

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk pembangunan. Salah satu kelemahan beton adalah lemah terhadap tarik, mudah retak serta mempunyai pola keruntuhan yang getas. Sedangkang bangunan gedung bertingkat pada daerah rawan gempa membutuhkan mekanisme keruntuhan yang daktail, hal ini bertujuan agar beton masih mampu menahan beban apabila terjadi keruntuhan walaupun dalam kondisi retak sehingga masih memungkinkan tindakan penyelamatan. Untuk itu perlu adanya inovasi untuk mengatasi kelemahan beton tersebut. Salah satu inovasi dari beton adalah beton *self compacting concrete* (SCC) dengan tambahan serat *polypropylene* (PP). Beton *self compacting concrete* (SCC) adalah beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir dan mengisi ruang-ruang didalam cetakan dengan memanfaatkan berat sendiri campuran beton (Wihardi dkk., 2006).

Penelitian terdahulu yang telah meneliti kuat tarik belah beton, beton *self compacting concrete* dan beton serat antara lain sebagai berikut ini.

1. Pengaruh Bahan Tambah Serbuk Bata dan Serat Fiber Pada *Self Compacting Concrete* (Safarizki, 2017).
2. Sifat Mekanis Pada Beton *Self Compacting Concrete* dengan Menggunakan Bahan Tambah *Viscocrete 1003* dan *Viscoflow 3211 N* (Sugiatmo, 2017).
3. Pemanfaatan Limbah Kaca dan Abu Sekam Padi Sebagai *Powder* Pada *Self Compacting Concrete* (Beton Memadat Sendiri) (Marhendi dan Yusup, 2016).
4. Pengujian Kuat Tarik Belah dengan Variasi Kuat Tekan Beton (Windah dkk., 2015).
5. Pengaruh Penggunaan Serat *High Density Polyethylene* (HDPE) Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tarik Beton (Rommel dkk., 2014).
6. Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013).

7. Pengaruh Penambahan Serat Goni Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton (Nuklirullah, 2017).
8. Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* Terhadap Sifat Mekanis Beton Normal (Khairizal dkk., 2015).
9. Pengaruh Pemberian Jumlah dan Rasio (L/D) Serat Bendrat Terhadap Sifat Mekanik Beton (Hafiz dkk., 2015).
10. Kuat Tekan Beton Serat Menggunakan Variasi *Fibre Optic* dan Pecahan Kaca (Pratiwi dkk., 2016)

2.1.1 Penelitian Terdahulu Agregat Halus

Pratiwi dkk. (2016) melakukan pemeriksaan terhadap agregat halus (pasir) dari Sungai Progo. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi pengujian gradasi, modulus halus butir, berat jenis, berat satuan, kadar air, penyerapan air dan kadar lumpur. Dari pengujian gradasi yang dilakukan diketahui bahwa agregat kasar termasuk gradasi daerah no. 2 dengan MHB (modulus halus butir) sebesar 2,648. Nilai berat jenis yang didapat sebesar 2,58. Berat satuan yang didapat adalah 1,31 g/cm³. Persentase kadar air sebesar 4,575%, penyerapan air sebesar 0,276% dan nilai kadar lumpur sebesar 4,532%.

Soebandono dkk. (2013) melakukan pemeriksaan pada agregat halus (pasir) berupa agregat alami dari Gunung Merapi, Jawa Tengah. Pengujian ini meliputi MHB, kadar air, berat jenis, penyerapan air, berat satuan, dan kadar lumpur. Dari hasil pemeriksaan gradasi yang dilakukan didapat nilai MHB (modulus halus butir) sebesar 3,274 termasuk dalam daerah gradasi no. 1. Hasil dari pengujian kadar air adalah 1,01%. Nilai berat jenis sebesar 2,67. Nilai berat satuan agregat halus 1,61 g/cm³ dan nilai kadar lumpur yang didapat sebesar 6,5%.

Sugiatmo (2017) melakukan penelitian pada agregat halus pasir. Dari hasil pengujian pasir yang berasal dari Bojonegoro memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton dengan modulus halus butir (MHB) sebesar 2,575. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus yang didapat dalam kondisi SSD adalah 2,63 dan penyerapan air sebesar 4,71%. Persentase lumpur dalam pasir didapat sebesar 2,2% yang artinya kurang dari batas kandungan lumpur yang diizinkan

yaitu sebesar 5%. Hasil pengujian dan perbedaan hasil pengujian agregat halus dari ke-3 peneliti diatas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan agregat halus berupa pasir alam

No	Jenis Pengujian	Peneliti			Satuan
		Pratiwi dkk (2016)	Seobandono dkk (2013)	Sugiatmo (2017)	
1	Gradasi daerah	No. 2	No. 1	-	-
2	MHB	2,648	3,274	2,575	-
3	Berat jenis	2,58	2,67	2,63	-
4	Berat satuan	1,31	1,61	-	g/cm ³
5	Kadar air	4,575	1,01	-	%
6	Penyerapan air	0,276	1,01	4,71	%
7	Kadar lumpur	4.532	6,5	2,2	%

2.1.2 Penelitian Terdahulu Agregat Kasar

Pratiwi dkk. (2016) melakukan pemeriksaan agregat kasar (*split*) yang berasal dari Clereng, Kulon Progo. Pengujian ini meliputi berat jenis, berat satuan keausan, kadar air, penyerapan air, dan kadar lumpur. Dari hasil pemeriksaan, berat jenis yang didapat sebesar 2,63. Berat satuan yang didapat sebesar 1,55 g/cm³. Dari pengujian *los angeles* didapat nilai keausan agregat kasar sebesar 21,36% telah memenuhi syarat yaitu kurang dari 50%. Kadar air sebesar 0,549%, penyerapan air sebesar 1,438% dan nilai kadar lumpur yang didapat sebesar 1,750%.

Soebandono dkk. (2013) melakukan pengujian agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran 20 mm dari Clereng, Kulon Progo. Pengujian ini meliputi kadar air, berat jenis, penyerapan air, keausan butir, berat satuan dan kadar lumpur. Nilai kadar air yang didapat sebesar 1,01%. Nilai berat jenis yang didapat adalah 2,69. Penyerapan air agregat kasar sebesar 0,4%. Nilai keausan butir yang didapat sebesar 18,5% telah memenuhi syarat yaitu kurang dari 50%. Nilai berat satuan agregat yang didapat sebesar 1,57 gr/cm³ dan nilai kadar lumpur yang didapat se besar 1,9%.

Sugiatmo (2017) melakukan pengujian agregat kasar yang mengacu pada SK SNI T-15-1990-03. Diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebesar 7,53 dimana nilai tersebut masih memenuhi persyaratan nilai MHB untuk agregat kasar

yang digunakan sebagai campuran beton yaitu berkisar 5 sampai dengan 8. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar pada kondisi SSD sebesar 2,59 dan penyerapan air sebesar 2,52%. Keausan agregat kasar yang diperoleh melalui uji los angeles sebesar 12,58% masih memenuhi persyaratan keausan maksimal 50%. Hasil pengujian agregat kasar berupa batu pecah dari ke-3 peneliti diatas dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbedaan agregat kasar berupa batu pecah

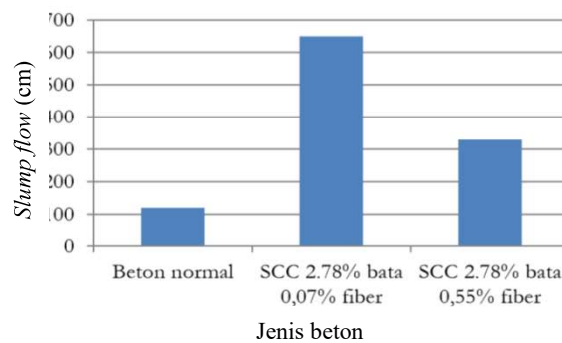
No	Jenis Pengujian	Penguji			Satuan
		Pratiwi dkk (2016)	Seobandono dkk (2013)	Sugiatmo (2017)	
1	Berat jenis	2,63	2,69	2,59	-
2	Berat satuan	1,55	1,57	-	g/cm ³
3	Keausan	21,36	18,5	12,58	%
4	Kadar air	0,549	1,01	-	%
5	Penyerapan air	1,438	0,4	2,523	%
6	Kadar lumpur	1.750	1,9	-	%

2.1.3. Penelitian Terdahulu Beton *Self Compacting Concrete*

Penelitian kuat tarik beton *self compacting concrete* (SCC) dilakukan dengan merujuk pada penelitian-penelitian sebelumnya sebagai pembanding agar hasil yang diharapkan dapat optimal. Hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya antara lain seperti berikut ini.

Safarizki (2017) telah melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana kekuatan beton *self compacting concrete* (SCC) pada umur 1 hari dengan tambahan serbuk bata dan limbah *fiber* sebagai agregat halus dalam campuran beton. Metode yang digunakan dalam membuat beton adalah *trial mix* dengan dasar campuran beton normal K350. Dibuat 3 benda uji untuk masing-masing campuran. Campuran beton normal adalah beton tanpa bahan tambah sedikitpun. Campuran beton dengan bahan tambah 2,78% serbuk bata serta 0,07% *fiber*, dan campuran beton dengan bahan tambah 2,78% serbuk bata serta 0,55% *fiber*. Hasil dari pengujian *slumpflow* menunjukkan bahwa penambahan 2,78% serbuk bata serta 0,07% *fiber* dapat meningkatkan *slumpflow* menjadi 670 mm. Peningkatan bahan tambah limbah *fiber* menjadi 0,55% justru mengurangi *slumpflow* beton *self compacting concrete* (SCC) menjadi hanya 330

mm (turun 50% dari SCC 2,78% serbuk bata serta 0,07% *fiber*). Hasil kuat tekan menunjukkan bahwa penambahan 2,78% serbuk bata serta 0,07% *fiber* dapat meningkatkan kuat tekan beton umur 1 hari menjadi 6,17 MPa dan peningkatan bahan tambah *fiber* menjadi 0,55% justru mengurangi kuat tekan beton SCC umur 1 hari menjadi 5,45 MPa (turun 11% dari SCC 2,78% serbuk bata serta 0,07% *fiber*). Hasil dari pengujian *slumpflow* beton seperti pada Gambar 2.1 dan kuat tekan beton SCC seperti pada Tabel 2.3.



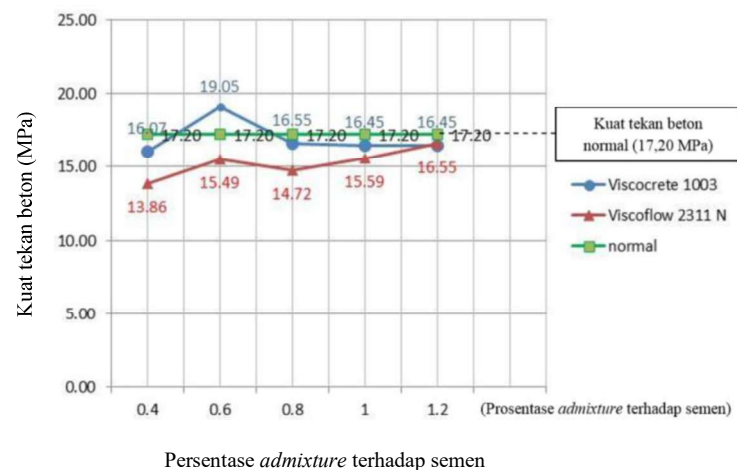
Gambar 2.1 Uji kuat *slump flow* beton (Safarizki, 2017)

Tabel 2.3 Hasil uji tekan beton (Safarizki, 2017)

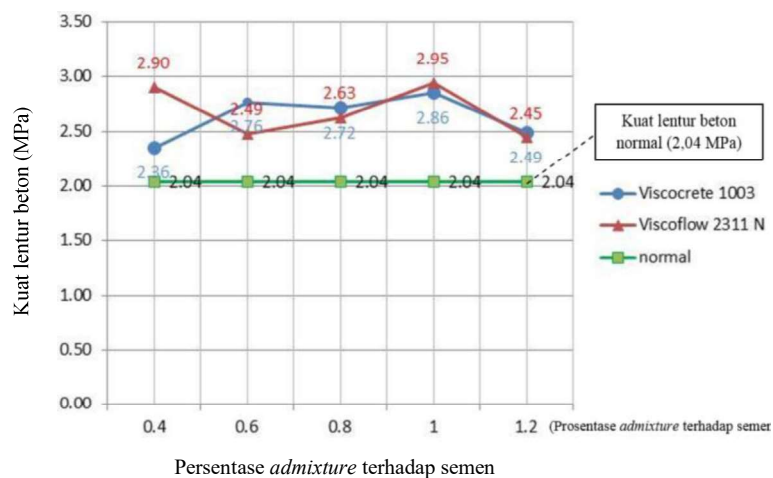
Jenis	Kuat tekan	Kuat tekan
	1 hari (MPa)	28 hari (MPa)
Beton normal	5,43	36,20
SCC 2,78% bata 0,07% <i>fiber</i>	6,17	41,10
SCC 2,78% bata 0,55% <i>fiber</i>	5,45	26,32

Sugiatmo (2017) melakukan penelitian dengan tujuan untuk memperoleh kadar optimum penggunaan bahan tambah (*admixture*) *viscocrete 1003* dan *viscoflow 3211 N* yang dapat menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur maksimal serta mengetahui sifat beton *self compacting concrete* (SCC). Jumlah benda uji masing-masing 3 buah dan untuk beton normal sebagai pembanding adalah 3 buah. Pengujian tekan berupa silinder beton 15x30 cm. pengujian kuat lentur menggunakan benda uji balok beton dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan panjang 53 cm dengan beberapa perbedaan persentase terhadap semen yaitu sebesar 0,4%; 0,6%; 0,8%; 1% dan 1,2%. Hasil uji *slump* 10 cm, sedangkan hasil pengujian *flowability* diperoleh jarak aliran terjauh sebesar 35 cm dari hasil pengukuran pada L-Box dengan panjang 50 cm. Hasil pengujian kuat tekan

silinder beton pada beton normal sebesar 17,20 MPa. Kuat tekan beton maksimal pada beton menggunakan *admixture* dicapai sebesar 19,05 MPa dengan penambahan *viscocrete 1003* sebanyak 0,6% semen. Sedangkan untuk penambahan sebanyak 0,4%, 0,8%, 1% dan 1,2% menghasilkan kuat tekan dibawah beton normal. Kuat lentur beton normal sebesar 2,04 MPa, sedangkan dengan penambahan *viscocrete 1003* sebanyak 0,4%, 0,6%, 0,8, 1% terjadi kenaikan kuat lenturnya, sedangkan pada penambahan *Viscocrete 1003* 1,2% terjadi penurunan kuat lenturnya, namun masih tinggi dibandingkan dengan kuat lentur beton normal. Penambahan *viscoflow 3211N* sebanyak 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1% dan 1,2% berada diatas kuat lentur normal. Hasil rata-rata dari pengujian kuat tekan beton umur 28 hari seperti pada Gambar 2.2 dan kuat lentur balok beton umur 28 hari seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Hasil rata-rata pengujian kuat tekan beton 28 hari (Sugiatmo, 2017)



Gambar 2.3 Hasil rata-rata pengujian kuat lentur balok beton umur 28 hari (Sugiatmo, 2017)

Marhendi dan Yusup (2016) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana kekuatan beton SCC dengan memanfaatkan limbah kaca dan abu sekam berbentuk *powder* sebagai pengganti sebagian semen sebanyak 10% (5% limbah kaca dan 5% abu sekam) dalam campuran beton dan pengujian dilakukan pada saat umur beton 1 hari. Perancangan *mix design* ini menggunakan metode SNI 03-2847-2002. Hasil pengujian *slump flow* didapat nilai sebesar 770 mm, hasil ini memenuhi standar SNI 2002 yang menetapkan *slump flow* untuk SCC antara 650-800 mm dan menunjukkan bahwa beton inovasi SCC ini memiliki *workability* dan *flowability* yang baik. Dari hasil pengujian kuat tekan memiliki karakteristik kuat tekan tinggi di awal dengan rata-rata 15,02 MPa pada umur 1 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serbuk limbah kaca dan abu sekam dapat menjadi inovasi material pengganti sebagai semen, namun tetap memperhatikan proporsinya. Hasil pengujian kuat tekan beton seperti pada Tabel 2.4.

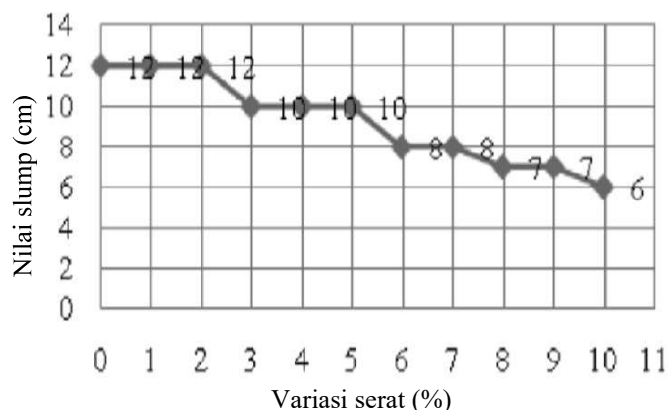
Tabel 2.4 Hasil pengujian kuat tekan beton (Marhendi dan Yusup, 2016)

No sample	Berat (kg)	Bacaan jarum (KN)	Kuat tekan umur 1 hari (MPa)	Konversi 28 hari (MPa)
1	12,07	265	15,04	44,26
2	12,12	275	15,58	45,82
3	12,02	255	14,45	42,5
	Rata-rata		15,02	44,2

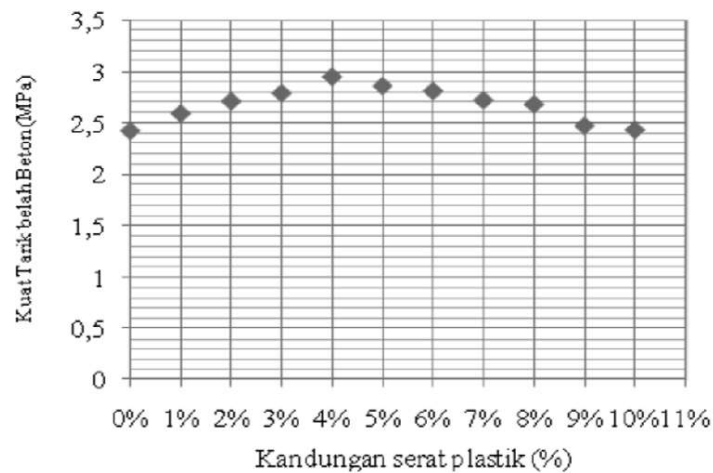
2.1.4. Penelitian Terdahulu Beton Serat dan Kuat Tarik Belah

Rommel dkk. (2014) telah melakukan penelitian pengaruh penggunaan serat *high density polyethylene* (HDPE). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara persentase variasi penambahan serat HDPE untuk pengerjaan, kekuatan tarik dan menentukan pola penyebaran serat pada beton. Penambahan serat HDPE ini adalah untuk meningkatkan kuat tarik beton. Campuran beton menggunakan semen gresik jenis PPC, kerikil dengan ukuran butir maksimum 20 mm, pasir dengan batas gradasi zona 2, dan serat *high density polyethylene* (HDPE) dengan lebar 0,5 cm dan 2,5 cm dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% dan 10% dari dari volume campuran beton. Pengujian kuat tarik dilakukan dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur 28 hari. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa penambahan jumlah serat HDPE dalam adukan beton akan membuat nilai *slump* menurun dikarenakan nilai *fas* yang tetap namun terjadi penambahan bahan sehingga mengurangi keenceran adukan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat HDPE dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Semakin besar persentase kadar variasi serat maka kuat tarik belahnya semakin tinggi, tetapi pada suatu titik optimal selanjutnya kuat tarik belah beton akan menurun. Dari hasil pengujian, didapat kuat tarik belah rata-rata beton normal sebesar 2,42 MPa dan kuat tarik belah optimum beton serat HDPE sebesar 2,86 dengan persentase penggunaan serat 4% serta peningkatan kekuatan sebesar 28%. Peningkatan ini dikarenakan penambahan serat pada adukan beton menambah ikatan didalam beton yang memperkecil terjadinya retakan dan beton tidak mudah hancur akibat pembebanan. Kada serat 6% dan 10% beton mengalami penurunan kuat tarik belah. Nilai kuat tarik paling minimum yang diperoleh sebesar 2,43 MPa. Namun nilai tersebut masih lebih tinggi dari beton normal. Penyebaran serat pada beton sangat dipengaruhi saat proses pencampuran adukan beton, serat harus tercampur secara merata agar beton yang dihasilkan memiliki kuat tekan maksimum. Mekanisme keruntuhan berubah drastis dari sifat getas untuk beton biasa dan untuk beton yang ditambahkan serat HDPE beton menjadi lebih daktil, dimana saat pembebanan puncak beton dengan serat ini tidak terbelah secara tiba-tiba. Hubungan nilai *slump* dengan serat pada beton segar seperti pada Gambar 2.4 dan hubungan kuat tarik beton dan jumlah serat seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Hubungan nilai *slump* dengan jumlah serat pada beton segar (Rommel dkk., 2014)



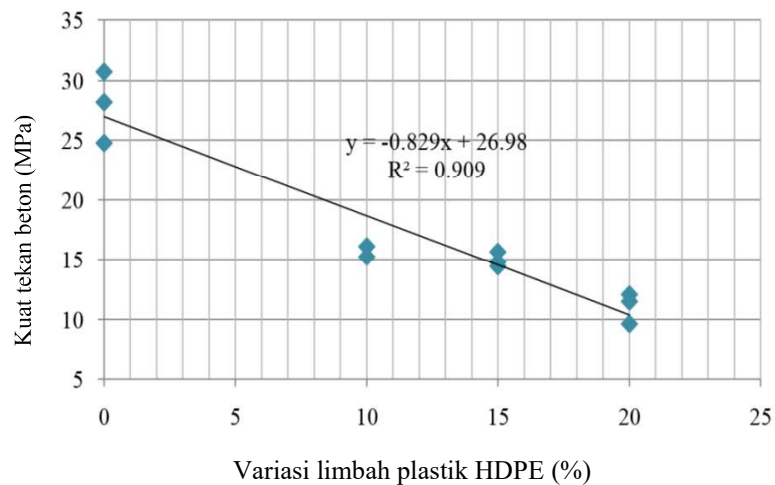
Gambar 2.5 Hubungan kuat tarik belah beton dan jumlah serat (Rommel dkk., 2014)

Soebandono dkk. (2013) melakukan penelitian tentang perilaku kuat tekan dan kuat tarik beton campuran limbah plastik HDPE. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan campuran limbah plastik HDPE sebagai pengganti sebagian agregat kasar. Penelitian ini menggunakan 4 variasi campuran agregat limbah plastik HDPE, yaitu 0% (beton normal), 10%, 15% dan 20%. Setiap variasi direncanakan masing-masing 6 sampel dengan 3 sampel untuk uji kuat tekan dan 3 sampel untuk uji kuat tarik. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik HDPE ke dalam beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar (*split*) akan menurunkan *slump* beton. Nilai *slump* yang kecil akan semakin sulit beton untuk dikerjakan karena adukan beton semakin kental. Hasil uji *slump* seperti Tabel 2.5. Dari hasil pengujian diketahui bahwa nilai kuat tekan beton menurun seiring dengan penambahan kadar limbah plastik HDPE. Kuat tekan rata-rata untuk variasi campuran agregat kasar limbah plastik HDPE 0% (normal), 10%, 15% dan 20% berturut-turut sebesar 27,88 MPa; 15,67 MPa, 14,96 MPa dan 11,08 MPa. Seiring bertambahnya kadar HDPE kuat tekan beton semakin menurun, dikarenakan permukaan limbah plastik HDPE halus dan licin sehingga ikatan antar partikel penyusun beton kurang kuat dibanding beton normal. Limbah plastik HDPE ini juga lebih lunak dari batu pecah dari segi kekuatan. Hubungan antara nilai kuat tekan beton dengan variasi persentase limbah plastik HDPE seperti pada Gambar 2.6. Dari hasil pengujian diketahui bahwa nilai kuat tarik

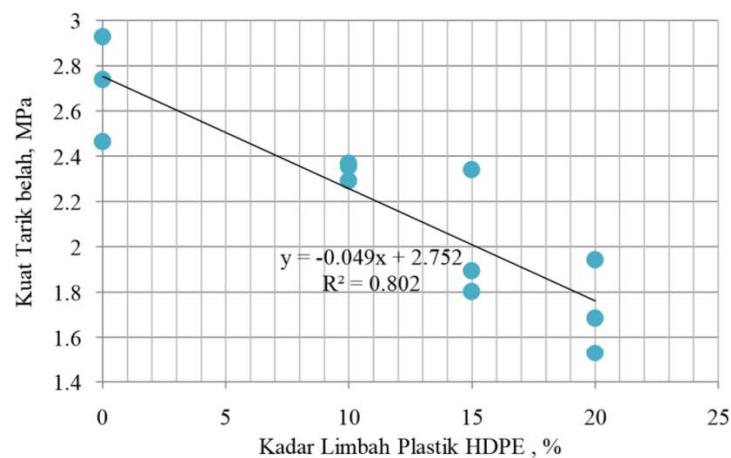
beton menurun seiring dengan penambahan kadar limbah plastik HDPE. Kuat tarik rata-rata untuk variasi campuran agregat kasar limbah plastik HDPE 0%, 10%, 15% dan 20% secara berturut-turut sebesar 2,71 MPa; 2,34 MPa; 2,01 MPa; 1,72 MPa. Hubungan antara nilai kuat tarik beton dengan variasi persentase limbah plastik HDPE seperti pada Gambar 2.7.

Tabel 2.5 Hasil uji slump (Soebandono dkk., 2013)

Jenis beton	Nilai slump (cm)
Normal	7,5
Proporsi 10% HDPE	2,5
Proporsi 15% HDPE	1,0
Proporsi 20% HDPE	0,2



Gambar 2.6 Hubungan antara nilai kuat tekan beton dengan variasi persentase limbah plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013)



Gambar 2.7 Hubungan antara nilai kuat tarik beton dengan variasi persentase limbah plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013)

Nuklirullah (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan serat goni terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton yang bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan kuat tarik beton akibat pengaruh dari penambahan serat goni. Benda uji yang digunakan adalah silinder 15x30 cm sebanyak 3 buah untuk uji tekan dan 3 benda uji untuk uji tarik dengan variasi serat 0%, 1% dan 3%. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian diketahui bahwa nilai slump menurun seiring bertambahnya persentase kadar serat. Dari hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan serat goni menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton dengan serat goni mengalami penurunan. Data dari slump adukan beton serat goni dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan hasil uji rata-rata dari variasi kadar serat seperti pada Tabel 2.7. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa kuat tarik beton rata-rata mengalami penurunan dengan adanya penambahan serat goni. Persentase penurunannya sebesar 6,83% untuk kadar serat 1% dan 23,74% untuk kadar serat 3% dari beton dengan kadar serat 0%. Hasil pengujian kuat tarik beton serat goni seperti pada Tabel 2.8.

Tabel 2.6 Nilai slump rata-rata benda uji (Nuklirullah, 2017)

Kode benda uji	Kadar serat (%)	Nilai slump rata-rata (cm)
BN	0%	16,0
BG1	1%	8,3
BG3	3%	4,3

Tabel 2.7 Kuat tekan rata-rata (Nuklirullah, 2017)

Kode benda uji	Jenis	Umur	Kuat tekan (MPa)
BN	Silinder	28 hari	25,76
BG1	Silinder	28 hari	19,82
BG3	Silinder	28 hari	18,12

Tabel 2.8 Kuat tarik rata-rata beton (Nuklirullah, 2017)

Kode benda uji	Kadar serat	Kuat tarik rata-rata (MPa)
BN	0%	2,78
BG1	1%	2,59
BG3	3%	2,12

Windah dkk. (2015) melakukan pengujian kuat tarik belah dengan variasi kuat tekan beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara hubungan antara nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik belah beton. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari. Benda uji yang digunakan sebanyak 5 buah untuk setiap variasi. Variasi kuat tekan yang digunakan yaitu 20, 25, 30, 35 dan 40 MPa. Dari hasil pengujian didapat nilai nilai kuat tekan pada umur 28 hari untuk C20, C25, C30, C35 dan C40 berturut-turut adalah 20,16 MPa, 25,13 MPa, 30,06 MPa, 34,87 MPa, 39,76 MPa. Hasil yang diperoleh jauh dari kuat tekan rencana yang diharapkan. Sedangkan nilai kuat tarik belah pada umur 28 hari untuk C20, C25, C30, C35, dan C40 berturut-turut adalah 2,36 MPa, 2,69 MPa, 2,81 MPa, 3,21 MPa, dan 3,49 MPa. Nilai kuat tarik tersebut merupakan 11,69%, 10,71%, 9,35%, 9,21% dan 8,78% dari nilai kuat tekan betonnya. Hasil pengujian kuat tekan beton seperti pada tabel 2.9 dan hasil pengujian kuat tarik belah beton seperti pada Tabel 2.10.

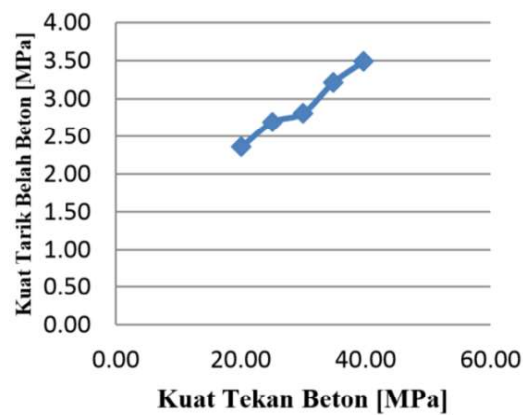
Tabel 2.9 Hasil pemeriksaan kuat tekan beton rata-rata dengan variasi kuat tekan beton (Windah dkk., 2015)

Spesimen	Kuat tekan beton rata-rata (MPa) 28 hari
C 20	20,16
C 25	25,13
C 30	30,06
C 35	34,87
C 40	39,76

Tabel 2.10 Hasil pemeriksaan kuat tarik belah beton rata-rata dengan variasi kuat tekan beton (Windah dkk., 2015)

Specimen	Kuat tarik belah beton rata-rata, f_{sp} (MPa)
C 20	2,36
C 25	2,69
C 30	2,81
C 35	3,21
C 40	3,49

Dari kedua data pada tabel diatas dibuat hubungan antara kuat tarik belah dan kuat tarik beton seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hubungan antara nilai kuat tarik belah beton dengan variasi kuat tekan beton (Windah dkk., 2015)

Hafiz dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh pemberian jumlah dan rasio (L/D) serat bendrat terhadap sifat mekanik beton yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemakaian rasio serat bendrat dan persentase serat bendrat yang optimum pada campuran beton ditinjau dari sifat mekanik beton seperti kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat geser beton. Penelitian ini menggunakan 30 benda uji silinder ukuran (150x300) mm untuk uji tekan, 30 benda uji silinder untuk uji tarik belah beton dan 30 benda uji *double-L* berukuran (200x300x75)mm untuk pengujian kuat geser beton. Penelitian ini menggunakan serat bendrat dengan diameter 0,8 mm dipotong-potong dengan panjang 1cm, 2cm, dan 3cm sehingga menghasilkan rasio L/D masing-masing 12,5; 25; dan 37,5. Banyaknya serat yang ditambahkan terhadap volume berat yang digunakan masing-masing 1%, 2% dan 3%. Dari hasil pengujian slump pada adukan beton didapat bahwa adanya tingkat *workability* ditandai dengan penurunan nilai slump seiring penambahan serat bendrat. Hasil pengujian slump beton seperti pada Tabel 2.11. Hasil pengujian kuat tekan beton diketahui bahwa penambahan serat pada beton mengakibatkan terjadinya penurunan kuat tekan. Rasio dan jumlah persentase yang paling baik untuk menghasilkan kuat tekan adalah 3,75 dengan serat sebanyak 3% yang menghasilkan kuat tekan sebesar 26,89 MPa. Dari hasil pengujian kuat tarik diketahui bahwa jumlah serat dan panjang serat mempengaruhi nilai kuat tarik beton. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa penggunaan serat baja yang terlalu panjang kurang baik pada kekuatan beton dalam menahan tarik walaupun persentasenya ditambah. Penambahan serat

3% dengan (L/D) 12,5 (serat pendek) akan meningkatkan kuat tarik belah beton hingga 2,41 MPa dimana terjadi peningkatan kuat tarik 2x lipat dibandingkan beton normal sebesar 1,23 MPa. Pada pengujian kuat geser beton diperoleh nilai terbesar yaitu 5.86 MPa pada pemakaian serat rasio L/d 37,5 dengan kandungan serat 2%. Pemakaian serat dengan L/d yang panjang tidak memberikan kuat geser yang meningkat secara proporsional dengan penambahan jumlah seratnya. Pola runtuh pada beton dengan penambahan serat bendrat pada pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat geser beton menunjukkan bahwa serat bendrat mampu menahan benda uji untuk tidak langsung hancur. Hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat geser beton seperti pada Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Hasil pengujian slump beton (Hafiz dkk., 2015)

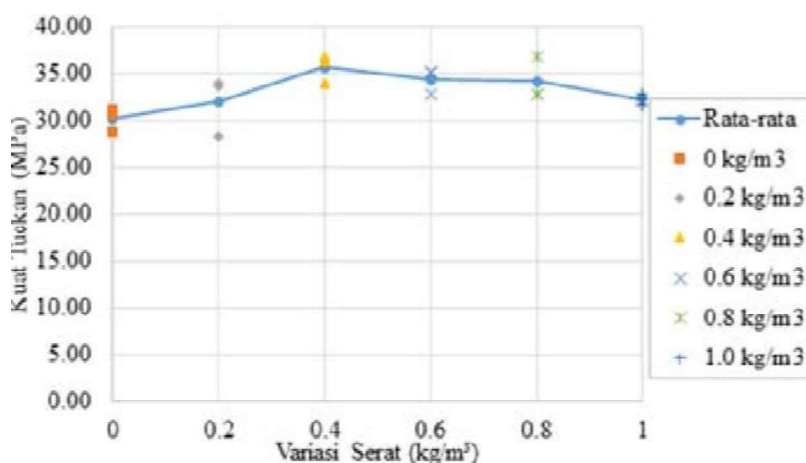
Rasio	Prosentase serat (%)	Nilai slump (cm)
0	0	17
12,5	1	15
	2	14
	3	12
25	1	15,5
	2	14
	3	13
37,5	1	15
	2	14,5
	3	13

Tabel 2.12 Hasil pengujian sifat mekanik beton (Hafiz dkk., 2015)

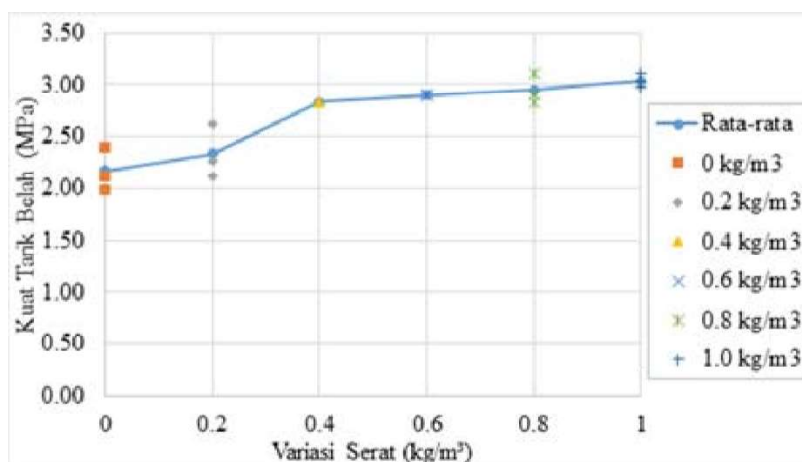
Rasio L/d	% serat	Kuat tarik (MPa)	Kuat tekan (MPa)	Kuat geser (MPa)
0	0	1,23	26,70	3,21
12,5	1	1,96	25,95	3,70
12,5	2	2,01	24,16	4,44
12,5	3	2,41	25,29	4,94
25	1	1,84	23,68	3,95
25	2	2,05	22,74	3,46
25	3	1,65	24,44	4,69
37,5	1	1,58	25,40	5,19
37,5	2	1,46	23,79	5,68
37,5	3	1,51	26,89	4,20

2.1.5. Penelitian Terdahulu Serat *Polypropylene* Pada Beton

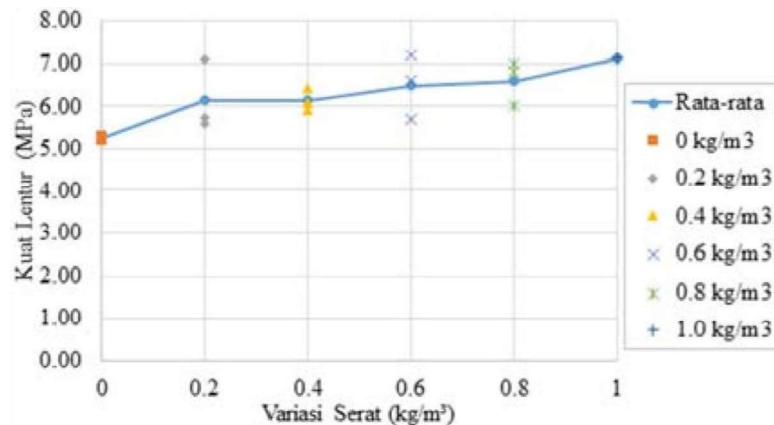
Khairizal dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan serat *polypropylene* terhadap sifat mekanis beton normal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemakaian serat *polypropylene* terhadap sifat-sifat mekanis beton. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder ukuran (15x3)cm untuk uji kuat tekan dan kuat tarik. Untuk pengujian kuat lentur digunakan benda uji balok ukuran (60x15x15)cm yang akan diuji pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan beton diketahui bahwa nilai kuat tekan beton meningkat dibandingkan beton tanpa serat *polypropylene*, begitu pula dengan kuat tarik dan kuat lenturnya. Hasil pengujian kuat tekan beton seperti pada Gambar 2.9, hasil pengujian kuat tarik beton seperti Gambar 2.10 dan hasil pengujian kuat lentur beton seperti Gambar 2.11.



Gambar 2.9 Kuat tekan beton (Khairizal dkk., 2015)



Gambar 2.10 Kuat tarik belah beton (Khairizal dkk., 2015)



Gambar 2.11 Kuat lentur beton (Khairizal dkk., 2015)

2.1.6. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian ini akan meneliti mengenai kuat tarik belah beton *self compacting concrete* dengan tambahan serat *polypropylene* dan kaolin sebagai bahan tambah semen. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terdapat pada ukuran agregat, serat yang digunakan, fas yang digunakan dan bahan tambah yang digunakan. Pada penelitian ini akan digunakan ukuran agregat 1:1 cm dengan nilai fas 0, 38 dengan *superplasticizer* 1%, kaolin 5% dari berat semen, dan variasi serat *polypropylene* 1%; 1,5% dan 2% dari berat semen. *Superplasticizer* yang digunakan adalah Sika *Viscocrete 1003* yang dikhususkan untuk pembuatan jenis beton *self compacting concrete* sebagai *water reduce*. Dengan demikian penelitian ini dijamin keasliannya. Terdapat beberapa perbedaan pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu mengenai beton serat dan *self compacting concrete* (SCC) dengan variasi penambahan variasi pada campurannya sebagai berikut ini.

Tabel 2.13 Perbedaan penelitian terdahulu dan yang sekarang dilakukan

No	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan komposisi yang dipakai pada Penelitian	
			Terdahulu	Sekarang
1	Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013)	Pengujian Lab	Digunakan 4 variasi campuran agregat limbah plastik HDPE, yaitu 0% (beton normal), 10%, 15% dan 20% untuk diuji kuat tekan dan kuat tarik.	Digunakan bahan tambah kaolin dan serat <i>polypropylene</i> dengan 3 variasi, yaitu 1%, 1,5% dan 2%. Hanya diuji kuat tarik belah.

No	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan komposisi yang dipakai pada Penelitian	
			Terdahulu	Sekarang
2	Pengaruh Penambahan Serat Goni Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton (Nuklirullah, 2017)	Pengujian Lab	Digunakan bahan tambah berupa serat goni dengan kadar variasi 0%, 1%, dan 3%. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton.	Digunakan bahan tambah kaolin 5% serat <i>polypropylene</i> dengan kadar 1%, 1,5% dan 2% dari berat semen. pengujian dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hanya dilakukan pengujian kuat tarik belah beton.
3	Pengaruh Bahan Tambah Serbuk Bata dan Serat Fiber Pada <i>Self Compacting Concrete</i> (SCC) (Safarizki, 2017)	Pengujian Lab	Benda uji dibuat dengan 3 komposisi yaitu campuran beton normal tanpa bahan tambah sedikitpun, campuran beton dengan bahan tambah 2,78% serbuk bata serta 0,07% fiber, dan campuran beton dengan bahan tambah 2,78% serbuk bata serta 0,55% fiber. Ditambahkan <i>admixture</i> Master Ease 3500 sebanyak 10% dari air yang digunakan pada campuran beton.	Dibuat benda uji dengan bahan tambah kaolin 5% pada setiap benda uji dan serat <i>polypropylene</i> masing-masing sebesar 1%, 1,5% dan 2% dari berat semen. Ditambahkan <i>admixture superplasticizer</i> berupa <i>viscocrete 1003</i> sebanyak 1% dari berat semen dan kaolin.
4	Pengaruh Penggunaan Serat <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tarik Beton. (Rommel dkk., 2014)	Pengujian Lab	Benda uji yang digunakan adalah beton normal dengan penambahan serat HDPE 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7% 8%, 9% dan 10% dari volume campuran. Pengujian kuat tarik dilakukan pada umur 28 hari.	Benda uji yang digunakan adalah beton <i>self compacting concrete</i> (SCC) dengan bahan tambah kaolin sebesar 5% dari berat semen dan serat <i>polypropylene</i> sebanyak 1%, 1,5% dan 2% dari berat semen. pengujian kuat tarik dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Beton

Beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) BSN (2013). Beton normal adalah beton yang memiliki berat isi (2200 – 2500) kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah. Bahan-bahan pengisi beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Sebelum melakukan pencampuran beton bahan-bahan pengisi beton harus dilakukan pengujian terlebih dahulu agar dapat memenuhi spesifikasi untuk menjadi beton yang baik.

Adapun beton *self compacting concrete* adalah beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir dan mengisi ruang-ruang cetakan didalam cetakan tanpa proses pemadatan (Wihardi dkk., 2006). Yang membedakan beton *self compacting concrete* dengan beton normal adalah adanya bahan tambah berupa *superplasticizer* yang berbasis *polycarboxylate* untuk mendapatkan beton segar yang bersifat *high-flowable* dan *self-compactable* dimana beton segar mampu mengalir dan memadat dengan memanfaatkan berat sendiri sehingga menghasilkan beton keras yang benar-benar padat atau kompak tanpa dilakukan proses pemadatan atau vibrasi. Beton SCC yang telah mengeras tetap bersifat getas, oleh karena itu perlu dilakukan inovasi dengan penambahan serat yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik, daktilitas, dan ketahanan matrik beton terhadap beban kejut.

2.2.2. Bahan Penyusun Beton

Beton yang baik ditentukan dari bahan penyusunnya. Material penyusun beton yang baik adalah yang memenuhi standar yang telah di syaratkan. Bahan-bahan penyusun beton harus diuji terlebih dahulu agar dapat diketahui material tersebut masuk syarat atau tidak. Bahan penyusun beton itu sendiri terdairi dari semen *Portland*, agregat kasar, agregat halus dengan bahan tambah maupun tidak.

1. Semen *Portland*

Menurut ASTM (1985) semen *Portland* didefinisikan sebagai semen *hidraulik* yang dihasilkan dengan menggiling kliner yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat

sebagai bahan tambahan yang digiling bersama- sama dengan bahan utamanya. Semen *Portland* merupakan semen yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Secara umum semen memiliki 4 unsur utama penyusunnya yaitu sebagai berikut ini.

- 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 aluminofert (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

C_3S dan C_2S merupakan senyawa yang paling dominan dalam semen yang mempengaruhi sifat semen. Bila terkena air, C_3S akan langsung terhidrasi dan menghasilkan panas. Sedangkan C_2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir. C_2S juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan juga mengurangi besar susutan peneringan. Unsur C_3A berhidrasi secara *exothermic* dan bereaksi sangat cepat memberikan kekuatan setelah 24 jam. Unsur C_4AF tidak terlalu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen. Kandungan besi yang sedikit dalam semen putih akan memberikan kandungan C_4AF yang sedikit dalam semen, sehingga kualitas semen akan bertambah dari segi kekuatannya.

Menurut ASTM (1985) semen *Portland* yang digunakan di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis , yaitu sebagai berikut ini.

- a. Jenis I, yaitu semen *Portland* untuk konstruksi umum yang penggunaannya tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II, yaitu semen *Portland* untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III, yaitu semen *Portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- d. Jenis IV, yaitu semen *Portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
- e. Jenis V, yaitu semen *Portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan tahan terhadap sulfat.

Perbedaan kandungan zat kimia yang terdapat pada masing-masing jenis semen dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.14 Kandungan zat kimia tiap jenis semen (BSN, 2004)

Jenis Semen	Kandungan Kimia						
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO	MgO
Jenis I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4
Jenis II	46	29	6	12	2,8	0,6	3
Jenis III	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6
Jenis IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7
Jenis V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6

Penelitian ini digunakan jenis semen *portland pozzolan* (PPC) tipe 1 dengan merk semen gresik. *Pozolan* adalah bahan yang mengandung *silica armof*, yang mengasihkan senyawa seperti semen yang berfungsi sebagai pengikat apabila bereaksi dengan kalsium, namun apabila tidak ada tambahan kalsium bahan *pozzolan* tidak dapat berfungsi sebagai bahan pengikat. Menurut BSN (2000) Semen *Portland-pozolan* adalah campuran semen Portland dengan *pozolan* antara 15% - 14% berat total campuran dan kandungan $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ dalam *pozolan* minimum 70%.

2. Air

Air dalam pembuatan beton berfungsi untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam proses pengerjaan beton. Untuk bereaksi dengan semen *portland*, air yang diperlukan hanya 25-30% dari berat semen. Namun kenyataan dilapangan FAS kurang dari 0,35 akan sulit dalam pengerjaannya. Sehingga dilapangan FAS yang digunakan lebih besar dan akan menyebabkan kelebihan air, akan tetapi dengan bertambahnya air dapat mengurangi kuat tekan beton. Menurut standar bahan bangunan bagian A (BSN, 1989) syarat air yang digunakan untuk bangunan adalah sebagai berikut ini.

- a. Air harus bersih.
- b. Air tidak mengandung minyak, lumpur dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda- benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dalam air dan dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.

- d. Tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang, kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Secara praktis, air yang baik digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang layak diminum, tidak berbau, tidak berwarna dan tidak berasa.

3. Agregat halus

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kandungan agregat kira-kira sebanyak 70% dari volume beton atau mortar. Agregat sangat mempengaruhi terhadap kualitas beton. Agregat halus adalah agregat langsung dari alam yang berupa butiran-butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dan ukurannya sebagian besar terletak antara 0,075-5 mm tidak lebih dari 5% (DPU, 1982) Pasir atau agregat halus dengan ukuran butir melewati saringan no.4 (butir ≤ 5 mm) berfungsi sebagai bahan pengisi dalam pembuatan bata beton. Kekuatan beton dipengaruhi oleh kualitas pasir yang digunakan, sehingga pasir yang digunakan harus memenuhi syarat yang telah disebut dalam DPU (1982) sebagai berikut ini.

- a. Pasir harus bersih, bila dicuci memakai larutan pencuci khusus, tinggi endapan pasir yang terlihat dibandingkan dengan tinggi seluruh endapan lebih besar atau tidak boleh kurang dari 70%.
- b. Nilai modulus halus butir antara 2,2 – 3,2 bila diuji memakai ayakan rangkaian dengan ukuran berturut-turut 0,16 – 0,315, 0,63 – 1,25, 5,00 -10 dengan fraksi yang lewat 0,3 mm minimal 15% berat.
- c. Kadar lumpur atau bagian yang melewati ayakan 0,063 mm kurang dari 5% berat.
- d. Pasir tidak boleh mengandung zat organik yang dapat mengurangi mutu. Pasir direndam dalam larutan 3% NaOH cairan di atas endapan tidak lebih gelap dari larutan pembanding.

Agar agregat halus dapat diketahui kualitas dan dapat dipakai sebagai bahan dalam pembuatan beton yang memenuhi syarat, perlu dilakukan pengujian. Pengujian-pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus (pasir alam) antara lain sebagai berikut ini.

1) Pengujian gradasi agregat halus (pasir alam)

Analisa gradasi ini dilakukan dengan tujuan memenuhi distribusi ukuran butir pasir dengan menggunakan saringan atau ayakan. ASTM (1986) dalam “Standard Specification for Concrete Aggregates” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel 2.14, dimana agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Tabel 2.15 Batas gradasi agregat halus (ASTM, 1986)

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif (%)
9,5	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,6	25-60
0,3	10-30
0,15	2-10

2) Pengujian berat jenis agregat halus (pasir alam)

Pemeriksaan ini dilakukan dengan langkah-langkah berdasarkan BSN (1990b).

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B+A-C)} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer yang berisi air (gram)

C = berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

3) Pengujian penyerapan agregat halus (pasir alam)

Pengujian ini dilakukan berdasarkan BSN (1990b) untuk mengetahui persentase penyerapan air pada agregat halus (pasir alam).

$$\text{Penyerapan air} = \left(\frac{S-A}{A} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

A = berat benda uji kering oven (gram)

S = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

4) Pengujian kadar lumpur agregat halus (pasir alam)

Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus dilakukan untuk mengetahui kandungan kadar lumpur yang terdapat pada agregat halus (pasir alam) berdasarkan BSN (1989).

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

B1 = pasir jenuh kering muka (gram)

B2 = pasir setelah keluar oven (gram)

5) Pengujian berat satuan agregat halus (pasir alam)

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui berat satuan agregat halus (pasir alam).

$$\text{Berat satuan} = \frac{W_3}{V} \text{ kg/liter} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

W3 = Berat benda uji (kg)

V = volume *mould* (m³)

4. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butiran lebih dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya tertahan diayakan 4,75 mm. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butiran yang keras, permukaan yang kasar, dan kekal. Agregat kasar untuk bahan pembuatan beton dapat berupa kerikil hasil dari disintegrasi alami dari batu-batuan atau dapat berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan baik secara manual maupun menggunakan mesin. Syarat agregat kasar agar dapat digunakan sebagai bahan pembuatan beton (BSN, 2002) adalah sebagai berikut ini.

- a. Bentuk agregatnya berbutir keras dan tidak berpori. Kekerasan dan keausan butir-butir agregat dapat diketahui melalui pengujian menggunakan alat keausan *Los Angeles*.
- b. Bentuk agregat yang pipih dan panjang dapat digunakan apabila jumlahnya kurang dari 20% dari jumlah total agregat.
- c. Agregat kasar (split) harus memiliki sifat kekal, yaitu tidak mudah pecah dan hancur oleh pengaruh cuaca.
- d. Agregat tersebut bersifat kekal, dapat diketahui dengan pengujian sebagai berikut ini.

1. Apabila pengujian menggunakan Natrium Sulfat, maka jumlah agregat yang hancur maksimum 12%.
 2. Apabila pengujian menggunakan Magnesium Sulfat, maka jumlah agregat yang hancur maksimum 10%.
 3. Tidak diperbolehkan ada unsur tambahan yang dapat merusak beton, seperti unsur yang dapat bereaksi dengan alkali.
- e. Kandungan lumpur dalam agregat tidak boleh lebih dari 1%, apabila melebihi 1% maka agregat harus dicuci terlebih dahulu.
- f. Terdiri dari butiran yang beraneka ragam (menerus) atau bergradasi baik. Apabila agregat kasar diayak dengan alat *shaker* maka nilai modulus halus butir (MHB) antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi kriteria sebagai berikut ini.
1. Agregat yang terdapat pada ayakan yang berdiameter 4,8mm harus berkisar antara 90-98%.
 2. Agregat yang tersisa tidak diperbolehkan ada diatas 38mm.
 3. Selisih agregat yang tersisa antara masing – masing ayakan yang saling berurutan sebesar maksimal 60% dan minimal 10% dari beratnya.

Agregat kasar diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pembuatan benda uji dalam penelitian. Pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut ini.

1) Pengujian berat jenis agregat kasar (*split*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis. Menurut BSN (2008a) perhitungan berat jenis dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$\text{Berat jenis curah (SSD)} = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

A = berat benda uji kondisi kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh air permukaan di udara (gram)

C = berat benda uji kondisi dalam air (gram)

2) Pengujian penyerapan air agregat kasar (*split*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persentase penyerapan air pada agregat kasar. Berdasarkan BSN (2008a) perhitungan berat jenis dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi kering permukaan di udara (gram)

3) Pengujian modulus halus butir (MHB)

Modulus halus butir (MHB) adalah suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Semakin besar butiran agregat maka semakin besar nilai modulus halus butirnya. Modulus halus butir didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal di atas satu set ayakan (38; 19; 6; 4; 1; 2; 0,6; 0,3; 0,15 mm), kemudian nilai tersebut dibagi dengan seratus. Agregat halus umumnya mempunyai nilai modulus halus butir (MHB) sebesar 1,5 – 3,8 dan agregat kasar umumnya mempunyai nilai MHB sebesar 5 – 8. Nilai ini juga dapat dipakai sebagai dasar mencari perbandingan dari campuran agregat. Untuk agregat campuran nilai modulus halus butir yang bisa dipakai berkisar 5,0 – 6,0. Hubungan ketiga nilai modulus halus butir tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut ini.

$$W = \frac{(K-C)}{(C-P)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

W = persentase berat agregat halus (pasir) terhadap berat agregat kasar (kerikil/batu pecah)

K = modulus halus butir agregat kasar

P = modulus halus butir agregat halus

C = modulus halus butir agregat campuran

4) Pengujian kadar lumpur agregat kasar (*split*)

Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar berdasarkan BSN (2008a) dengan tujuan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terdapat pada agregat kasar (*split*).

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

B1 = pasir jenuh kering muka (gram)

B2 = pasir setelah keluar oven (gram)

5) Pengujian berat satuan agregat kasar (*split*)

Berat satuan adalah perbandingan antara total berat isi benda uji terhadap volume cetakan benda uji. Setiap kerikil memiliki berat satuan yang berbeda, tergantung jenis kerikilnya. Berat satuan kerikil berkisar antara 1300 kg/m³ - 1600 kg/m³. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat satuan agregat kasar (*split*) dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$\text{Berat satuan} = \frac{W_3}{V} \text{ kg/liter} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan:

W3 = berat benda uji (kg)

V = volume *mould* (m³)

6) Pengujian keausan agregat kasar (*split*)

Keausan agregat adalah perbandingan antara berat sisa dari benda uji setelah mengalami pengujian dengan menggunakan mesin abrasi *Los Angeles* terhadap berat total benda uji. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui ketahanan suatu agregat terhadap beban dan cuaca. Berdasarkan (BSN, 2008) nilai keausan agregat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$\text{Keausan} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan:

A = berat benda uji awal (gram)

B = berat benda uji yang tertahan pada ayakan no. 12 (1,7mm) (gram)

2.2.3. *Self Compacting Concrete* (SCC)

Self Compacting Concrete (SCC) adalah beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga dapat mengalir mengisi ruang dalam cetakan tanpa memerlukan proses pemadatan. Kandungan pada *self compacting concrete* sama dengan beton konvensional, hanya saja diberi suatu *admixture* kimiawi berupa *viscocrete* dan bahan *pozzollan*. Untuk mendapatkan beton segar yang bersifat *high-flowable* dan *compactable* diberikan bahan tambah berupa *superplasticizer* yang berbasis *polycarboxylate* yang memungkinkan beton segar dapat mengalir dan memadat dengan memanfaatkan berat sendiri sehingga menghasilkan beton keras yang benar-benar padat atau kompak tanpa proses pemadatan atau vibrasi.

Banyak kelebihan dari penggunaan beton *self compacting concrete* (SCC) menurut (Sugiatmo, 2017) dibanding beton normal, antara lain sebagai berikut ini.

- a. Tidak memerlukan pemadatan manual maupun getaran mekanik.
- b. Sangat encer, bahkan dengan penambahan zat aditif tertentu dapat menahan slump tinggi dalam waktu yang lama (*slump keeping admixture*).
- c. Kuat tekan beton dapat dibuat untuk mutu tinggi maupun sangat tinggi.
- d. Lebih kedap, porositas beton lebih kecil.
- e. Struktur yang menggunakan beton SCC lebih awet dalam jangka panjang (*durable*).
- f. Susut beton lebih rendah.
- g. Tampilan permukaan beton lebih baik dan halus karena ukuran agregatnya biasanya lebih kecil sehingga nilai estetika bangunan menjadi lebih tinggi.
- h. Tenaga kerja yang dibutuhkan menjadi lebih rendah dikarenakan tidak membutuhkan tenaga kerja untuk pemadatan beton karena beton dapat mengalir sendiri tanpa memerlukan pemadatan.

Workability dari campuran beton yang baik pada *Self-Compacting Concrete* (SCC) adalah mampu memenuhi kriteria berikut ini.

1. Kemampuan mengisi ruang (*filling ability*)

Filling ability adalah kemampuan beton segar dalam mengisi ruangan atau cetaknya yaitu dengan mengandalkan berat sendiri beton, untuk mengetahui beton memiliki kemampuan *filling* maka dilakukan pengujian pada beton segar menggunakan alat *slump cone*, dengan waktu yang

diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter 50 cm (SF₅₀) 3 – 15 detik dan diameter maksimum yang dicapai aliran beton (SF_{max}) 65 – 75 cm. (*Japan Society of Civil Engineers Guidelines for Concrete, 2007*). Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *filling ability* sebagai berikut ini.

- a. Ukuran agregat maksimal 20 mm.
- b. Penggunaan *superplasticizer* yang memadai dengan sangat ketat mengatur komposisi agregat pada campuran.
- c. Agregat kasar yang digunakan adalah 50% volume total, agar mortar dapat melewati sela-sela dari agregat kasar yang kurang rapat tersebut.
- d. Rasio air-semen (*w/c-ratio*) yang rendah dengan mengendalikan volume agregat yang dikombinasikan dengan agregat pengisi berukuran sekitar 0,125 mm menyebabkan campuran beton ini tidak mudah mengalami segregasi.
- e. Pemakaian butir batuan yang bulat dapat mempermudah pengerjaan adukan.

2. Pengaliran (*flowability*)

Flowability pada *Self-Compacting Concrete* dapat menunjukkan bahwa beton tersebut mempunyai daya alir yang baik atau tidak. Pada *Self-Compacting Concrete flowability* dapat diuji menggunakan uji *V-Funnel* dan *Flow table*. Pada pengujian *V-Funnel*, waktu yang dibutuhkan beton hingga melewati celah adalah 6-12 detik, sedangkan *Flow table* waktu yang diperlukan beton untuk mencapai diameter sebesar 500 mm (t500) adalah 2-5 detik dan syarat diameter sebaran sebesar 700 mm.

3. Kemampuan melewati tulangan (*passing ability*)

Beton segar harus memiliki kemampuan untuk melewati celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan. Untuk mengetahui *passing ability* beton segar dapat dilakukan pengujian dengan alat *J-Ring flow table* dan *L-Box dan Box Type*, dengan perbedaan tinggi yang diperlukan aliran beton arah horizontal (H2/H1) lebih besar dari 0,8. (*The European Guidelines for Self Compacting Concrete, 2005*).

4. *Segregation Resistance*

Segregation adalah kecenderungan dari butir-butir kerikil untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton. Apabila campuran beton kelebihan air maka dapat memperbesar terjadinya segregasi, dimana material yang berat (agregat kasar) mengendap ke dasar beton segar dan material yang lebih ringan akan naik ke permukaan beton. Hal ini menyebabkan terjadinya rongga pada beton sehingga mengakibatkan beton tidak homogen, permeabilitasnya berkurang, mempengaruhi kekuatannya dan kurang awet. Dengan penggunaan *superplasticizer* maka *water/binder* dapat diperkecil, dalam takaran tertentu segregasi dapat dihilangkan yaitu dengan *trial mix design*.

5. Kemudahan dalam pengerjaan (*workability*)

Workability adalah ukuran dari tingkat kemudahan campuran beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan dan sifat bahan sangatlah berpengaruh dalam kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi *workability* beton segar antara lain sebagai berikut ini.

- a. Gradasi campuran agregat halus dan agregat kasar.
- b. Jumlah air (nilai FAS) yang dipakai dalam adukan. semakin tinggi nilai FAS beton semakin mudah untuk dikerjakan, tetapi kuat tekannya cenderung menurun.
- c. Pemakaian butiran batuan dengan bentuk bulat dapat mempengaruhi pengerjaan adukan beton segar.
- d. Pemakaian butir maksimum agregat kasar.

2.2.4. Pengujian Beton Segar *Self Compacting Concrete* (SCC)

Dalam pembuatan *Self Compacting Concrete* (SCC), syarat sifat-sifat beton segar harus diperhatikan dengan dilakukan pengujian- pengujian seperti yang tersaji pada Tabel 2.14. Beberapa pengujian *fresh properties* pada *self compacting concrete* (SCC) diuraikan sebagai berikut ini.

1. Meja Sebar T50

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan *flowability* (kemampuan alir) dan stabilitas SCC. Pelaratan yang diperlukan untuk pengujian terdiri dari

sebuah lingkaran berdiameter 500 mm yang digambar pada sebuah tatakan datar. Cara pengujiannya yaitu dengan mengisi kerucut uji slump dengan adukan beton segar kemudian diangkat ke atas. Catat waktu ketika beton segar mengalir membentuk lingkaran mencapai diameter 500 mm (T50). Saat campuran berhenti mengalir, ukur diameter akhirnya dan amati segregasi pada ujung yang terjadi. Menurut (EFNARC, 2002) durasi yang dibutuhkan oleh beton segar mencapai diameter 500 mm 2 – 5 detik. Alat pengujian meja sebar dapat dilihat pada Gambar 2.12 (a).

2. *V-Funnel Test*

V-Funnel Test digunakan untuk mengukur *filling ability* dan stabilitas dari beton segar. Peralatan terdiri dari corong berbentuk V yang di bagian bawahnya terdapat pintu yang dapat dibuka tutup. Di bawah corong disediakan ember untuk menampung beton segar yang nantinya akan dialirkan. Menurut (EFNARC, 2002) waktu yang dibutuhkan oleh beton segar untuk mengalir dari corong berkisar 6-12 detik. Alat pengujian *V-Funnel* seperti pada Gambar 2.12 (b).

3. *L-Box Test*

L-Box test digunakan untuk mengamati karakteristik material terhadap *flowability blocking* dan segregasi dalam melewati tulangan diuji dengan *L-Box test*. Menurut *European Federation of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products* (EFNARC) *L-Box test* digunakan dengan perbandingan $h_2/h_1 \geq 0,8$. Bentuk dari alat pengujian *L-Box test* dapat dilihat pada Gambar 2.12 (c).

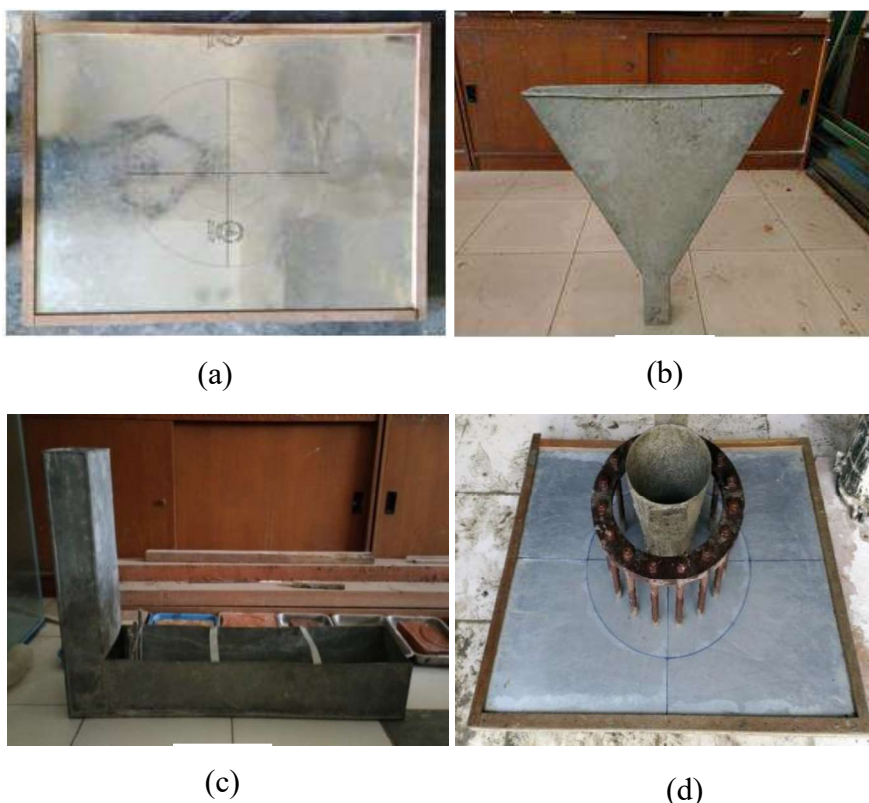
4. *J-Ring Test*

J-Ring test digunakan untuk menentukan *passing ability* beton segar. Peralatan untuk pengujian ini terdiri dari lingkaran tulangan baja terbuka dengan tulangan baja vertikal. Peralatan test ini dapat dikombinasikan dengan peralatan *slump flow test* sehingga dalam satu alat dapat digunakan untuk mengukur *filling ability* dan *passing ability*. *J-Ring* digunakan untuk mengukur luas aliran melewati hambatan, dimana luas aliran disarankan berdiameter 500 mm dalam rentang waktu 2 – 5 detik. Sementara diameter

akhir pada pengujian *J-Ring* ± 10 mm. Bentuk alat dari pengujian *J-Ring* dapat dilihat pada Gambar 2.12 (d)

Tabel 2.16 Batas-batas *fresh properties* beton SCC (EFNARC, 2002)

Parameter	Kisaran
$T_{50\text{ cm}}$	2 – 5 sec
<i>V-Funnel</i>	6 – 12 sec
<i>L-Box</i> , H_2/H_1	$\geq 0,8$
Diameter aliran <i>J-Ring</i> 50 cm	10 mm



Gambar 2.12 Alat pada pengujian: (a) Meja Sebar (T50), (b) *V-Funnel*, (c) *L-Box*, dan (d) *J-Ring*

2.2.5. Kaolin Sebagai Bahan Tambah Beton

Kaolin merupakan masa batuan yang tersusun dari lempung yang berwarna putih atau agak keputihan (Gambar 2.13), demikian pula setelah dibakar akan berwarna putih atau hamper putih. Sifat-sifat fisik kaolin antara lain memiliki berat jenis 2,60 – 2,63, kekerasan antara 2 – 2,5 (skala *mohs*), daya hantar panas listik rendah serta kadar asam (pH) yang bervariasi. Kaolin memiliki komposisi hidrous aluminium silikat ($2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \cdot \text{SiO}_2$) yang diikuti oleh material ikutan lainnya. Komposisi mineral yang termasuk ke dalam kaolin antara lain kaolinit,

nakrit dan halloysit (mineral utama, $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{SiO}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) mempunyai kandungan air yang lebih besar (Garinas, 2009). Proses pembentukan kaolin dapat terjadi melalui proses hidrotermal alterasi batuan beku felspartik. Ada 2 macam hasil endapan kaolin yaitu endapan residual dan sedimentasi. Mineral yang termasuk dalam kelompok kaolin antara lain kaolinit, nakrit, dikrit dan halloysit, yang mempunyai kandungan air lebih besar dan umumnya membentuk endapan tersendiri. Kaolin bisa didapatkan dari limbah pertambangan timah.

Kaolin memiliki banyak kegunaan diantaranya dalam industri keramik, pembuatan pasta gigi, obat-obatan dan isolator. Berdasarkan fungsinya kaolin memiliki sifat *pozzolan* sehingga bisa digunakan sebagai bahan tambah pada beton.



Gambar 2.13 Kaolin

2.2.6. Bahan Tambah *Superplasticizer (Viscocrete-1003)*

Menurut DPU (1990) bahan tambah adalah suatu bubuk atau cairan yang ditambahkan kedalam adukan beton selama pengadukan dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Untuk membuat beton *self compacting concrete*, dibutuhkan suatu zat *additive* berupa *superplasticizer*. Pada penelitian ini, *superplasticizer* yang digunakan adalah *Viscocrete*. *Viscocrete* merupakan *superplasticizer* dari Sika tipe 1003 dengan kemampuan mengalir yang baik dengan kohesi yang optimal juga pengurangan air sehingga nilai kuat tekan betonnya meningkat dengan *workability* yang baik. *Viscocrete 1003* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Superplasticizer (*Viscocrete 1003*) merk sika

2.2.7. *Polypropylene* Sebagai Serat Beton SCC

Polypropylene adalah sebuah polimer termo-plastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya dalam industri tekstil, pembuatan plastik, pengemasan, dll. Serat *polypropylene* sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari, diantaranya plastik pembungkus makanan ringan, karung beras, tali raffia, sedotan, tali seperti tambang untuk pengemasan, dll. *Polypropylene* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *strapping band* yang biasa digunakan untuk pengemasan barang. Penggunaan serat *polypropylene* telah terbukti dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat-sifat struktural beton antara lain daktilitas yang berhubungan dengan kemampuan bahan untuk menyerap energi, ketahanan terhadap beban kejut ketahanan terhadap keausan dan ketahanan terhadap pengaruh penyusutan / *shrinkage* (Kartini, 2007).



Gambar 2.15 Serat *polypropylene*

2.2.8. Kuat Tarik Belah Beton

Menurut BSN (2002) kuat tarik belah benda uji beton berbentuk silinder adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan. Kuat tarik beton biasanya 8-15% dari kuat tekannya, kekuatan tarik adalah suatu sifat yang penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran retak di dalam struktur (Windah dkk, 2015). Pada saat pengujian pemberian beban dilakukan secara menerus tanpa sentakan dengan kecepatan pembebanan konstan yang berkisar 0,7 hingga 1,4 MPa per menit sampai benda uji hancur, kecepatan pembebanan untuk benda uji silinder dengan ukuran 150 x 300 mm berkisar antara 50 sampai 100 kN per menit (BSN, 2002). Besarnya nilai kuat tarik belah beton (tegangan rekah beton) dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$f^t = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{1}{2} \pi DL} = \frac{2P}{\pi DL}$$

dengan :

- f^t = Kuat tarik belah beton (N/mm²)
- P = Beban maksimum yang diberikan (N)
- A = Luas penampang benda uji (mm²)
- D = Diameter benda uji silinder (mm)
- L = Panjang benda uji silinder (mm)