

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terlebih Dahulu

Penelitian untuk menunjukkan pengaruh penambahan serat polypropylene terhadap kuat tekan beton yang didasari oleh beberapa literatur yang hampir sama. Adapun penelitian terlebih dahulu yang diperoleh penulis sebagai berikut:

Hasil penelitian Muhlis Hanafi, dkk (2018). Peneliti menggunakan mutu beton jenis K-350 dengan variasi penambahan fiber polypropylene 0,6 kg/m³ (1%), 1,2 Kg/m³ (2%). Pengujian untuk kuat tekan terdiri dari benda uji sebanyak 27 silinder yang diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari. Pengujian beton segar dilakukan dengan slump-flow test, dan dilakukan curing benda uji sampai pada umur beton pengujian. Dari hasil penelitian didapatkan penambahan fiber polypropylene 0,6 kg/m³ (1%) terhadap campuran beton menunjukkan terjadi peningkatan kuat tekan 438,31 kg/cm² atau sekitar 13,43 %. Untuk penambahan serat fiber polypropylene 1,2 kg/m³ (2%) terhadap campuran beton terjadi penambahan kuat tekan 434,6 kg/cm² atau sebesar 12,47 %. Dengan demikian komposisi yang paling optimum tercapai saat penambahan fiber polypropylene sebesar 1.2 kg / m³ (2%)

Hasil penelitian Melinda Gusti, dkk (2021). Peneliti membuat 2 sampel FAS yaitu 0,38 dan 0,5 dengan diberi penambahan serat polypropylene dengan volume fraksi sebesar 0%, 0,05%, 0,10% dan 0,15%. Penambahan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh serat polypropylene pada FAS 0,38 dan 0,5 terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur. Sampel dalam penelitian ini adalah kubus (15 x 15 x 15 cm) untuk pengujian kuat tekan, dan silinder (15 x 30 cm) untuk pengujian kuat tarik belah, dan balok (10 x 10 x 40 cm) untuk pengujian kuat lentur beton. Kemudian ketiganya diuji pada umur 28 hari. Pada FAS 0,38 dengan penambahan polypropylene sebesar 0,05% terjadi peningkatan nilai kuat tekan beton dari 43,90 MPa menjadi 45,38 MPa, nilai kuat tarik belah dari 2,67 MPa menjadi 4,04 MPa, dan nilai kuat lentur beton dari 2,25 MPa menjadi 6,62 MPa dari beton tanpa serat. Pada FAS 0,5 dengan penambahan polypropylene sebesar 0,05% terjadi peningkatan nilai kuat tekan beton dari 28,38 MPa menjadi 31,83

MPa, nilai kuat tarik belah dari 2,66 MPa menjadi 2,75 MPa, dan nilai kuat lentur beton dari 1,61 MPa menjadi 5,69 MPa dari beton tanpa serat.

Hasil penelitian Rahmat Bangun Giarto, dkk (2020). Peneliti menggunakan campuran beton untuk perkerasan kaku dengan mutu K300. Dimana variasi serat polypropylene sebesar 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% dan 1,0%. Peneliti memperoleh nilai optimum pada beton 0,3% terhadap berat semen dengan kuat tekan 372 kg/cm², namun kelecikan campuran semakin kental.

Hasil penelitian Thariq Al Faridzi A Sultan, dkk (2023). Peneliti menguji kuat tekan dan kuat lentur beton pada umur 7,14, dan 28 hari. Dimana jumlah kadar serat polypropylene sebesar 0%, 1%, dan 2%. Hasil dan analisa penelitian dapat direkomendasikan dengan penambahan serat polypropylene sampai dengan 1% kuat tekan dan kuat lentur meningkat dibandingkan tidak menggunakan serat tersebut, sedangkan pada penambahan serat polypropylene 2% kuat tekan menurun dibandingkan dengan penambahan serat polypropylene 1% tetapi kuat lenturnya meningkat.

Hasil penelitian Fransisco Faldo dan Mahfuz Hudori (2021). Peneliti menambahkan masing-masing kadar beton campuran persentase 0%, 1%, 2%, 3% serat polypropylene dari berat semen. Pada kadar 0% (beton normal) untuk umur 7-28 hari mendapatkan kuat tekan beton dengan total rata-rata 496.13 kg/cm² dengan persentase 103% . Pada kadar 1% untuk umur 7-28 hari kuat tekan beton mengalami penurunan dari beton normal (0%) dan mendapatkan kuat tekan dengan total rata-rata 438.86 kg/cm² dengan persentase 91%. Pada kadar 2% untuk umur 7-28 hari kuat tekan beton mengalami peningkatan dari beton normal (0%) dan mendapatkan kuat tekan total rata-rata 505.70 kg/cm² dengan persentase 105%. Dan sedangkan dengan kadar 3% untuk umur 7-28 hari kuat tekan beton mengalami penurunan dari beton normal (0%) dan mendapatkan kuat tekan dengan total rata-rata 330.31 kg/cm² dengan persentase 69%.

Hasil penelitian Teddy Irawan dan Herri Purwanto (2022). Dengan penambahan serat polypropylene mengalami kenaikan sebesar 0,2% dan 0,4%. Pada penambahan serat polypropylene 0% kuat tekan foam concrete sebesar 2,85 MPa. Sedangkan penambahan serat polypropylene sebesar 0,2% menunjukkan kuat

tekan sebesar 7,77 MPa. Dan penambahan serat polypropylene 0,4% kuat tekan yang didapat sebesar 8,38 MPa.

Hasil penelitian Wira Rante Penganggi, dkk (2021). Peneliti menggunakan zat tambahan kimia dan variasi serat polypropylene yaitu 0,05%, 0,1%, 0,15%, 0,2%, dan 0,25% terhadap berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa benda uji yang memiliki kuat tekan tertinggi pada kadar serat polypropylene 0,25%, yaitu sebesar 16,9 MPa. Hal ini memperlihatkan penambahan serat polypropylene meningkatkan nilai kuat tekan sebanyak 5,6 %. Berdasarkan grafik nilai kuat tekan dan permeabilitas, dapat diperkirakan bahwa kadar optimal penggunaan serat polypropylene 0,17% terhadap berat semen.

Hasil penelitian Andi Yusra, dkk (2020). Peneliti menggunakan spesifikasi serat polypropylene dengan panjang serat 12 mm, diameter serat 18 mikron dan berat jenis $0,91 \text{ gr/cm}^3$, metode perencanaan campuran beton yang digunakan adalah *trial and error*, kualitas beton yang direncanakan 60 Mpa. Persentase dari serat polypropylene yang digunakan adalah 0,5%, 1%, 1,5% dari berat semen, sebagai pembanding beton dibuat tanpa penambahan serat yaitu 0%. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada 28 hari. Jumlah keseluruhan benda uji ada 24 buah silinder (15 x 30 cm). Hasil yang diperoleh dari pengujian kuat tekan rata-rata pada persentase 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% berturut-turut adalah 57,35 MPa, 55,74 MPa, 54,87 Mpa dan 50,54 MPa. Kondisi optimum diperoleh dengan persentase 0,5%. Itu bisa menyimpulkan bahwa penambahan serat polypropylene dan klinker minyak sawit berkualitas tinggi.

Hasil penelitian Safrin Zuraidah, dkk (2018). Peneliti menambahkan limbah serat polyprophylene dari bahan strappingband ke dalam campuran beton ringan untuk memperbaiki kinerja beton terutama kuat tarik belahnya. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Terdapat dua variabel dalam penelitian ini antara lain variabel bebas yaitu persentase penambahan serat polyprophylene dari bahan strapping band FS- 0%, FS-3%, FS-6% FS-9% dan variabel tak bebas yaitu workability yang dinyatakan dalam nilai slump kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan. Hasil beton ringan dengan penambahan serat strapping band pada umur 28 hari terdapat pada (FS-9%), kuat tekan maksimum sebesar 8,58 N/mm²

dan kuat tarik belah maksimum terdapat (FS-9%), sebesar $0,45 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan berat volume sebesar 1140 kg/m^3 , lebih ringan dari beton ringan yang mengandung agregat-agregat ringan dan mempunyai berat jenis 1900 kg/m^3 .

Hasil penelitian Annisa Prita Melinda, dkk (2020). Peneliti menggunakan penambahan serat polypropylene dengan persentase 0,5%, 1%, 1,5%, 3%, 8%, 13%, 18%, 23%, dan 28% dari berat semen. Sampel uji mortar tersebut berbentuk kubus berukuran (5 x 5 x 5 cm). Beban maksimum yang dapat diangkut adalah 3656 kgf dengan kuat tekan rata-rata mortar normal $146,24 \text{ kg/cm}^2$ dan beban maksimum yang dapat ditahan oleh mortar serat polypropylene 8% adalah 4082 kgf dengan kuat tekan $163,28 \text{ kg/cm}^2$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat polypropylene 8% meningkatkan kuat tekan mortar.

2.2 Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*Portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen bahan-bahan penyusun beton, kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Nawy (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Perencana (*engineer*) dapat mengembangkan pemilihan material yang komposisinya layak sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang diisyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan *Serviceability* yang dapat diartikan juga sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi (Mulyono, 2005).

Menurut SNI-03-2847-2002, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

2.2.1 Jenis-Jenis Beton

Adapun jenis-jenis beton yaitu sebagai berikut:

1. Beton ringan

Beton ringan memiliki Berat jenis $<1900 \text{ kg/m}^3$, dipakai untuk elemen non-struktural. Beton ringan dibuat dengan cara-cara berikut: membuat gelembung udara dalam adukan semen, menggunakan agregat ringan (tanah liat bakar/batu apung) atau pembuatan beton non-pasir.

2. Beton normal

Beton normal memiliki berat jenis $2200\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$, dan dipakai hampir pada semua bagian structural bangunan.

3. Beton berat

Beton berat memiliki berat jenis $>4000 \text{ kg/m}^3$, dan dipakai untuk struktur tertentu, misalnya: struktur yang harus tahan terhadap radiasi atom.

4. Beton jenis lain

a. Beton massa (*mass concrete*)

Beton yang dituang dengan volume besar. Biasanya untuk pilar, bendungan dan pondasi turbin pada pembangkit listrik. Pada saat pengecoran beton jenis ini, pengendalian diutamakan pada pengelolaan panas hidrasi yang timbul, karena semakin besar massa beton, maka suhu didalam beton semakin tinggi, bila perbedaan suhu didalam beton dan suhu dipermukaan beton $>20^\circ\text{C}$ dapat menimbulkan terjadinya tegangan tarik yang disertai retak-retak pada beton.

b. Foresemen (*ferrocement*)

Foresemen merupakan mortar semen yang diberi anyaman kawat baja. Beton ini mempunyai ketahanan terhadap retakan, ketahanan terhadap patah leleh, daktilitas, fleksibilitas dan sifat kedap air yang lebih baik dari beton biasa.

c. Beton serat (*fibre concrete*)

Beton serat dapat berupa serat plastik/baja. Beton serat lebih daktil daripada beton biasa, dipakai pada bangunan hidrolik, landasan pesawat, jalan raya dan lantai jembatan.

d. Beton siklop

Beton siklop merupakan beton biasa dengan ukuran agregat yang relatif besar-besar. Agregat kasar dapat sebesar 20 cm. Beton ini digunakan pada pembuatan bendungan dan pangkal jembatan.

e. Beton hampa

Beton hampa seperti beton biasa, namun setelah beton tercetak padat, air sisa reaksi hidrasi disedot dengan cara vakum (*vacuum method*).

f. Beton ekspose

Beton ekspose adalah beton yang tidak memerlukan proses *finishing*, biasanya beton ini dihasilkan dengan menggunakan bahan bekisting yang dapat menghasilkan permukaan beton yang halus, misal: baja dan multiplex film. Beton ini sering dijumpai pada gelagar jembatan, lisplang, kolom dan balok bangunan (Wika Beton, 2011)

2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Selain tahan terhadap serangan api, beton juga tahan terhadap serangan korosi secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah:

1. Kelebihan

- a. Beton dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- b. Beton mampu memikul beban yang berat.
- c. Beton tahan terhadap temperature yang tinggi.
- d. Biaya pemeliharaan beton yang relative lebih murah.

2. Kekurangan

- a. Bentuk beton yang telah dibuat sulit diubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan beton membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. Berat.
- d. Daya pantul suara yang besar.

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen portland atau bahan tambah kimia), sehingga beton sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun, pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak

memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat (Mulyono, 2005).

2.3 Material Penyusun Pada Campuran Beton

Beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu: semen, agregat dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan (Mulyono, 2005).

2.3.1 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi agregat berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan (Mulyono, 2005).

Menurut SNI 15-2049-2004 Semen Portland merupakan 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 kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu: (Mulyono, 2005).

1. Semen non-hidrolik

Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras diudara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur.

2. Semen hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen pozollan, semen terak, semen alam, semen Portland, semen Portland-pozollan, semen Portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen expansif. Contoh lainnya

adalah semen Portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus.

Secara umum sesuai dengan standar dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM) jenis semen dapat dikategorikan menjadi lima jenis:

1. Tipe I jenis semen ini biasa yang dapat digunakan pada pekerjaan konstruksi umum.
2. Tipe II merupakan modifikasi dari semen tipe I, yang memiliki panas hidrasi lebih rendah dan dapat tahan dari beberapa jenis serangan sulfat.
3. Tipe III merupakan tipe semen yang dapat menghasilkan kuat tekan beton awal yang tinggi. Setelah 24 jam proses pengecoran semen tipe ini akan menghasilkan kuat tekan dua kali lebih tinggi daripada semen tipe biasa, namun panas hidrasi yang dihasilkan semen jenis ini lebih tinggi daripada panas hidrasi semen tipe I.
4. Tipe IV merupakan semen yang mampu menghasilkan panas hidrasi yang rendah, sehingga cocok digunakan pada proses pengecoran struktur beton yang besar dan biasa di aplikasikan di dalam air.
5. Tipe V digunakan untuk struktur-struktur beton yang memerlukan ketahanan yang tinggi dari serangan sulfat (Agus, 2016).

Adapun komposisi kimia dari kelima jenis semen tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 (Mulyono, 2005).

Tabel 2.1 Persentase Komposisi Semen Portland

	Komposisi dalam persen (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₃ AF	CaSO ₄	CaO	M _g O	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
Tipe III, Kekuatan Awal Tinggi	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV, Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Dipakai pada bendungan beton
Tipe V, Tahan Sulfat	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspose terhadap sulfat

(Sumber: Tri Mulyono, 2005)

2.3.2 Agregat

Pada suatu campuran beton normal, agregat menempati 70 hingga 75% volume beton yang mengeras. Sisanya ditempati oleh pasta semen, air yang tersisa dari reaksi hidrasi serta rongga udara. Secara umum semakin padat susunan agregat dalam campuran beton, maka beton yang dihasilkan akan makin tahan lama dan ekonomis. Oleh karena itu, agar dapat dipadatkan dengan baik, maka ukuran agregat harus dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi gradasi yang disarankan. Perlu juga diperhatikan bahwa agregat hendaknya memiliki kekuatan yang baik, awet dan tahan cuaca, disamping itu juga agregat harus bersih dari kotoran seperti, tanah liat, lanau, maupun kotoran organik lainnya yang akan melemahkan lekatan antara pasta semen dan agregat (Agus, 2016).

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat adalah material granular, misalnya pasir, karikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen

hidraulik. Berdasarkan ukuran butir nominal, agregat terbagi menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

Agregat normal yang dipakai dalam campuran beton menurut SII.0052 (Mulyono, 2005).

- a. Modulus halus butir 1.5 sampai 3.8.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0.074 mm) maksimum 5%.
- c. Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3%, jika dibandingkan dengan warna standar/pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.
- d. Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka tidak lebih dari 2.20.
- e. Kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat, maksimum 15%).

Adapun menurut SNI 03-2834-2000 gradasi agregat halus dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Gradasi Agregat Halus Menurut SNI 03-2834-2000

Ukuran Saringan	SNI 03-2834-2000			
	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
	Gradasi 1	Gradasi 2	Gradasi 3	Gradasi 4
9,6	100-100	100-100	100-100	100-100
4,8	90-100	90-100	92-100	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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm - 40 mm.

Agregat normal yang dipakai dalam campuran beton menurut SII.0052 (Mulyono, 2005).

- a. Modulus halus butir 6.0 sampai 7.1.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0.074 mm) maksimum 5%.
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
- d. Kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%).
- e. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alakali dalam semen sebagai Na_2O lebih besar dari 0.6%.
- f. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.
- g. Kekerasan agregat harus memenuhi syarat.

Adapun menurut SNI 03-2834-2000 gradasi agregat kasar dapat dilihat pada tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Gradasi Agregat Kasar Menurut SNI 03-2834-2000

Ukuran Saringan	Persentase Berat Bagian yang Lewat Ayakan		
	Ukuran Nominal Agregat (mm)		
	38,4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38,1	95-100	100	
19	37-70	95-100	100
9,52	Oct-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.3.3 Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan suatu campuran beton. Air yang telah dicampur dengan semen akan membungkus agregat halus dan kasar menjadi satu kesatuan. Pencampuran semen dan air menimbulkan reaksi kimia yang disebut dengan istilah reaksi hidrasi. Dalam reaksi hidrasi ini komponen pokok dalam semen bereaksi dengan molekul air yang membentuk hidrat. Dalam pembuatan campuran beton, hendaknya menggunakan air yang bersih yang tidak tercampur dengan kotoran atau zat kimia yang memungkinkan dapat menimbulkan reaksi sampingan dari reaksi hidrasi. Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak memiliki rasa atau bau dapat digunakan sebagai air pencampuran dalam pembuatan beton. Adanya kotoran atau zat kimia yang berlebih pada air tidak saja berpengaruh pada waktu ikat beton, kekuatan beton, dan stabilitas volume (perubahan panjang), namun juga dapat mengakibatkan pengkristalan atau korosi tulangan. Sedapat mungkin air yang terlarut sebaiknya dihindari (Agus, 2016).

Perbandingan jumlah berat air dengan jumlah berat semen (rasio air semen) memegang peranan penting dalam hal kuat tekan beton. Jumlah air yang terlalu banyak akan menurunkan mutu beton, namun jika jumlah air sedikit akan menimbulkan permasalahan dalam pelaksanaan konstruksi, karena beton akan menjadi sulit dicetak. Karena beton harus cukup kuat dan mudah untuk dicetak, maka keseimbangan antar berat air dan berat semen harus mendapat perhatian yang cukup (Agus, 2016).

Menurut SNI-02-2847-2002 penggunaan air untuk beton sebaiknya air yang memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, garam, bahan organik atau bahan-bahan lainnya yang dapat merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung

dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.

3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali memenuhi ketentuan berikut:
 - a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 - b. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (menggunakan specimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm).

2.4 Beton Berserat

ACI (*American Concrete Institute*) memberikan definisi pada beton serat, yaitu suatu konstruksi yang tersusun dari bahan semen, agregat halus dan agregat kasar serta sejumlah kecil serat.

Menurut Karyono (1994), beton serat ialah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat dalam beton ini berguna untuk mencegah adanya retak-retak sehingga menjadikan beton serat lebih dektail daripada beton biasa.

Banyak sifat-sifat beton yang dapat diperbaiki dengan penambahan serat yaitu, daktalitas, ketahanan impact, ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap pengaruh susutan, ketahanan abrasi, ketahanan terhadap pecahan atau fragmentasi, ketahanan terhadap pengelupasan, kuat tarik dan kuat lentur beton (Syarif, Dkk, 2020).

Serat merupakan bahan tambah yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat beton. Ada berbagai macam serat yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik beton antara lain adalah serat baja (*steel fibre*),

serat polypropylene (sejenis plastic mutu tinggi), serat kaca (*glass fiber*), serat karbon (*carbon fibre*), serta serat dari bahan alami (*natural fibre*), seperti serat ijuk, sabut kelapa, serat goni, dan serat tumbuhan-tumbuhan lainnya. Briggs (1974) meneliti bahwa batas maksimal yang masih memungkinkan untuk dilakukan pengadukan dengan mudah pada adukan beton serat adalah menggunakan serat dengan aspek rasio $(l/d) < 100$. Pembatasan nilai l/d tersebut didukung dengan adanya usaha-usaha untuk meningkatkan kuat lekat serat dengan membuat serat dari berbagai macam konfigurasi, seperti bentuk berkait, bentuk spiral, bertakik-takik atau bentuk yang lain untuk meningkatkan kuat lekat serat. Penambahan serat pada adukan beton dapat menimbulkan masalah pada *fibre dispersion* dan kelecakan (*workability*) adukan. *Fibre dispersion* dapat diatasi dengan memberikan bahan tambah berupa superplasticizer ataupun dengan meminimalkan diameter agregat maksimum (Syarif, Dkk, 2020).

2.5 Serat Polypropylene

Serat polypropylene merupakan bahan dasar yang umum digunakan untuk memproduksi bahan-bahan yang terbuat dari plastik. Pertama kali serat digunakan pada industri tekstil karena harganya murah dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Serat polypropylene ini berfungsi mencegah keretakan sehingga menjadikan beton tersebut lebih dektail dibandingkan beton tanpa serat. Penambahan serat pada adukan beton merupakan salah satu solusi untuk meminimalisir keretakan pada beton yang mungkin terjadi akibat tegangan tarik (Fransisco dan Mahfuz, 2021). Material serat polypropylene ini berbentuk filamen-filamen yang ketika dicampurkan dalam adukan beton serat itu akan terurai.

Beberapa keuntungan penggunaan serat polypropylene pada campuran beton, adalah sebagai berikut:

1. Dapat memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat pre-hardening stage sehingga dapat mengurangi keretakan akibat penyusutan.
2. Dapat memperbaiki ketahanan terhadap kikisan beton.
3. Dapat memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan.

4. Dapat memperbaiki ketahanan terhadap penembusan air dan bahan kimia.
5. Dapat memperbaiki keawetan beton (Dina,1999 dalam Dedi, Dkk, 2018).

2.6 *Workability*

Workabilitas adalah bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa, sehingga adukan mudah diangkut, dituang maupun dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan pekerjaannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu. (Wuryati dan Candra, 2001 dalam Rosie, Dkk, 2015). Beberapa parameter untuk mengetahui workabilitas beton segar adalah sebagai berikut:

1. *Compactibility*, yaitu kemudahan beton untuk dipadatkan. Pemadatan bertujuan untuk mengurangi rongga-rongga udara yang terjebak, sehingga diperoleh susunan yang padat dan memperkuat ikatan antar partikel beton.
2. Mobilitas, yaitu kemudahan beton untuk mengalir atau dituang dalam cetakan dan dibentuk.
3. Stabilitas, yaitu kemampuan beton untuk tetap stabil, homogen selama pencampuran, serta tidak terjadi segregasi dan bleeding. (Mindess, Dkk, 2003 dalam Rosie, Dkk, 2015).
4. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* antara lain:
5. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air dipakai maka makin mudah beton segar itu dikerjakan.
6. Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan beton. Karena diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai faktor air semen tetap.
7. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
8. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
9. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.

10. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada, jika dipadatkan dengan tangan.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan beton maka makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan slump. Makin besar nilai slump berarti adukan beton semakin encer dan ini berarti semakin mudah dikerjakan. Pada umumnya nilai slump berkisar antara 5 cm dan 12,5 cm (Tjokrodinuljo 1996 dalam Arusmalem, 2018).

2.7 Slump Beton

Menurut SNI 1972-2008 slump beton merupakan penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat. Salah satu contohnya yaitu, campuran beton segar dimasukkan kedalam cetakan yang memiliki bentuk kerucut dan dipadatkan dengan batang penusuk. Cetakan diangkat dan beton dibiarkan sampai terjadi penurunan pada permukaan bagian atas beton. Jarak antara posisi permukaan semula beton dan posisi setelah penurunan pada pusat permukaan atas beton diukur dan dilaporkan sebagai nilai slump beton. Slump dapat ditambah bila digunakan bahan tambahan kimia, asalkan beton yang diberi bahan tambahan tersebut memiliki rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen yang sama atau lebih kecil dan tidak menunjukkan segregasi yang berarti atau blinding berlebihan. Adapun nilai slump untuk pekerjaan konstruksi menurut SNI 7657-2012 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Nilai Slump Untuk Pekerjaan Konstruksi Menurut SNI 7656-2012

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi tapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang dan dinding bertulang	75	26
Balok dan dinding bertulang	100	27
Kolom bangunan	100	28
Perkerasan dan pelat lantai	75	29
Beton massa	50	30

(Sumber: SNI 7656-2012)

2.8 Faktor Air Semen

Secara umum, semakin besar nilai faktor air semen, semakin rendah mutu kekuatan beton. Dengan demikian, untuk menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi faktor air semen dalam beton haruslah rendah. Sayangnya hal ini menyebabkan kesulitan dalam pengerjaannya. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0.4 dan nilai maksimumnya 0.65. Tujuan pengurangan faktor air semen ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan menghasilkan beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, faktor air semen dapat diartikan sebagai *water to cementius ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif *cementius* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Mulyono, 2005).

2.9 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder

dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115; Part 116 pada umur 28 hari. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, semakin tinggi kekuatan tekan struktur yang dikehendaki semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2005).

Dalam perencanaan suatu komponen struktur beton, biasanya diasumsikan biasanya memikul tegangan tekan dan bukannya tegangan tarik. Oleh karena itu kuat tekan beton pada umumnya dijadikan acuan untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton (Agus Setiawan, 2016)

Menurut SNI 1974-2011 perhitungan kuat tekan beton dengan benda uji silinder sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan pengertian:

- a. Kuat tekan beton dengan benda uji silinder, dinyatakan dalam Mpa atau N/mm^2 .
- b. P adalah gaya tekan aksial, dinyatakan dalam Newton (N).
- c. A adalah luas penampang melintang benda uji, dinyatakan dalam mm^2 .

2.10 Umur Beton

Kekuatan tekan 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 tekan beton pada kasus-kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka, biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari.

Untuk struktur yang menghendaki kekuatan awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-I). Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya (Mulyono, 2005).

Hubungan antara umur dan kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2.5 Perbandingan Kekuatan Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur Beton	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0.40	0.65	0.88	0.95	1.00	1.20	1.35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0.55	0.75	0.90	0.95	1.00	1.15	1.20

(Sumber: PBI 1971,NI-2)

2.11 Prosedur Pengujian di Laboratorium

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian sifat fisik material yang direncanakan adalah sebagai berikut:

2.11.1 Pengujian Berat Jenis dan Pengujian Analisa Saringan Agregat

Dalam pengujian ini terdapat beberapa prosedur pengujian yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja sesuai dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenar-benarnya. Adapun pengujian ini meliputi pekerjaan sebagai berikut.

1. Analisa Saringan Agregat

Analisa saringan ini merupakan metode untuk menentukan distribusi ukuran agregat dengan cara menyaring dalam suatu sampel agregat, hasil analisa saringan ini merupakan distribusi perbedaan ukuran agregat atau gradasi sampel dan dapat mewakili sebuah populasi (Josef Hadiframana, Dkk, 2021).

Berdasarkan ukuran, agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat halus yang mana semua butirannya menembus ayakan berlubang 4.8 mm (SII.0052, 1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5,0 mm (BS.812, 1976) dan agregat kasar yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan berlubang 4.8 mm (SII.0052, 1980) atau 4.75 mm (ASTM C33, 1982) atau 5,0 mm (BS.812, 1976),(Agustin Gunawan, 2014).

Modulus halus butir (*Finess modulus*) atau biasa disingkat dengan MHB ialah suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat (Abrams, 1918 didalam Mulyono,2005). Makin besar nilai MHB suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya, umumnya agregat halus

mempunyai MHB 1,5-3.8 dan kerikil mempunyai nilai MHB 5-8, nilai ini juga dapat dipakai sebagai dasar untuk mencari perbandingan dari campuran agregat.

Untuk menghitung berapa persentase agregat tertahan, dan juga modulus halus butir berdasarkan PEDC Bandung, 1983. Pada pengujian ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a. \quad A = \frac{a}{b} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.4)$$

$$b. \quad MHB = \frac{A}{100} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- A = Persentase benda uji tertahan.
- a = Berat benda uji tertahan diatas saringan.
- b = Berat benda uji total.

2. Berat Jenis Agregat Halus

Menurut SNI 1970-2008 agregat halus berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan, nilai-nilainya adalah tanpa dimensi. Sedangkan berat jenis curah (jenuh kering permukaan) ialah perbandingan antar berat dari satuan volume agregat (termasuk berat air yang terdapat di dalam rongga akibat perendaman selama (24 ± 4) jam, tetapi tidak termasuk rongga dalam butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat udara dan air suling bebas gelembung dan volume yang sama pada suatu temperatur tertentu.

Penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya. Agregat dikatakan kering ketika telah dijaga pada suatu temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan air yang sudah ada (sampai beratnya tetap).

Menurut SNI 03-1970-1990 berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dihitung menggunakan sebagai berikut:

$$a. \text{ Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B+500-B_t)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (Bulk SSD Specific Gravity)} \\ = \frac{500}{(B+500-B_t)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$c. \text{ Penyerapan} = \frac{(500-B)}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

B = Berat benda uji berisi air, dalam gram.

B_t = Berat benda uji berisi benda uji dan air, dalam gram.

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram.

3. Berat Jenis Agregat Kasar

Dalam pelaksanaannya menurut SNI 1969-2008 berat jenis adalah suatu sifat yang pada umumnya digunakan untuk menghitung volume yang ditempati oleh agregat dalam berbagai campuran yang diproporsikan berdasarkan volume. Sedangkan berat jenis kering jenuh kering permukaan (SSD) digunakan apabila agregat dalam keadaan basah yaitu pada kondisi penyerapannya sudah terpenuhi, sedangkan berat jenis curah yang ditentukan atau diasumsikan kering.

Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dihitung menggunakan PEDC (Pengujian Bahan, 1983) sebagai berikut :

$$a. \text{ Berat jenis kering} = \frac{B_k}{(W_2+B_j-W_1)} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) saturated surface dry} \\ = \frac{B_j}{(W_2+B_j-W_1)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$c. \text{ Penyerapan} = \frac{B_j-B}{(B_k)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

B_k = Berat benda uji kering oven.

B_j = Berat benda uji dalam keadaan SSD, dalam gram.

W₁ = Berat piknometer + air + benda uji.

W_2 = Berat piknometer + benda uji.

2.11.2 Bobot Isi Agregat

Bobot isi merupakan berat agregat yang mengisi suatu tempat atau ruangan dalam satuan volume, yang ruangan tersebut juga diisi oleh rongga antar partikel agregat tersebut. Agregat yang memiliki berat jenis sama tidak berarti memiliki berat isi yg sama pula, hal itu dipengaruhi berdasarkan kita mengisi tempat tersebut. Nilai berat isi berguna untuk mengkonversi sesuatu jumlah dalam satuan berat kepada satuan volume. Satuan yang digunakan untuk berat isi agregat ialah kg/m^3 (Rusnanda Rahmat Putra, 2020).

Pengujian bobot isi agregat ini diperlukan untuk mendapatkan nilai bobot gembur dan juga bobot padat pada agregat yang diuji. Adapun dalam pengujian ini menggunakan rumus:

1. Bobot isi gembur

$$= \frac{\text{berat silinder} + \text{agregat gembur}}{\text{volume silinder}} \dots\dots\dots(2.12)$$

2. Bobot isi padat

$$= \frac{\text{berat silinder} + \text{agregat padat}}{\text{volume silinder}} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.11.3 Kadar Air agregat

Kadar air agregat adalah banyaknya air yang terkandung di dalam agregat, kadar air agregat sangat penting diketahui untuk merencanakan suatu campuran beton, agregat yang mempunyai kadar air tinggi tentu berpengaruh terhadap jumlah air yang ditentukan untuk campuran beton. Ada 4 jenis kadar air pada agregat yaitu:

1. Kadar air tungku, yaitu agregat yang kering tanpa air.
2. Kadar air kering udara, yaitu agregat yang kering permukaan tetapi mengandung sedikit air.
3. Jenuh kering permukaan (SSD), yaitu agregat pada permukaan kering air tapi dalam butirnya jenuh air.

4. Agregat basah, yaitu permukaan dan didalam butiran mengandung banyak air sehingga menyebabkan penambahan volume air pada adukan beton (Rusnanda Rahmat Putra, 2020).

Persentase kadar air di dalam agregat berdasarkan SNI 03-1971-1990 dapat diketahui menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air} = \frac{W3-W5}{W5} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

W3 = Berat benda uji awal.

W5 = Berat benda uji dalam konstan.

2.11.4 Kadar Lumpur Agregat

Agregat berasal dari sungai yang kerap sekali mengandung kotoran lumpur, dalam hal ini yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian bagian yang dapat melewati saringan no.200 atau saringan 0,063 menurut ASRM dan SNI. Dalam campuran beton, lumpur dapat menimbulkan kurang sempurnanya ikatan pasta pada semen dengan afregat sehingga dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan beton (Kinanti Wijaya, Dkk, 2021).

Berdasarkan SNI 03-1968-1990 untuk menghitung kadar lumpur di dalam agregat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W2-W3}{W2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

W2 = Berat kering oven.

W3 = Berat agregat setelah dicuci.

2.11.5 Kekerasan Agregat Kasar

Kekuatan beton tidak lebih tinggi dari kekuatan agregat, oleh karena itu jika kekuatan tekan agregat lebih tinggi dari beton yang akan dibuat maka agregat tersebut masih aman untuk digunakan sebagai campuran beton. Kekerasan atau kekuatan butir-butir agregat tergantung dari bahannya dan tidak dipengaruhi oleh

letakkan antar butir satu dengan yang lainnya, agregat yang lebih kuat biasanya mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi.

Dalam hal pemilihan agregat kasar, porositas yang rendah merupakan faktor yang sangat menentukan untuk menghasilkan suatu adukan beton yang seragam, dalam artian mempunyai keteraturan dan keseragaman yang baik pada mutu dan juga parameter lain yang juga dibutuhkan (Mulyono, 2005).

Berdasarkan PEDC, Bandung, 1983 cara menghitung kekerasan agregat kasar dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kekerasan agregat} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji semula.

B = Berat benda uji tertahan saringan.

2.11.6 Konsistensi Semen

Konsistensi normal semen merupakan suatu kondisi pasta semen dalam keadaan standar basah yang airnya merata dari ujung satu hingga ke ujung lainnya. Maksud dari konsistensi normal semen itu sendiri untuk menentukan waktu mulainya pengikatan semen mulai dari tercampurnya semen dengan air. Dan juga menentukan kadar air yang sesuai dalam semen portland dalam waktu yang ditentukan.

Menurut SNI 6826:2003 pengujian konsistensi normal ialah untuk menentukan persentase air yang dibutuhkan semen untuk dapat melakukan proses hidrasi secara sempurna, yaitu sampai pada saat beton mengeras. Banyaknya air yang di pakai selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton.

Berdasarkan PEDC Bandung 1983 cara menghitung konsistensi semen dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Konsistensi} = \frac{A}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

A = Berat air.

B = Berat benda uji (semen).

2.11.7 Waktu Ikut Semen

Waktu ikat semen adalah waktu yang diperlukan semen untuk dapat mengeras, dihitung dari waktu mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen itu cukup kaku untuk menahan tekanan (Mulyono, 2005).

Waktu ikat semen dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Waktu ikat awal (*initial setting time*), yaitu waktu dari pencampuran semen hingga hilangnya sifat keplastisan.
2. Waktu ikatan akhir (*final setting time*), yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras.

Waktu ikatan awal sangat penting untuk kontrol pekerjaan beton. Untuk kasus-kasus tertentu diperlukan *initial setting time* lebih dari 2 jam agar waktu waktu terjadinya ikatan lebih panjang, waktu yang panjang ini diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan (*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*), serta penyelesaian (*finishing*).

2.11.8 Berat Jenis Semen

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling halus klinker, yang terdiri terutama dari kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu (PUBI, 1982).

Berdasarkan PEDC Bandung 1983 cara menghitung berat jenis semen dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis semen} = \frac{\text{berat semen}}{(V_2 - V_1) d} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

V1 = Pembacaan pertama pada skala botol.

V2 = Pembacaan kedua pada skala botol.

(V2-V) = Isi cairan yang dipindahkan oleh semen dengan berat tertentu.

D = Berat isi air pada suhu ruang tertutup.