa atau meningkat sebesar 74,52%. Penurunan lendutan terjadi pada daerah tarik balok beton bertulang yakni rata-rata sebesar 35,26%. Regangan rata-rata juga mengalami penurunan sebesar 27,121% untuk regangan beton dan 30,201 untuk regangan besi.

2.13. Penelitian Terdahulu Tentang *Fly Ash*

Pada penelitian Takim dkk (2016) pada “Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air Pada Mortar”,

peneliti menggunakan kadar *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 30%. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah resapan air optimum dan kuat tekan maksimum didapat pada kadar *fly ash* 15%, dengan kuat tekan mencapai 420 Kg/m².

Pada penelitian Koraia (2013) pada “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Dalam Campuran Beton Sebagai Substitusi Semen Ditinjau dari Umur dan Kuat Tekan”, variasi *fly ash* yang dipakai adalah 0%, 5%, 10%, 15%. Nilai slump yang didapat semakin meningkat terlihat dari semakin banyak *fly ash* yang ditambahkan. Pada beton dengan menggunakan *fly ash* terlihat hasil bahwa peningkatan kekuatan pada awal umur agak lambat dan terus mengalami peningkatan selama umur pengamatan.

Pada penelitian Taufiq dan Subariman (2014) dengan “Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton Terkekang Ditinjau Dari Tegangan-Regangan”, *fly ash* dipakai dengan kadar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. Dari penelitian, regangan yang didapat tidak memenuhi syarat yang ditentukan. Pada penambahan *fly ash* 15% pada beton tanpa sengkang, tegangan meningkat 36,92% dan campuran berikutnya menurun. Sedangkan pada beton menggunakan sengkang meningkat 28,53% pada kadar 10% dan campuran selanjutnya menurun. Kuat tekan maksimum beton yang menggunakan sengkang didapat pada kadar 10% sebesar 29,592 MPa dan beton tanpa sengkang didapat pada kadar 15% sebesar 25,931 MPa.

2.14. Penelitian Terdahulu Tentang Superplasticizer

Pada penelitian Zardi dkk (2016) dengan “Pengaruh Persentase Penambahan Sika *Viscocrete-10* Terhadap Kuat Tekan Beton”, penelitian ini, FAS dipakai 0,3, kadar *viscocrete-10* dipakai 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 1,8%. Dari hasil pengujian *slump* didapatkan hasil berturut-turut 7,8 cm; 19,5 cm; 21,9 cm; 23 cm; 24,7 cm. Kuat tekan yang di dapat juga berturut-turut 295,43 kg/cm²; 376,50 kg/cm²; 452,94 kg/cm²; 501,63 kg/cm²; 515,78 kg/cm². Peningkatan kuat tekan seiring dengan bertambahnya persentase yang dipakai.

Pada penelitian Mardiono (2010) dengan “Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dalam Beton Mutu Tinggi”, kuat tekan yang direncanakan pada penelitian ini adalah 40 MPa. Kadar *Fly Ash* yang dipakai 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat semen. Kadar *viscocrete-10* sebanyak 1%. Dari pengujian, kuat tekan tertinggi didapat pada kadar 10% yaitu sebesar 41,57 MPa dan terendah pada kadar 40% yaitu 33,91 MPa.