

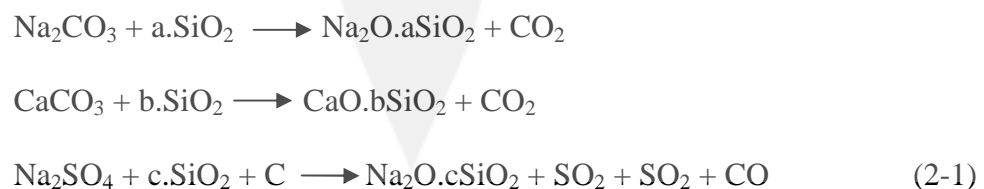
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penggunaan Kaca Dalam Bidang Konstruksi

Kaca adalah salah satu produk industri kimia yang paling akrab dengan kehidupan kita sehari-hari. Dipandang dari segi fisika kaca merupakan zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel-partikel penyusunnya yang saling berjauhan seperti dalam zat cair, namun kaca sendiri berwujud padat. Ini terjadi akibat proses pendinginan (*cooling*) yang sangat cepat, sehingga partikel-partikel silika tidak “sempat” menyusun diri secara teratur. Dari segi kimia, kaca adalah gabungan dari berbagai oksida an-organik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya (Dian, 2011). Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pembentukannya.

Reaksi yang terjadi dalam pembuatan kaca secara ringkas pada persamaan 2.1 (Dian, 2011) dibawah ini.



Karakteristik dari serbuk kaca dalam pembuatan beton adalah:

1. kaca merupakan bahan yang tidak menyerap air atau *zero water absorption*,

2. sifat kaca yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga pada beton secara maksimal sehingga beton bersifat kedap air,
3. kaca dalam hal ini adalah serbuk kaca mempunyai sifat sebagai *pozzoland* yang dapat meningkatkan kuat tekan dari beton,
4. kaca tidak mengandung bahan yang berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia,
5. serbuk kaca juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi pori atau *filler*, sehingga diharapkan akan diperoleh beton yang lebih padat dengan porositas minimum sehingga kekuatan beton dapat meningkat.

Perkembangan zaman di era globalisasi yang pesat ini mengakibatkan terus bertambahnya jumlah barang bekas/limbah yang keberadaannya dapat menjadi masalah bagi kehidupan, salah satunya adalah keberadaan limbah kaca rumah tangga. Dalam hal ini upaya yang dilakukan adalah pemanfaatan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus untuk meningkatkan kuat tekan beton.

2.2 Kandungan dalam Kaca

Ada beberapa kandungan kaca berdasarkan jenis-jenis kaca, yaitu: *clear glass*, *amber glass*, *green glass*, *pyrex glass*, dan *fused silica* (Setiawan, 2006). Kandungan bahan kimia dalam berbagai jenis kaca seperti dijelaskan pada Tabel 2.1 serta kandungan kimia di dalam bubuk kaca yaitu seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CaO seperti Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.1 Kandungan kaca
(Sumber: Setiawan, 2006)

Jenis Kaca	<i>Clear Glass</i>	<i>Amber Glass</i>	<i>Green Glass</i>	<i>Pyrex Glass</i>	<i>Fused Silica</i>
SiO ₂	73,2 – 73,5	71,0 – 72,4	71,27	81	99,87
Al ₂ O ₃	1,7 – 1,9	1,7 – 1,8	2,22	2	-
Na ₂ O + K ₂ O	13,6 – 14,1	13,8 – 14,4	13,06	4	-
CaO + MgO	10,7 – 10,8	11,6	12,17	-	-
SO ₃	0,2 – 0,24	0,12 – 0,14	0,052	-	-
Fe ₂ O ₃	0,04 – 0,05	0,3	0,599	3,72	-
Cr ₂ O ₃	-	0,01	0,43	12,0 – 13,0	-

Tabel 2.2 Kandungan serbuk kaca
(Sumber: Hanafiah, 2011)

Unsur	Serbuk kaca
SiO ₂	61,72%
Al ₂ O ₃	3,45%
Fe ₂ O ₃	0,18%
CaO	2,59%

2.3 Pengaruh Sifat Reaktif Silika pada Kaca

Penggunaan agregat halus kaca yang dibuat dari jenis kaca leburan *soda lime*, mulai dikembangkan untuk membuat beton kinerja tinggi. Agregat halus kaca ini dibuat dalam bentuk bubuk dengan ukuran dan distribusi yang serupa agregat halus/pasir alam. Penggunaannya diharapkan dapat memanfaatkan limbah dari hasil samping industri untuk komponen industri konstruksi dan untuk mengatasi kekurangan pasir alam yang tersedia. Berdasarkan ASTM C289-87 dilakukan tes kimia dan tes kereaktifan agregat didapat bahwa bubuk kaca masih layak digunakan sebagai agregat walaupun memiliki sifat "merugikan" karena

mengandung silika reaktif yang dapat bereaksi dengan alkali semen, sehingga mengakibatkan terjadinya ekspansi beton (Noor, 1995).

2.4 Perkembangan Penelitian dengan Kaca

Dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca pada Beton Ditinjau dari Segi Kekuatan dan *Shrinkage*” dengan mutu beton 20 MPa, diperoleh data kuat tekan tertinggi dengan komposisi 20% pada umur 56 hari, seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hasil uji kuat tekan beton dengan campuran agregat kaca
(Sumber: Setiawan, 2006)

Umur Pengujian (hari)	Persentase Agregat Kaca					
	0%	10%	20%	30%	50%	100%
	kg/cm ²					
3	211,97	211,97	218,87	276,05	228,76	211,97
7	207,32	220,28	187,88	223,52	194,36	191,12
28	188,21	215,42	192,74	179,14	181,41	140,59
28	-	201,81	208,62	183,67	158,73	165,53
56	172,17	201,56	214,16	174,27	157,47	155,37

Bubuk kaca merupakan hasil dari industri kaca yang mengandung silika (SiO₂) yang cukup besar yaitu 74–80%. Selain itu juga kaca juga dapat kita temukan pada limbah rumah tangga yang berupa botol, gelas, lampu dan perabotan rumah tangga lainnya yang terbuat dari kaca. Kaca didapatkan dengan menggabungkan beberapa mineral yang kaya akan silika (SiO₂), soda (Na₂O) dan kapur (CaO). Mineral-mineral yang kaya akan unsur tersebut berupa pasir silika, soda *ash* (Na₂CO₃) dan batu kapur (CaCO₃) (Purwanto, 2008).

2.5 Beton

Beton adalah campuran yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, air dan semen portland atau dengan semen hidraulis lainnya dengan atau tanpa bahan tambahan (dapat berupa bahan kimia atau bahan non kimia atau bahan lain yang berupa serat, *pozzoland* dan sebagainya) dengan perbandingan tertentu. Beberapa material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan perbandingan tertentu menghasilkan campuran yang bersifat plastis sehingga dapat dituang ke dalam cetakan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Bila campuran itu dibiarkan, akan semakin mengeras seiring dengan berjalannya waktu karena reaksi kimia yang terjadi antara air dan semen (Tjokrodimuljo, 2007).

Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung dari sifat bahan dasar pembentuk beton, nilai perbandingan bahan dasar beton, cara pengadukan, pengerjaan, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasan. Untuk membuat beton yang baik maka harus diperhitungkan dengan seksama cara-cara memperoleh adukan beton segar (*fresh concrete*) yang baik dan beton keras (*hard concrete*) yang dihasilkan juga baik.

Beton segar merupakan gabungan antara semen, agregat (halus dan kasar) dan air yang saling mengikat dan belum mengeras, masih bersifat lunak dan dapat terbentuk dengan mudah. Beton keras merupakan batuan tiruan dengan rongga antara butiran yang besar (agregat kasar) dan diisi dengan batuan kecil (agregat halus) dan pori-pori antara agregat halus diisi oleh semen dan air (pasta semen) saling terekat dengan kuat dan terbentuklah suatu kesatuan padat yang tahan lama. Beton segar yang baik adalah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang

dan dipadatkan, tidak ada kecenderungan terjadi pemisahan agregat dari adukan (*segregation*) maupun pemisahan air dan semen dari adukan (*bleeding*). Hal ini karena segregasi ataupun *bleeding* mengakibatkan beton keras yang diperoleh akan berkualitas buruk.

2.6 Bahan Penyusun Beton

2.6.1 Semen

Semen portland 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 tambahan lainnya (Tjokrodimuljo, 2007).

Semen portland diperoleh dengan melalui beberapa langkah pembuatan. Suatu campuran dari *calcareous* (bahan yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) atau batu gamping) dan *argillareous* (bahan yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu kemudian dibakar secara bersamaan. Adapun kandungan bahan kimia dari semen antara lain adalah kapur, silica dan alumina. Ketiga bahan tersebut kemudian dibakar pada suhu 1550°C dan menjadi *klinker*. Kemudian dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan sampai menyerupai bubuk. Biasanya ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2-4% sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan (Tjokrodimuljo, 2007).

Semen dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan penggunaannya. Jenis semen berdasarkan kegunaannya adalah sebagai berikut:

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak

memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2. Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat (Tjokrodimuljo, 2007).

Bahan-bahan dasar semen portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung unsur kimia sebagaimana tercantum pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Susunan unsur semen portland

(Sumber: Tjokrodimuljo, 2007)

Unsur	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	17-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3,0-8,0
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6,0
Magnesia (MgO)	0,5-4,0
Sulfur (SO ₃)	1,0-2,0
Soda/potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0,5-1,0

Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, yang merupakan oksida dominan. Oksida lain yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen adalah MgO, SO₃, Na₂O dan K₂O.

Keempat oksida utama tersebut diatas di dalam semen berupa senyawa C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF, dengan mempunyai perbandingan tertentu pada setiap

produk semen, tergantung pada komposisi bahan bakunya seperti tertera pada

Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Senyawa utama semen portland
(Sumber: Tjokrodimulyo, 2007)

Nama Senyawa	Rumus Empiris	Rumus Oksida	Notasi Pendek	Rata-Rata (%)
<i>Tricalcium silikat</i>	Ca_3SiO_5	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	50
<i>Dicalcium silikat</i>	Ca_2SiO_4	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	25
<i>Tricalcium aluminat</i>	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	12
<i>Tetracalsium aluminoforit</i>	$\text{Ca}_2\text{AlFeO}_3$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8
<i>Calcium sulfat dihidrat</i>		$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH_2	3,5

2.6.2 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang diperlukan kurang lebih 25% dari berat semen untuk bereaksi dengan semen. Namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang kurang dari 0,35 sulit dilaksanakan. Kelebihan air yang ada digunakan sebagai pelumas. Penambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalu banyak, karena akan menyebabkan kekuatan beton menjadi berkurang, selain itu akan menimbulkan *bleeding*. Hasil *bleeding* ini berupa lapisan air tipis yang mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton.

Fungsi air di dalam campuran beton adalah sebagai berikut ini.

1. Sebagai pelicin bagi agregat halus dan agregat kasar.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.

3. Penting untuk mencairkan bahan/material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Membasahi agregat, untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia.
5. Memungkinkan campuran beton mengalir ke dalam cetakan.

Penggunaan banyaknya air dapat dinyatakan dalam suatu berat atau satuan volume. Dalam praktek yang normal, air biasa diukur dengan satuan volume yaitu liter. Kuantitas (jumlah) air yang akan dipergunakan untuk beton dengan mutu tertentu harus dihitung setelah diperoleh nilai kelembaban (kadar air) dari agregat halus dan agregat kasar. Kadar air dari agregat akan mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton. Sebaliknya, kadang-kadang agregat dapat menyerap air dari campuran beton, sehingga perlu ditemukan cara untuk mengatasi penyerapan tersebut, yaitu dengan meningkatkan jumlah air yang perlu ditambahkan dalam campuran beton.

Jadi, air yang dipergunakan untuk campuran beton dapat berasal dari:

1. air yang diserap dalam agregat, yang membuat agregat dalam keadaan jenuh-kering permukaan (*Saturated Surface Dry = SSD*),
2. air yang ditambah selama proses pencampuran (*mixing*). Jumlahnya dikoreksi dengan air permukaan pada agregat dan atau tanpa air yang diserap dalam agregat, tergantung pada pengambilan dasar perhitungan dalam perbandingan air/semen (*fas*),
3. air permukaan pada agregat. Jumlahnya bervariasi serta mempengaruhi jumlah air total untuk campuran beton.

Air yang digunakan dalam campuran beton minimal memenuhi persyaratan sebagai air minum, tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi persyaratan sebagai air minum. Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut ini.

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter (Tjokrodimuljo, 1992).

Dalam adukan beton, air berpengaruh pada keadaan sebagai berikut:

1. pembentukan pasta semen, yang berpengaruh pada sifat dapat dikerjakan (*workability*), kekuatan susut dan keawetan beton,
2. kelangsungan reaksi dengan semen portland sehingga dihasilkan kekerasan dan kekuatan selang beberapa waktu,
3. perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang sempurna,
4. untuk pekerjaan pembersihan alat-alat pengaduk beton setelah dipakai agar tidak cepat berkarat.

2.6.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Walau hanya bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Cara membedakan jenis agregat yang sering dilakukan dengan didasarkan pada ukuran butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir halus disebut agregat halus. Dalam pelaksanaan dilapangan, umumnya agregat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. batu untuk ukuran butir lebih dari 40 mm,
2. kerikil untuk ukuran butir antar 5 mm–40 mm,
3. pasir untuk ukuran butir antar 0,15 mm–5 mm.

Untuk mendapatkan beton yang baik diperlukan agregat berkualitas baik pula. Agregat yang baik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 2007):

1. butirnya tajam dan keras,
2. kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca,
3. tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar,
4. tidak mengandung zat organik dan zat reaktif terhadap alkali.

Berdasarkan jenisnya, agregat dibedakan menjadi dua yaitu agregat alami dan agregat buatan (pecahan). Pada penelitian yang dilaksanakan digunakan dua agregat yaitu agregat halus dan kasar.

a. Agregat halus

Agregat halus (pasir) adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15-5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam,

yaitu: pasir galian, pasir sungai dan pasir laut. Agregat halus (pasir) menurut gradasinya sebagaimana tercantum pada Tabel 2.6.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus menurut Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-1989-F) adalah sebagai berikut ini.

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\pm 2,2$.
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.

Tabel 2.6 Batas-batas gradasi agregat halus
(Sumber: Tjokrodinuljo, 2007)

Lubang Ayakan (mm)	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

3. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut ini.
 - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%.
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5% (ditentukan terhadap berat kering), yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,06 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.

5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams-Harder*. Untuk itu, bila direndam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap daripada warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
6. Susunan besar butir agregat halus harus memenuhi modulus kehalusan antara 1,5–3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu dalam daerah susunan butir menurut zona 1, 2, 3 dan 4 (SKBI/BS.882) dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut ini.
 - a. Sisa di atas ayakan 4,8 mm, harus maksimum 2% berat.
 - b. Sisa di atas ayakan 1,2 mm, harus maksimum 10% berat.
 - c. Sisa di atas ayakan 0,3 mm, harus maksimum 15% berat.
7. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir dengan alkali harus negatif.
8. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

9. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan di atas (pasir pasang).

Susunan besar butir agregat halus lebih penting daripada susunan besar butir agregat kasar, karena agregat halus bersama dengan semen dan air membentuk *mortar* yang akan melekatkan dan mengisi rongga-rongga antar butiran agregat kasar sehingga beton yang dihasilkan permukaannya menjadi rata.

Pemakaian agregat halus yang terlalu sedikit dapat mengakibatkan berbagai hal seperti berikut ini.

1. Terjadi segregasi, karena agregat kasar dengan mudah saling memisahkan diri akibat mortar yang tidak dapat mengisi rongga-rongga antara butiran agregat kasar dengan baik.
2. Campuran akan kekurangan pasir, yang disebut *under sanded*.
3. Adukan beton akan menjadi sulit untuk dikerjakan sehingga dapat menimbulkan sarang kerikil.
4. *Finishing* akan menghasilkan beton dengan permukaan kasar.
5. Beton yang dihasilkan menjadi tidak awet.

Jika pemakaian agregat halus terlalu banyak maka akan mengakibatkan berbagai hal berikut ini.

1. Campuran menjadi tidak ekonomis.
2. Diperlukan banyak semen untuk mencapai kekuatan yang sama yang dihasilkan oleh campuran dengan perbandingan optimum antara agregat halus dan agregat kasar.

3. Campuran akan kelebihan pasir, yang disebut *over sanded*.
4. Beton yang dihasilkan menunjukkan gejala rangkai dan susut yang lebih besar.

b. Agregat kasar

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³, misalnya magnetit (Fe₃O₄), barites (BaSO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm³ yang digunakan sebagai dinding pelindung atau radiasi sinar X.

c. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³, misalnya tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*fly ash*), busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*). Agregat ini biasanya digunakan untuk beton ringan yang biasanya dipakai untuk elemen non-struktural.

2.7 Workability

Salah satu sifat beton sebelum mengeras (beton segar) adalah kemudahan pengerjaan (*workability*). *Workability* (kemudahan pengerjaan) adalah merupakan tingkat kemudahan adukan beton untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan tanpa mengurangi homogenitas beton dan beton tidak terurai (*bleeding*) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan yang direncanakan.

Workability akan menjadi lebih jelas pengertiannya dengan adanya sifat-sifat berikut ini.

1. *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.

2. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat (koheren), dan tidak mengalami pemisahan butiran (*segregasi* dan *bleeding*).
3. *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang.
4. *Finishibility* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* antara lain adalah sebagai berikut ini.

1. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton segar semakin mudah dikerjakan.
2. Penambahan semen dalam campuran juga akan memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
5. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
6. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat

keleccakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan (Tjokrodimuljo, 2007).

2.8 Segregation

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran adukan beton dinamakan *segregation*. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil pada beton akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton (Mulyono, 2004).

Segregasi disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

1. campuran yang kurang semen,
2. terlalu banyak air,
3. ukuran maksimum butir agregat lebih dari 40 mm,
4. permukaan butir agregat kasar yang terlalu kasar.

Kecenderungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah dengan cara berikut:

1. tinggi jatuh diperpendek,
2. penggunaan air sesuai syarat,
3. cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan,
4. ukuran agregat sesuai dengan syarat,
5. pemadatan baik.

2.9 Bleeding

Bleeding adalah kecenderungan air untuk naik ke permukaan (memisahkan diri) pada beton segar yang baru saja dipadatkan. Air akan naik membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*) (Mulyono, 2004). *Bleeding* biasanya terjadi pada

campuran beton basah (kelebihan air) atau campuran adukan beton dengan nilai *slump* tinggi.

Bleeding dipengaruhi oleh berbagai hal berikut ini.

1. Susunan butir agregat

Jika komposisinya sesuai kemungkinan *bleeding* kecil.

2. Banyak air

Semakin banyak air akan memungkinkan terjadinya *bleeding*.

3. Kecepatan hidrasi

Semakin cepat beton mengeras semakin kecil terjadinya *bleeding*.

4. Proses pemadatan

Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan *bleeding*.

Bleeding dapat dikurangi dengan cara sebagai berikut:

1. memberi banyak semen,
2. menggunakan air sedikit mungkin,
3. menggunakan butir halus lebih banyak,
4. memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

2.10 Nilai Slump

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecakan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel 2.7.

2.11 Umur Beton

Kekuatan desak beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan desak beton pada kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan desak rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang menghendaki awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-1). Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja desaknya (Mulyono, 2005).

Tabel 2.7 Penetapan nilai *slump* adukan beton
(Sumber: Tjokrodimuljo, 2007)

Pemakaian Beton (Berdasarkan Jenis Struktur yang Dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan stuktur dibawah tanah	9	2,5
Plat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal (beton massa)	7,5	2,5

Kuat desak beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat desak beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat desak beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat desak beton pada umur 28 hari (Tjokrodimuljo, 2007).

Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen portland, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat desak beton. Hubungan antara umur dan kuat desak beton dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Rasio kuat desak beton pada berbagai umur

(Sumber: Tjokrodinuljo, 2007)

Umur beton	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,4	0,65	0,88	0,95	1	1,2	1,35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,9	0,95	1	1,15	1,2