

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Hampir di setiap bangunan menggunakan beton karena ketahanannya, tetapi pengerjaan beton tersebut harus menggunakan alat seperti *compactor* atau *vibrator* yang digunakan untuk memadatkan beton supaya tidak membentuk rongga udara pada beton. Tetapi tidak semua tempat memiliki alat tersebut, sehingga untuk mengatasi masalah tersebut dapat menggunakan *self fiber compacting concrete* (SFCC). Beberapa penelitian terdahulu tentang *self fiber compacting concrete* diantaranya sebagai berikut ini.

- a. Efek gabungan dari limbah partikel *PET* dan bahan tambah *Pozzolan* dengan *properties* dari *self compacting concrete* (Sadrmomtazi dkk., 2015).
- b. Kuat tekan, penyerapan air, *sorptivity air*, dan nilai penghambusan permukaan unsur kima radon terhadap *silica fume* dan *fly ash* berbasis *mortar* (Hatungimana dkk., 2019).
- c. Studi banding tentang pengaruh efek *fly ash* kelas F, *nano silica* dan *silica fume* pada sifat beton *high performance self compacting concrete* (Jalal dkk., 2015).
- d. Efek dosis *superplasticizer* pada beton *self compacting concrete*: korelasi antara reologi dan kekuatan (Benaicha dkk., 2019).
- e. Efek air magnetik terhadap kuat tekan dan dosis *superplasticizers* dan air di *self compacting concrete* (Esfahani dkk., 2018).
- f. Penggunaan serat kaca dan serat nilon dalam beton untuk mengendalikan mikro usia dini pada retak di dek jembatan (Khan dan Ali., 2016).
- g. Pengaruh penambahan serat *nylon* terhadap kinerja beton agregat daur ulang (Lee, 2019).
- h. Perilaku mekanis dari perkerasan beton *self compacting concrete* dengan penambahan serbuk ban karet daur ulang dan diperkuat dengan serat *polypropylene* (Hesami dkk., 2016).
- i. Efek dari eksperimental semen *ternary* pada beton segar dan sifat mengeras pada *self compacting concrete* (Belaidi dkk., 2015).

- j. Kinerja pengoptimalan pada beton mutu tinggi *self compacting concrete* (Raymond dkk., 2017).

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang Agregat Halus

Prayuda dan Pujianto (2018) melakukan penelitian yang membahas perbandingan hasil kuat tekan pada beton dengan variasi jenis agregat halus ditinjau dari tiga lokasi yang berbeda. Dapat disimpulkan bahwa agregat halus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, namun agregat merapi tidak memenuhi persyaratan karena hasil dari pengujian kadar lumpur yang terlalu besar yaitu mencapai 19,62%. Syarat maksimal kadar lumpur yang telah ditentukan yaitu sebesar 5%. Jadi disarankan sebelum agregat digunakan harus di cuci terlebih dahulu. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 2.1 yang merupakan hasil pengujian agregat halus (pasir).

Tabel 2.1 Hasil pengujian agregat halus dari 3 lokasi yang berbeda

Jenis pemeriksaan	Asal Agregat		
	Gamalama	Merapi	Kali Progo
Gradasi Butiran	Daerah 4	Daerah 4	Daerah 4
Modulus Halus Butir	2.77	3.27	2.66
Kadar Air (%)	24.66	42.19	15.00
Berat Jenis	2.38	2.54	2.42
Penyerapan Air (%)	0.25	0.06	11.00
Kadar Lumpur (%)	2.76	19.62	3.13
Berat Satuan (g/cm ³)	1.62	1.70	1.32

2.1.2 Penelitian Terdahulu tentang Agregat Kasar

Prayuda dan Pujianto (2018) melakukan penelitian yang membahas perbandingan hasil kuat tekan beton dengan menggunakan variasi jenis asal agregat kasar dari tiga lokasi yang berbeda. Hasil pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan nilai keausan yang memenuhi syarat hanya agregat dari kali progo sedangkan agregat dari gamalama dan merapi tidak

memenuhi syarat yang telah ditetapkan yaitu harus kurang dari 40%. Kadar lumpur dari agregat merapi tidak memenuhi persyaratan karena maksimum yang ditentukan hanya 1%. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 2.2 yang merupakan hasil pengujian agregat kasar.

Tabel 2.2 Hasil pengujian agregat kasar dari 3 lokasi yang berbeda

Jenis pemeriksaan	Asal Agregat		
	Gamalama	Merapi	Kali Progo
Berat Jenis	2.92	2.88	2.69
Kadar Air (%)	3.11	2.89	0.67
Penyerapan Air (%)	3.67	4.55	1.13
Berat Satuan (g/cm ³)	1.49	1.49	1.55
Kadar Lumpur (%)	0.32	7.83	0.12
Nilai Keausan (%)	76.00	54.20	25.66

2.1.3 Penelitian Terdahulu tentang *Silica Fume*

Sadromtazi dkk. (2015) melakukan penelitian tentang efek gabungan dari partikel *polyethylene terephthalate* (PET) dan bahan tambah *pozzolan* pada sifat *self compacting concrete* (SCC). Rasio penggantian agregat halus dengan berat yang sama dari limbah agregat PET yaitu 5%, 10%, 15%. Kemudian untuk rasio penggantian semen dengan berat yang sama dari *silica fume* dan *fly ash* yaitu 10% dan 30%. Sebelum pasta semen dikeraskan dilakukan pengujian *fresh properties* WPSCC yaitu *l-Box*, *slump flow*, dan *v-funnel*. Lalu pasta semen di keraskan dengan umur beton 7, 28, 60, dan 90 hari. Didapat kuat tekan optimum pada SF sebesar 36,62 MPa, sedangkan kuat lentur optimum pada SF didapatkan sebesar 10,46 pada umur 90 hari.

Tabel 2.3 Hasil pengujian kuat tekan campuran WPSCC
(Sadrmtazi dkk., 2015)

Beton Campuran	Kode Campuran	Kuat Tekan (MPa)			
		7 hari	28 hari	60 hari	90 hari
Ctrl	Ctrl	29.84	36.19	38.87	39.90
NC	C1	16.49	22.03	23.69	24.80
	C2	15.16	20.25	22.58	23.25
	C3	14.27	18.70	21.47	21.92
SF	S1	27.90	33.77	35.80	36.62
	S2	19.96	28.82	34.25	35.49
	S3	12.31	21.44	26.64	29.56
FA	F1	15.71	26.79	34.55	35.16
	F2	10.86	22.30	25.41	29.06
	F3	9.890	19.04	23.19	25.74

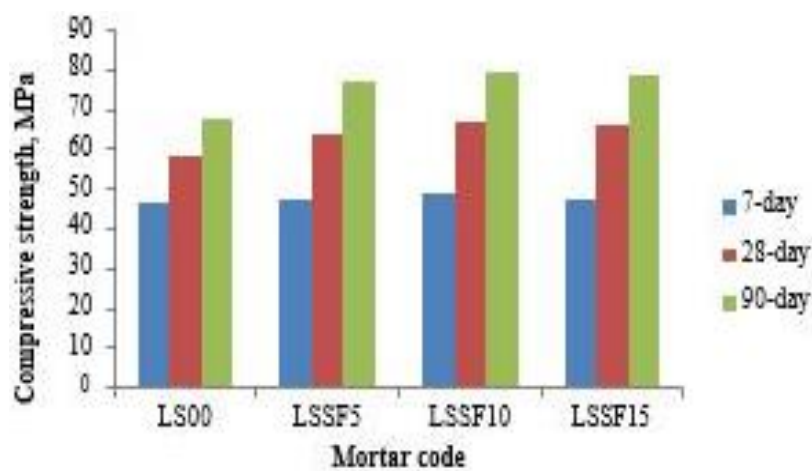
Tabel 2.4 Hasil pengujian kuat lentur campuran WPSCC
(Sadrmtazi dkk., 2015)

Beton Campuran	Kode Campuran	Kuat Lentur (MPa)			
		7 hari	28 hari	60 hari	90 hari
Ctrl	Ctrl	6.45	9.73	10.01	11.03
NC	C1	4.77	6.82	7.73	7.96
	C2	4.31	5.91	6.18	7.05
	C3	3.13	4.86	5.68	5.91
SF	S1	6.13	9.28	9.44	10.46
	S2	5.54	8.30	8.75	9.89
	S3	5.22	7.50	7.80	8.64
FA	F1	5.22	7.23	9.0	9.84
	F2	4.65	6.36	6.70	8.28
	F3	4.43	5.34	6.02	7.41

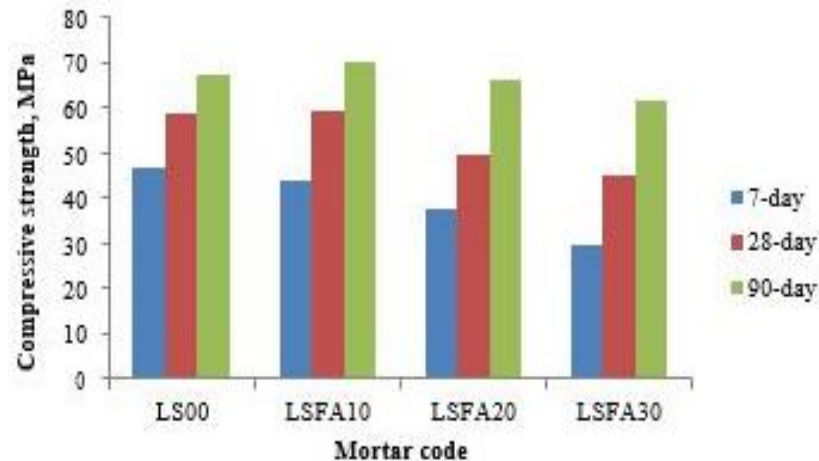
Hatungimana dkk. (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh penggantian semen parsial dengan *silica fume* dan *fly ash* terhadap kuat tekan beton,

penyerapan air, permeable volume pori, daya serap air, dan tingkat penghambusan permukaan radon pada pengujian campuran mortar. Pengujian kuat tekan dilakukan pada usia beton 7, 28 dan 90 yang ditentukan sesuai dengan standar (EN 196-1 (12)).

Ditemukan bahwa nilai kuat tekan pada usia beton 7, 28 dan 90 hari dari campuran mortar *silica fume* dengan kadar 5%, 15% dan 18% lebih besar dibandingkan dengan campuran mortar kontrol untuk penggantian semen 10% dengan *silica fume*. Sebaliknya, pada campuran mortar *fly ash* menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah dari pada mortar kontrol kecuali kuat tekan 90 hari di mana mengalami peningkatan 4%, hal ini dapat disebabkan oleh reaksi *pozzolan* yang rendah dari *fly ash* dibandingkan reaksi yang disebabkan oleh *silica fume*. Kuat tekan optimum pada campuran *silica fume* variasi 10% sebesar 81 MPa pada umur beton 90 hari sedangkan pada campuran *fly ash* variasi 10% sebesar 70 MPa pada umur beton 90 hari.



Gambar 2.1 Hubungan *compressive strength* dan *mortar code* yang mengandung *silica fume* (Hatungimana dkk., 2019).



Gambar 2.2 Hubungan *compressive strength* dan *mortar code* yang mengandung *fly ash* (Hatungimana dkk., 2019).

Jalal dkk. (2015) meneliti tentang pengaruh dari beberapa pencampuran yaitu partikel *nano silica*, *silica fume* dan *fly ash* kelas F pada sifat dari *high performance self compacting concrete* (HPSCC). Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengurangan fraksi semen *portland* dengan tujuan pengurangan kadar semen tersebut diganti dengan fraksi yang berbeda yaitu dengan campuran *pozzolan*. Sifat reologi beton segar diamati melalui waktu dan diameter *slump flow* dan waktu *v-funnel*. Jumlah total terdapat 14 campuran beton yang dirancang dengan rasio air / pengikat konstan (b / b) sebesar 0,38 dan total kandungan pengikat 400 dan 500 kg / m³.

Adapun campuran beton dengan variasi SF 10%, NS 2% dan perpaduan SF 10% + NS 2% (berdasarkan berat) penggantian semen *portland*. Juga beberapa campuran yang dirancang dengan penggantian semen *portland* 5%, 10% dan 15% oleh FA. Hasil pengujian kuat tekan tertinggi 7, 28, dan 90 hari berturut-turut yaitu 49,1 MPa (500 NS 2%) dan 87,9 MPa (500 SF 10%+NS 2%). Hasil pengujian kuat tarik belah tertinggi 7, 28, dan 90 hari berturut-turut yaitu 3,7 MPa (500 SF 10%+NS 2%), dan 4,8 MPa (500 SF 10%+NS 2%) dan 4,9 MPa (500 NS 2%). Hasil pengujian kuat lentur tertinggi 7, 28, dan 90 hari berturut-turut yaitu 4,8 MPa (500 SF 10%+NS 2%), 7,3 MPa (500 SF 10%+NS 2%) dan 9 MPa (500 SF 10%+NS 2%).

Tabel 2.5 Hasil pengujian kuat tekan campuran HPSCC (Jalal dkk., 2015)

No	Beton campuran	Kuat Tekan (MPa)		
		7 hari	28 hari	90 hari
1	HPSCC 400	36.4	51.8	53.1
2	HPSCC 500	40.2	52.5	53.2
3	HPSCC 400 FA 5%	32.7	40.4	50.3
4	HPSCC 400 FA 10%	26.9	37.3	52.5
5	HPSCC 400 FA 15%	22.4	34.2	55
6	HPSCC 500 FA 5%	33.2	43.1	53
7	HPSCC 500 FA 10%	31.5	40.3	56.3
8	HPSCC 500 FA 15%	30.1	36.1	60.2
9	HPSCC 400 NS 2%	44.3	71.3	75.9
10	HPSCC 400 SF 10%	48.7	56.5	58.1
11	HPSCC 400 SF 10%+NS 2%	59	78.8	82.4
12	HPSCC 500 NS 2%	49.1	82.1	86.1
13	HPSCC 500 SF 10%	43.9	63.4	65.1
14	HPSCC 500 SF 10%+NS 2%	52.3	87.9	92.1

Tabel 2.6 Hasil pengujian kuat tarik belah campuran HPSCC
(Jalal dkk., 2015)

No	Nama campuran	Kuat Tarik belah (MPa)		
		7 hari	28 hari	90 hari
1	HPSCC 400	2.9	3.6	3.9
2	HPSCC 500	3.5	4.7	4.8
3	HPSCC 400 FA 5%	2.1	2.9	3.7
4	HPSCC 400 FA 10%	2.1	2.6	3.8
5	HPSCC 400 FA 15%	2.1	2.4	3.7
6	HPSCC 500 FA 5%	2.5	3	4.6
7	HPSCC 500 FA 10%	2.1	2.8	4.7
8	HPSCC 500 FA 15%	2.3	2.7	4.8
9	HPSCC 400 NS 2%	3	3.7	4.4
10	HPSCC 400 SF 10%	3.1	3.7	4.3
11	HPSCC 400 SF 10%+NS 2%	3.4	4.6	4.7
12	HPSCC 500 NS 2%	3.6	4.7	4.9
13	HPSCC 500 SF 10%	3.6	4.7	4.8
14	HPSCC 500 SF 10%+NS 2%	3.7	4.8	5.3

Tabel 2.7 Hasil pengujian kuat lentur campuran HPSCC (Jalal dkk., 2015)

No	Nama campuran	Kuat Lentur (MPa)		
		7 hari	28 hari	90 hari
1	HPSCC 400	3.4	3.9	5.3
2	HPSCC 500	4	4.8	5.9
3	HPSCC 400 FA 5%	3.3	3.7	5.3
4	HPSCC 400 FA 10%	3	3.7	5.2
5	HPSCC 400 FA 15%	2.9	3.6	5.4
6	HPSCC 500 FA 5%	4	4.6	6
7	HPSCC 500 FA 10%	3.8	4.5	6.1
8	HPSCC 500 FA 15%	3.7	4.5	6.2
9	HPSCC 400 NS 2%	4.2	5.7	6.4
10	HPSCC 400 SF 10%	3.8	4.6	5.9
11	HPSCC 400 SF 10%+NS 2%	4.2	6.2	7.8
12	HPSCC 500 NS 2%	4.6	6.1	7.2
13	HPSCC 500 SF 10%	4.3	5.2	6.3
14	HPSCC 500 SF 10%+NS 2%	4.8	7.3	9

2.1.4 Penelitian Terdahulu tentang *Superplasticizer*

Benaicha dkk. (2019) melakukan sebuah penelitian tentang efek dosis *superplasticizer* pada sifat *self compacting concrete* dengan korelasi antara reologi dan kekuatan. Data dari penelitian terbaru tentang sifat mekanik dan reologi menunjukkan bahwa SCC memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan beton biasa. Penelitian bertujuan untuk mencirikan efek dosis *superplasticizer* pada sifat campuran beton segar. Kemudian, hubungan antara tes reologi yang digunakan atau *fresh properties* (*slump flow*, *v-funnel*, *l-box*, tegangan luluh, dan *viskositas* plastis) dan kuat tekan.

Pengujian dilakukan pada umur beton 1, 7, dan 28 hari dengan variasi penambahan *superplasticizer* 0,3%, 0,4%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 0,8%, 0,9%, dan 1%. Beton campuran kontrol kuat tekan (N) pada 1 hari adalah 29,4 MPa dan meningkat menjadi 50,8 MPa pada 28 hari. Pada Tabel 2.8 menunjukkan bahwa SCC-SP1 mewakili karakteristik mekanik terbaik dibandingkan dengan SCC lainnya (panjang kompresif sekitar 74,4 MPa). Secara umum, pada Tabel 2.8

menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan dosis *superplasticizer* kuat tekan mengalami penurunan terhadap usia beton.

Tabel 2.8 Hasil pengujian kuat tekan campuran beton SCC
(Benaicha dkk., 2019)

Campuran SCC	Kuat Tekan (MPa)		
	1 hari	7 hari	28 hari
N	29.4	33.3	50.8
SCC SP1	45.2	60.8	73.48
SCC SP2	40.64	55.48	71.44
SCC SP3	35.3	46.28	65.2
SCC SP4	32.24	41.5	59.88
SCC SP5	29.24	37.84	53.24
SCC SP6	26.64	33.56	45.24
SCC SP7	18.88	27.24	38.7
SCC SP8	15.04	20.76	29.44

Esfahani dkk. (2018) melakukan sebuah penelitian tentang efek air magnetik terhadap kuat tekan dan dosis *superplasticizers* dan air pada sifat beton *self compacting concrete*. Penggunaan *self compacting concrete* (SCC) telah ditetapkan, Namun metode baru untuk mengoptimalkan dan menyediakan yang lebih sesuai untuk kemampuan kinerja beton masih berkembang. Efek air magnet pada SCC, dengan menjaga dosis *superplasticizer* menjadi konstan dan dapat mengurangi rasio air ke semen dilakukan penyelidikan terlebih dahulu.

Hasil menunjukkan bahwa penggunaan air termagnetisasi dalam beton SCC dapat mengurangi dosis *superplasticizer* hingga 30%. *Mix design* beton SCC dapat dilihat pada Tabel 2.9. Dilakukan pengujian *fresh properties* seperti *slump flow*, *v-funnel*, dan *l-box*. Dilakukan pengujian kuat tekan pada usia beton 7 hari dan 28 hari. Kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi Mag-W 0.35 yaitu sebesar 47,5 MPa pada umur beton 28 hari dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.9 *Mix design* campuran SCC (Esfahani dkk., 2018)

Campuran Beton	W : C	Mix Desain (Kg/m ³)						Modifikasi campuran viskositas
		Semen	Bubuk Kapur	SP	W	Agregat halus	Agregat Kasar	
Ref 0.35	0.35	450	125	15.75	157.5	817	806	4.5
Ref 0.40	0.4	400	125	12.0	160.0	863	806	4.0
Ref 0.45	0.45	380	125	9.50	171.0	860	806	3.8
Ref 0.50	0.5	350	125	7.0	175.0	880	806	3.5
Mag-W 0.35	0.32	450	125	15.75	144.1	817	806	4.5
Mag-W 0.40	0.36	400	125	12.0	145.5	863	806	4.0
Mag-W 0.45	0.40	380	125	9.5	152.5	860	806	3.8
Mag-W 0.50	0.44	350	125	7.0	154.2	880	806	3.5
Mag-SP 0.35	0.35	450	125	10.33	157.5	817	806	4.5
Mag-SP 0.40	0.40	400	125	8.28	160.0	863	806	4.0
Mag-SP 0.45	0.45	380	125	6.80	171.0	860	806	3.8
Mag-SP 0.50	0.50	350	125	5.21	175.0	880	806	3.5

Tabel 2.10 Hasil pengujian kuat tekan beton campuran SCC (Esfahani dkk., 2018)

Campuran Beton	SP	Kuat Tekan (MPa)	
		7 hari	28 hari
Ref 0.35	15.75	39.2	42.4
Ref 0.40	12.0	37.7	41.2
Ref 0.45	9.50	32.2	35
Ref 0.50	7.0	27.2	32
Mag-W 0.35	15.75	43.5	47.5
Mag-W 0.40	12.0	41.1	46
Mag-W 0.45	9.5	36.2	39
Mag-W 0.50	7.0	31.1	37.2
Mag-SP 0.35	10.33	40.4	45.3
Mag-SP 0.40	8.28	38.9	44.5
Mag-SP 0.45	6.80	34.3	38.5
Mag-SP 0.50	5.21	29.6	35

2.1.5 Penelitian Terdahulu tentang *Nylon*

Khan dan Ali (2016) melakukan penelitian tentang penggunaan serat kaca dan serat *nylon* dalam beton untuk mengendalikan mikro usia dini retak di dek jembatan. Dalam penelitian ini menguji kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur. Serat kaca yang diperkuat beton (GFRC) dan serat *nylon* diperkuat beton (NFRC) dieksplorasi dalam penelitian ini untuk mengurangi umur awal micro cracking (EAMC) di deck jembatan. Serat kaca dan serat *nylon* dengan panjang 50 mm dan konten serat 5% massa semen ditambahkan dalam desain campuran PC yang sama. Dibandingkan dengan PC, kuat tarik belah dan kuat lentur GFRC masing-masing meningkat sebesar 11% dan 5,6%, dan untuk NFRC masing-masing meningkat sebesar 8,4% dan 3%. Namun demikian kuat tekan masing-masing menurun sebesar 2,8% dan 5,8% untuk GFRC dan NFRC.

Kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur GFRC meningkat masing-masing sebesar 4,7%, 17% dan 23%, dibandingkan dengan PC. Kemudian NFRC juga masing-masing meningkat sebesar 2,7%, 16% dan 21% dibandingkan dengan PC.

Lee (2019) melakukan sebuah penelitian tentang pengaruh penambahan serat *nylon* terhadap kinerja beton agregat daur ulang. Campuran beton tersebut adalah agregat kasar yang didapatkan dari hasil daur ulang kemudian dibandingkan dengan agregat kasar alami yang digunakan dalam campuran beton. Beton yang dibuat menggunakan bahan tambah serat *nylon* sebesar 0,6 kg/m³ dan 1,2 kg/m³. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada saat umur beton 7, 28, dan 91 hari.

Hasil pengujian kuat tekan yang didapatkan bahwa benda uji dengan campuran agregat daur ulang (RAC) memiliki nilai kuat tekan lebih rendah dibanding beton dengan campuran agregat alami (CAC), kemudian pada hasil pengujian kuat tarik belah dengan campuran agregat daur ulang (RAC) memiliki nilai kuat tarik belah lebih rendah dibanding beton dengan campuran agregat alami (CAC). Nilai kuat tekan dan kuat tarik belah tertinggi didapat pada variasi campuran agregat alami (CAC-3) dengan umur beton 91 hari yaitu sebesar 56,60 MPa dan 6,30 MPa. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dapat dilihat pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Hasil pengujian kuat tekan (Lee, 2019)

Benda uji	Kuat Tekan (MPa)		
	7 hari	28 hari	91 hari
RAC1	18,60 (1,21)	25,40 (2,18)	30,10 (0,90)
RAC2	27,00 (0,45)	39,50 (0,98)	43,60 (2,33)
RAC3	36,20 (0,81)	47,20 (1,47)	52,60 (0,66)
CAC1	25,60 (0,97)	36,50 (1,14)	41,20 (1,12)
CAC2	37,50 (1,42)	45,60 (1,02)	52,40 (0,76)
CAC3	38,20 (0,88)	49,80 (1,65)	56,60 (1,35)

Tabel 2.12 Hasil pengujian kuat tarik belah (Lee, 2019)

Benda uji	Kuat Tarik belah (MPa)		
	7 hari	28 hari	91 hari
RAC1	1,80 (0,12)	2,50 (0,14)	3,10 (0,24)
RAC2	3,10 (0,22)	3,90 (0,11)	4,70 (0,10)
RAC3	3,70 (0,18)	4,70 (0,23)	5,60 (0,19)
CAC1	2,90 (0,14)	4,20 (0,10)	5,10 (0,22)
CAC2	4,20 (0,20)	5,20 (0,24)	6,00 (0,24)
CAC3	4,40 (0,42)	5,60 (0,32)	6,30 (0,33)

2.1.6 Penelitian Terdahulu tentang *Self-Fiber Compacting Concrete*

Hesami dkk. (2016) melakukan sebuah penelitian tentang perilaku mekanis dari perkerasan beton *self compacting concrete* memasukkan serbuk ban karet daur ulang dan diperkuat dengan serat *polypropylene*. Penelitian ini bertujuan untuk

menemukan cara terbaik untuk memproduksi beton paving dengan menggunakan limbah serbuk ban karet sebagai bahan komponen. Serbuk ban karet (TRC) digunakan sebagai pengganti pasir parsial dengan persentase 5%, 10% dan 15% dari bahan campuran beton SCC. Pada umumnya kuat tekan menurun dengan meningkatnya TRC sebagai pengganti pasir.

Pengujian *fresh properties* yang diuji meliputi pengujian *slump flow*, *T50*, dan *l-box*, data hasil pengujian *fresh properties* dapat dilihat pada Tabel 2.13. Didapatkan nilai tertinggi pada pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas dan kuat lentur yaitu sebesar 79,65 MPa, 6,27 MPa, 46,39 MPa dan 11,24 MPa, hasil pengujian kekuatan beton dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.13 Hasil pengujian *fresh properties* campuran SCC (Hesami dkk., 2016)

Kode Campuran	Nomor Campuran	Slump flow Dave (mm)	Flow time T50 (sec)	L-box (h2/h1)
A	1	74.50	2.21	0.88
	2	72.00	2.75	0.83
	3	70.00	3.51	0.82
	4	67.00	4.43	0.76
B	1	74.00	2.52	0.84
	2	70.30	3.13	0.81
	3	68.30	3.84	0.76
	4	65.00	4.85	0.69
C	1	72.50	2.89	0.81
	2	68.70	3.64	0.77
	3	64.50	4.56	0.73
	4	62.50	5.65	0.68
D	1	70.00	3.51	0.76
	2	66.50	4.12	0.72
	3	64.70	5.03	0.68
	4	60.30	6.07	0.65

Tabel 2.14 Hasil pengujian kekuatan beton SCC (Hesami dkk., 2016)

Kode Campuran	Nomor Campuran	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Modulus elastisitas (MPa)	Kuat Lentur (MPa)
A	1	78.05	4.90	42.53	8.45
	2	79.65	5.85	44.65	10.66
	3	74.53	6.27	46.39	11.24
	4	-	-	-	-
B	1	68.12	4.82	40.21	8.03
	2	73.21	5.70	43.34	9.94
	3	70.07	6.08	44.09	10.34
	4	-	-	-	-
C	1	59.94	4.63	38.56	7.48
	2	68.55	5.54	41.26	9.49
	3	66.1	5.90	42.36	10.02
	4	-	-	-	-
D	1	55.15	4.20	35.03	6.98
	2	67.21	5.09	36.45	8.45
	3	54.01	5.33	37.59	9.14
	4	-	-	-	-

Belaidi dkk. (2015) melakukan sebuah penelitian tentang efek dari eksperimental semen *ternary* pada beton segar dan sifat mengeras pada *self compacting concrete*. Penelitian ini membahas sifat-sifat *beton SCM (self compacting mortar)* dan *SCC (self compacting concrete)* dengan penambahan mineral. semen *portland* biasa (OPC), *pozzolan* alami (PZ), dan bubuk marmer (MP) digunakan dalam campuran semen *ternary* dengan substitusi campuran semen dengan PZ dan MP dengan perbandingan 1/3. Total yang dibuat sebanyak 12 benda uji (SCM) dan 6 benda uji (SCC) dengan rasio w / b konstan yaitu 0,40. Pengujian *fresh properties* pada SCM yaitu *mini-slump*, *mini v-funnel*, dan pengukuran *viskositas*. Pada pengujian *fresh properties* SCC yaitu, *slump flow*, *l-box*, *j-ring*, *v-funnel*, dan stabilitas saringan diukur untuk campuran SCC.

Didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada umur beton 7, 28, 56 hari dan 90 hari yaitu sebesar 23,3 MPa, 31,6 MPa, 32 MPa, dan 35,3 MPa.

Tabel 2.15 Hasil pengujian kuat tekan beton SCC (Belaidi dkk., 2015)

Pozzolan (%)	Serbuk marmer (%)	Kuat Tekan (MPa)			
		7 hari	28 hari	56 hari	90 hari
0	0	28.4	37.2	37.4	38.9
0.25	7.5	21.2	31.6	32	35.3
5	15	23.3	28	27.1	33.1
7.5	22.5	16.7	25.2	26.1	26.8
10	30	14.7	19.4	23.2	24.9
12.5	37.5	11.7	16.2	17.5	19.6

Raymond dkk. (2017) melakukan sebuah penelitian tentang mengoptimalkan kinerja pada beton mutu tinggi *self compacting concrete*. Garam *polyhydroxy carbon* digunakan sebagai *superplasticizer* tambahan dengan 0,2% dari berat pengikat. Digunakan bubuk kaca dengan persentase 10%, 15%, 20% dari total berat semen ditambah dengan serbuk kaca, *silica fume* dengan persentase 20%, 40%, 60% dari total berat bubuk kaca ditambah dengan *silica fume*, *Polycarboxylate Ether* dengan persentase 0,8%, 1%, 1,2% dari berat pengikat, dan agregat kasar 45%, 50%, 55% dari total volume agregat sebagai faktor yang dikendalikan (control). Nilai kuat tekan tertinggi didapat pada variasi R2 yaitu sebesar 53,2 MPa. Data hasil pengujian kuat tekan dan pengujian *fresh properties* (*slump*, *v-funnel*, *l-box*) dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Pengujian kuat tekan dan *fresh properties* campuran beton SCC (Raymond dkk., 2017)

Kode Campuran	Kuat Tekan (MPa)	Slump (cm)	V-funnel (s)	L-box	Total porositas (%)
R1	56.34	79.5	8.17	0.83	17.93
R2	53.2	72.5	12.3	0.79	15.51
R3	40.98	69.5	7.1	0.83	20.89
R4	42.93	71	11.8	0.76	16.11
R5	45.99	68.5	14	0.73	24.57
R6	42.76	80.5	8.3	0.82	18.5
R7	32.16	73.5	12.94	0.78	29.02
R8	22.35	79	37.37	0.8	21.95
R9	31.82	71	8.81	0.79	22.71

2.1.7 Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbedaan dari penelitian terdahulu dan sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.17. sebagai berikut.

Tabel 2.17 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis penelitian	Perbedaan	
				Terdahulu	Sekarang
1	Efek gabungan dari limbah partikel <i>PET</i> dan bahan tambah <i>Pozzolan</i> dengan sifat dari <i>self compacting concrete</i>	2015	Pengujian lab	Penggunaan limbah Partikel <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) dan bahan tambah <i>pozzolan</i> .	Penggunaan bahan tambah <i>silica fume</i> dan serat <i>nylon</i>
2	Kuat tekan, penyerapan air, <i>sorptivity air</i> , dan nilai penghambusan permukaan unsur kima radon terhadap <i>silica fume</i> dan <i>fly ash</i> berbasis <i>mortar</i> .	2019	Pengujian lab	Penggantian semen parsial dengan <i>silica fume</i> dan <i>fly ash</i> terhadap kuat tekan beton umur 7, 28, dan 90 hari	Penggunaan <i>silica fume</i> sebagai bahan tambah dan serat <i>nylon</i> terhadap kuat lentur beton pada umur 7, 14 dan 28 hari.
3	Studi banding tentang pengaruh efek <i>fly ash</i> Kelas F, <i>nano silica</i> dan <i>silica fume</i> pada sifat beton <i>high performance self compacting concrete</i>	2015	Pengujian lab	Penggantian semen <i>Portland</i> dengan penambahan <i>fly ash</i> 5%, 10% dan 15%.	Penambahan <i>silica fume</i> sebagai bahan tambah semen variasi 0%, 5%, 10%, 15%.

Tabel 2.17 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan	
				Terdahulu	Sekarang
4	Efek dosis superplasticizer pada beton self-compacting concrete: korelasi antara reologi dan kekuatan	2019	Pengujian lab	Penggunaan variasi 0,3%, 0,4%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 0,8%, 0,9%, dan 1%.	Penggunaan <i>superplasticizer</i> jenis <i>sikament LN</i> dengan kadar 1%.
5	Efek air magnetik terhadap kuat tekan dan dosis <i>Superplasticizers</i> dan air di <i>Self-Compacting Concrete</i> .	2018	Pengujian Lab	Pengujian kuat tekan dan <i>fresh properties</i> SCC (<i>Slump flow</i> , <i>V-funnel</i> , dan <i>L-box</i>).	Pengujian kuat lentur dan <i>fresh properties</i> SFCC (<i>Slump flow</i> , <i>T50</i> , <i>L-box</i> , <i>V-funnel</i>).
6	Penggunaan serat kaca dan serat nilon dalam beton untuk mengendalikan mikro usia dini pada retak di dek jembatan.	2016	Pengujian lab	Penggunaan serat kaca dan serat <i>nylon</i> terhadap kuat tekan, tarik belah, dan lentur.	Penggunaan serat <i>nylon</i> sebagai bahan pengikat beton dengan persentase 1% terhadap kuat lentur.
7	Pengaruh penambahan serat nylon terhadap kinerja beton agregat daur ulang	2019	Pengujian lab	Penambahan serat nylon terhadap kinerja beton agregat daur ulang	Penambahan silica fume dan serat nylon terhadap kuat lentur.

Tabel 2.17 Perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan	
				Terdahulu	Sekarang
8	Perilaku mekanis dari perkerasan beton <i>self compacting concrete</i> dengan penambahan serbuk ban karet daur ulang dan diperkuat dengan serat <i>polypropylene</i>	2016	Pengujian lab	Penambahan serbuk ban Karet daur ulang dan diperkuat dengan serat <i>polypropylene</i> .	Penambahan <i>silica fume</i> , <i>superplasticizer</i> dan serat <i>nylon</i> .
9	Efek dari eksperimental semen <i>ternary</i> pada beton segar dan sifat mengeras pada <i>self-compacting concrete</i> .	2015	Pengujian lab	Penambahan pozzolan alami dan bubuk marmer dalam campuran semen <i>ternary</i> dengan substitusi campuran 1/3 dari berat semen.	Penambahan <i>silica fume</i> dalam campuran beton SFCC dengan variasi persentase 5%, 10% dan 15%
10	Mengoptimalkan kinerja pada beton mutu tinggi <i>self compacting concrete</i>	2017	Pengujain lab	Penggunaan serbuk kaca, <i>Silica fume</i> dan serat <i>Polycarboxylate Ether</i> .	Penggunaan <i>silica fume</i> , <i>superplasticizier</i> dan serat <i>nylon</i> .

Berdasarkan dari hasil perbedaan diatas, maka penelitian ini yang membahas tentang *fresh properties* dan kuat lentur *self fiber compacting concrete* (SFCC) dengan bahan tambah *silica fume* dan serat *nylon* menurut sepengetahuan Penulis adalah asli dan belum pernah ada yang melakukan penelitian ini, sehingga dilakukan penelitian tersebut.

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 bahan tambahan (*admixture*) (BSN, 2013). Bahan pengisi beton terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Sebelum melakukan pencampuran pada beton, dilakukan pengujian pada bahan-bahan pengisi beton terlebih dahulu agar dapat memenuhi syarat spesifikasi beton yang baik.

2.2.2. Komposisi Beton

2.2.2.1. Semen *Portland*

Semen *portland* didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling secara bersama-sama dengan satu atau lebih bahan tambahan yang berbentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (BSN, 2004). (BSN, 1989) semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut ini.

- a. Jenis I, yaitu semen *portland* untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan 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 yang rendah.

- e. Jenis V, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, *silica* dan oksidasi besi adalah unsur pokok semen dapat dilihat

Tabel 2.18 Susunan unsur pada semen (BSN, 1989)

Oksida	Persen
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0,5 – 1

2.2.2.2. Air

Syarat air yang diperbolehkan untuk digunakan dalam pembuatan campuran beton menurut (ASTM, 2015) adalah sebagai berikut ini.

- Air yang ditimbang atau di ukur di *batching plant*.
- Es.
- Air yang ditambahkan oleh operator truk.
- Air bebas dari agregat-agregat.
- Air yang dicampurkan ke dalam bahan-bahan tambahan dan air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.
- Air minum dapat digunakan untuk pencampuran pada beton tanpa diuji.
- Air yang berasal dari air yang tidak dapat di minum atau air dari produksi beton dapat digunakan dalam untuk campuran pada beton dengan batasan yang memenuhi persyaratan.
- Air yang tidak dapat diminum diharuskan memenuhi syarat.
- Air yang berasal dari beberapa sumber air, dimana satu dari sumber tersebut merupakan air sisa produksi beton, maka harus memenuhi persyaratan.

2.2.2.3. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,76 mm yang berasal dari alam yang dihasilkan dari disintegrasikan batuan atau hasil olahan (pemisahan butir dan pemecahan butir) dengan melakukan penyaringan dan juga terak tanur tinggi (BSN, 2002). Persyaratan secara umum pada agregat halus yang diperbolehkan menurut (BSN, 2002) adalah seperti berikut ini.

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir berukuran seragam.
- b. Tidak mengandung unsur zat organik.
- c. Kadar lumpur yang terkandung tidak lebih dari 5%, apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat halus harus di cuci terlebih dahulu.
- d. Agregat halus tahan terhadap cuaca.
- e. Nilai modulus halus butir 2,0 – 3,0. Jika melebihi 3,0 perlu dilakukan proporsi ulang kembali.

2.2.2.4. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah hasil disintegrasikan alami dari batuan yang mempunyai ukuran butir antara 5 mm hingga 40 mm (BSN, 2002). Material agregat kasar merupakan bahan bangunan, agregat dipilih harus memenuhi syarat sebagai berikut ini.

- a. Tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan).
- b. Tidak mengandung lumpur lebih dari 1% (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm). Jika lebih 1% agregat harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Tidak mengandung unsur zat yang reaktif terhadap alkali.
- d. Butir agregat berbentuk pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
- e. Modulus halus butir antara 6 – 7,10 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- f. Butiran agregat kasar harus dengan indeks kekerasan 5% pada saat di uji dengan bejana *los angeles*.

2.2.3. *Self Compacting Concrete*

Self compacting concrete dapat diartikan sebagai beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalirkan berat sendirinya dan dapat sepenuhnya mengisi bekisting bahkan di hadapan tulangan padat, sembari mempertahankan homogenitas dan tanpa perlu pemadatan tambahan (EFNARC, 2005). Kelemahan yang dimiliki pada beton yaitu terhadap beban tarik, maka ditambahkan serat agar beton lebih kuat menahan beban tarik. Penambahan serat juga dapat meningkatkan ikatan pada beton akibat penyusutan dan dapat meningkatkan nilai kuat lentur tinggi.

Beton *self compacting concrete* memiliki kelebihan dan kekurangan dibanding beton konvensional yaitu sebagai berikut ini.

Kelebihan beton *Self compacting concrete* (SCC).

- a. Tidak perlu melakukan pemadatan dengan menggunakan alat *vibrator* dan *compactor*.
- b. Sangat encer, bahkan dengan bahan aditif tertentu bisa menahan *slump* tinggi dalam jangka waktu lama.
- c. Tenaga kerja yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit.
- d. Dapat mengurangi kebisingan yang mengganggu saat pengecoran.
- e. Lebih homogen dan stabil.
- f. Waktu pelaksanaan pada proyek menjadi lebih cepat.

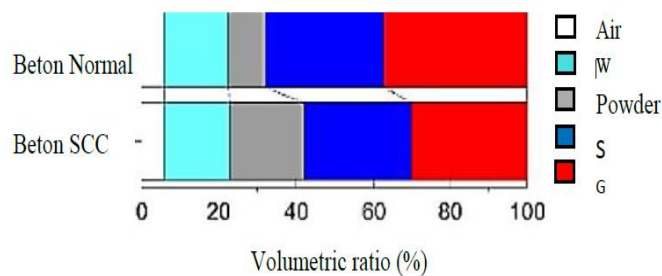
Kekurangan beton *self compacting concrete* (SCC).

- a. Pembuatan bekisting beton atau cetakan harus sangat diperhatikan agar tidak terjadi kebocoran.
- b. Beton SCC lebih encer, jadi lebih mudah segregasi namun tetap memenuhi syarat *flowabilitas*.
- c. Pembuatan beton SCC dalam segi biaya lebih mahal dibandingkan beton konvensional biasa.

2.2.3.1. **Material Penyusun beton *Self Compacting Concrete***

Material penyusun beton konvensional dan beton normal yaitu sama, yang membedakan adalah komposisi pada campuran penyusun beton. Beton SCC

memiliki sifat sangat cair karena memiliki nilai *slump* yang lebih besar. Komposisi agregat beton konvensional dan beton SCC memiliki perbedaan komposisi agregat kasar. Beton konvensional memiliki komposisi agregat kasar sekitar 70-75% dari total volume beton. Sedangkan komposisi agregat kasar beton SCC jumlahnya dibatasi kurang lebih 50% dari total volume beton beton SCC. Batasan agregat kasar beton SCC harus mengalir dan memadat tanpa alat pemadat (Okamura dan Ouchi, 2003).



Gambar 2.3 Perbandingan antara campuran SCC dengan beton normal (Okamura dan Ouchi, 2003)

2.2.3.2. Sifat *Self Compacting Concrete*

Sifat pada beton segar *self compacting concrete* (SCC) memiliki karakteristik sebagai berikut ini.

a. *Flowability*

Flowability adalah untuk menunjukkan kemampuan beton dalam mengalir dan mengisi ruang menggunakan berat sendiri. Salah satunya dapat dilakukan pengujian dengan meja sebar (*T50*) dan *v-funnel*.

b. *Viscosity*

Viscosity adalah menguji tingkat kekentalan pada beton *self compacting concrete* (SCC) dengan mencari tahu tingkat kecepatan aliran. Dapat dilakukan pengujian untuk mencari nilai kecepatan aliran dengan waktu *T50* cm selama pengujian *slump flow* atau dengan waktu *v-funnel*.

c. *Passing ability*

Passing ability adalah kemampuan beton *self compacting concrete* (SCC)

mengalir melewati celah-celah antar besi tulangan atau masuk bagian dalam celah sempit dari cetakan tanpa terjadi segregasi, kehilangan keseragaman atau terjadi pemblokiran. Untuk mengetahui nilai *passing ability* beton segar SCC maka dilakukan pengujian dengan alat *l-Box*. Nilai blocking ratio pada campuran SCC yang diperbolehkan antara 0,8 – 1,0 (EFNARC, 2002).

d. *Segregation Resistance*

Segregation adalah kemungkinan dari butir-butir kerikil yang dapat memisahkan diri dari campuran beton, ini terjadi karena kerusakan pada permukaan beton akibat tidak meratanya komposisi campuran pada beton. Terpisahnya agregat juga dapat menyebabkan penurunan kualitas pada beton. Jika pada campuran beton kelebihan air, maka akan memperbesar terjadinya segregasi, dimana pada material agregat kasar (kerikil) mengendap ke dasar beton segar dan pada material yang lebih ringan akan naik ke permukaan beton.

Penggunaan *superplasticizer* kemungkinan dapat memperkecil nilai *water/binder*, dalam takaran tertentu segregasi dapat dihilangkan yaitu dengan *trial mix design*. Untuk mengetahui nilai *segregation resistance* dapat dilakukan pengujian seperti *sieve segregation resistant* dengan tingkat segregasi yang disyaratkan maksimal 20% (EFNARC, 2002).

2.2.3.3. **Pemeriksaan *Fresh Properties Self Compacting Concrete***

Sebelum pengecoran campuran beton harus dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu. Pemeriksaan ini dilakukan supaya dapat mengetahui apakah komposisi pada campuran beton SCC telah memenuhi syarat untuk bisa digunakan atau tidak. Pemeriksaan pada campuran beton *self compacting concrete* menurut *European Federation of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products* (EFNARC) terdapat beberapa metode yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan dari sifat-sifat beton SCC sebagai berikut ini.

a. *Slump flow*

Pengujian *slump flow* adalah pengujian untuk mengetahui *flowability* dan laju aliran pada beton *self compacting concrete*. Pengujian *slump flow* menggunakan *abrams cone* dan meja sebar *T50* cm. Pelaratan yang diperlukan dalam melakukan

pengujian *slump flow* ini terdiri dari sebuah lingkaran berdiameter 500 mm (T50) yang ada disebuah tatakan datar. Pengujian dilakukan dengan cara mengisi kerucut uji *slump* dengan campuran adukan beton segar lalu kerucut uji diangkat ke atas. Kemudian lakukan pencatatan waktu ketika beton segar mengalir membentuk sebuah lingkaran berdiameter 500 mm (T50). Pada saat campuran beton berhenti mengalir, lakukan pengukuran diameter akhir dan amati segregasi diujung yang terjadi. Pemeriksaan ini memiliki kriteria nilai *slump flow* antara 650-800 mm dengan durasi waktu 2-5 detik (EFNARC, 2002).

b. *L-box*

Pengujian *l-box* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengukur kemampuan *passing ability* beton *self compacting concrete*. Beton SCC mengalir melalui lubang rapat yang termasuk ruang antara tulangan penguat dan penghalang lainnya tanpa segregasi. Pada pemeriksaan ini kriteria yang dipakai yaitu dengan perbandingan h_2/h_1 antara 0,8 – 1,0 (EFNARC, 2002).

c. *V-funnel*

V-funnel adalah pengujian yang dilakukan untuk menilai viskositas dan *filling ability* pada beton *self compacting concrete*. Peralatan yang digunakan yaitu corong berbentuk V yang dibagian bawah nya ada pintu yang dapat dibuka dan ditutup. Waktu yang diperlukan oleh campuran beton segar yang mengalir dari corong dengan durasi waktu 6 - 12 detik (EFNARC, 2002).

Tabel 2.19 Batas Sifat beton SCC (EFNARC, 2002)

Parameter	Kisaran
<i>Slump flow</i>	650 mm-800 mm
<i>T50</i> (cm)	2-5 detik
<i>V-funnel</i>	6-12 detik
<i>L-box</i>	$\geq 0,8$

2.2.4. Silica Fume

Silica fume adalah material *pozzolan* yang sangat halus, dimana komposisi pada silika lebih banyak sekali dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi *silikon* atau *alloy ferro-silikon* (gabungan antara *micro silica* dengan *silica fume*) (ASTM, 2013).

Tabel 2.20 Komposisi kimia dari *silica fume* (ASTM, 2013)

Oksida	(%)
<i>SiO₂</i> , min, %	85,0
Moisture content, max, %	3,0
Loss on ignitin, max, %	6,0

2.2.5. Superplasticizer

Superplasticizer dipakai untuk pembuatan *self compacting concrete* agar mempercepat pengerasan pada beton dan dapat mengurangi kebutuhan air. Jenis *superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini berjenis *Sikament LN* yang berasal dari PT. Sika Indonesia sebagai zat pereduksi air untuk mempercepat pengerasan pada beton SCC dan meningkatkan *workability* sesuai dengan (ASTM, 2015).

2.2.6. Kuat Lentur

Kemampuan pada beton dalam menahan beban atau gaya dengan arah tegak lurus terhadap beton yang dinyatakan kedalam mega pascal (MPa) per satuan luas (BSN, 2014). Metode untuk mengetahui nilai dari kuat lentur beton pada pengujian kuat lentur dengan menggunakan benda uji atau dapat mengkonversikan nilai kuat tekan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$\sigma = 0,94 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots 2.1$$

Hasil optimum yang diperoleh dari manometer kemudian digunakan untuk menghitung nilai kuat lentur dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$\sigma_1 = \frac{3P.L}{2b.d^2} \dots\dots\dots 2.2$$

keterangan:

σ_1 : kuat lentur benda uji (MPa),

P : beban tertinggi yang terbaca oleh mesin uji (N),

L : jarak antara dua garis perletakan (mm),

b : lebar tampang lintang patah arah horisontal (mm), dan

d : lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm).