

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beton digunakan hampir di setiap bangunan karena ketahanannya, namun pengerjaan beton harus menggunakan *Compactor* maupun *vibrator* yang berfungsi untuk memadatkan beton agar tidak terbentuk rongga udara didalam beton. Kenyataannya tidak semua tempat memiliki alat tersebut, sehingga untuk mengatasi masalah tersebut digunakan beton *self-fiber compacting concrete* (SFCC).

Beberapa penelitian terdahulu *self-fiber compacting concrete* (SFCC) nylon diantaranya adalah seperti berikut ini.

1. Daya Tahan Beton Dengan Campuran *Zeolite* Sintetis dari limbah Produksi Aluminium Sebagai Bahan Tambahan Semen (Girskas dkk., 2016).
2. Solusi Efektif untuk Susut dan Permeabilitas Rendah Beton Normal dengan Tambahan *Zeolite* yang Dikalsinasi (Zhang dkk., 2018).
3. Sifat Mekanik, Daya Tahan, dan Struktur Mikro Beton yang Mengandung *Zeolite* Alami (Nas dan Kurbetci, 2018).
4. Efek *Superplasticizer* pada ketahanan Karbonasi Beton (Shi dkk., 2016).
5. Peningkatan Struktur Mikro Beton dengan *polikarboksilat superplasticizer* (PCE) dan Pengaruh Terhadap Daya Tahan Beton (Huang dkk., 2016).
6. Daya Tahan dari Metakaolin *Self Compacting Concrete* (Badogianni dkk., 2015).
7. Studi Tentang Reologi *Self Compacting Concrete* dengan Agregat Beton Daur Ulang (Lopez dkk., 2015).
8. Sifat mekanik dari Beton Serat Baja yang Diperkuat Ringan yang Memadat Sendiri (Iqbal dkk., 2015).
9. Pengaruh Penambahan Serat Nylon terhadap Kinerja Beton Agregat Daur Ulang (Lee, 2019).
10. Penggunaan Serat Kaca dan Nylon dalam Beton untuk Kontrol Retak Mikro Usia Dini pada Dek Jembatan (Khan dan Ali, 2016).

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang Agregat Halus

Danasi dan lisantono (2015) melakukan pengujian sifat fisik dan mekanik untuk mengetahui kelayakan dari agregat halus yang digunakan. Pasir yang digunakan berasal dari sungai krasak. Tabel 2.1 menyajikan hasil uji, didapatkan hasil uji kandungan organik berwarna kuning muda cenderung jernih, kandungan lumpur 0,18%, modulus halus butir 3,21, bulk specific gravity 2,7308, bulk specific ssd 2,7622, apperent specific gravity 2,8192%, dan kadar air 2,3934%.

Tabel 2.1 Hasil pengujian agregat halus (Danasi dan lisantono.,2015)

Jenis Pengujian	Hasil	Standar	Kesimpulan
Kandungan Organik	Kuning muda dan cenderung jernih	Kuning	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	0,18%	Maksimum 5%	Memenuhi Syarat
Modulus Halus Butir	3,21	1,5-3,8	Memenuhi Syarat
Absorbtion	1,147%	2%	Memenuhi Syarat
Bulk Spesific Gravity	2,7308	-	-
Bulk Spesific SSD	2,7622	-	-
Apperent Spesific Gravity	2,8192	-	-
Kadar Air	2,3934%	-	-

2.1.2 Penelitian Terdahulu tentang Agregat Kasar

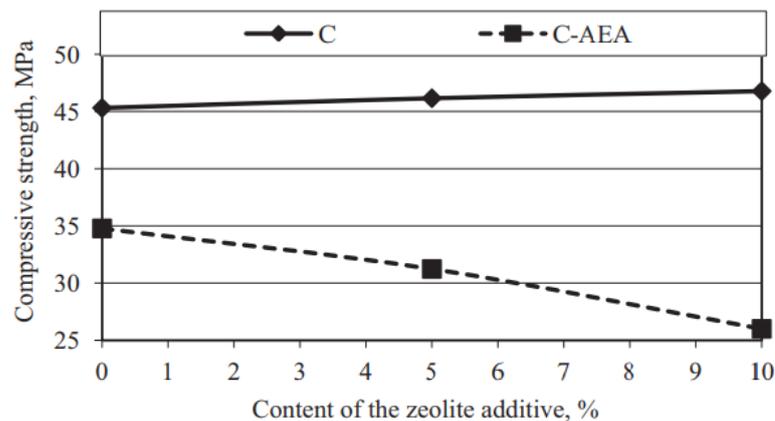
Danasi dan lisantono (2015) melakukan pengujian sifat fisik dan mekanik untuk mengetahui kelayakan dari agregat kasar yang digunakan. Krikil yang digunakan berasal dari clereng. Tabel 2.2 menyajikan hasil uji, didapatkan hasil uji modulus halus butir 6,423, keausan agregat 24,96%, kandungan lumpur 0,8%, absorption 1,5244%, bulk specific gravity 2,6739, bulk specific ssd 2,7147, apperent specific gravity 2,7875, dan kadar air 1,335%.

Tabel 2.2 Hasil pengujian agregat kasar (Danasi dan lisantono.,2015)

Jenis Pengujian	Hasil	Standar	Kesimpulan
Modulus Halus Butir	6,423	5 - 8	Memenuhi syarat
Keausan Agregat	24,96%	Maksimum 1%	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	0,8%	Maksimum 27%	Memenuhi syarat
Absorption	1,5244%	Maksimum 3%	Memenuhi syarat
Bulk Spesific Gravity	2,6739	-	-
Bulk Specific SSD	2,7147	-	-
Apperent Spesific Gravity	2,7875	-	-
Kadar Air	1,335%	-	-

2.1.3 Penelitian Terdahulu tentang Zeolite

Girskas dkk. (2016) melakukan penelitian tentang beton dengan bahan tambah *zeolite* sintesis sebagai bahan pengganti semen. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan, massa jenis, penyerapan beton dengan bahan tambah *zeolite* sintesis, dan *air entraining additive*. Terdapat 6 benda uji, persentase *zeolite* sintesis yang digunakan 0%, 5%, dan 10% dari berat semen. Pengujian kuat tekan, masa jenis, dan penyerapan beton dilakukan pada beton umur 28 hari, pengujian *scaling* dilakukan pada beton umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Gambar 2.1 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan, beton dengan campuran *air entraining additive* mengalami penurunan kuat tekan. Jadi penggunaan *air entraining additive* dapat menyebabkan penurunan kekuatan tekan pada beton.



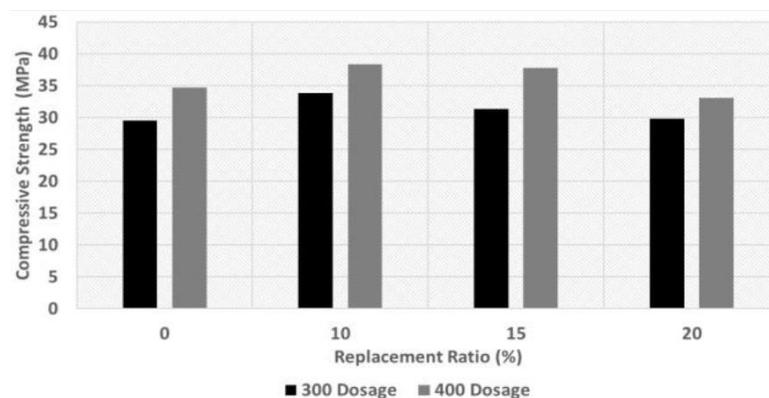
Gambar 2.1 Hubungan *compressive strength* dan *content of the zeolite additive* (Girskas dkk., 2016)

Zhang dkk. (2018) melakukan pengujian tentang beton dengan bahan tambah *zeolite* sebagai pengganti semen. Tujuan pengujian ini untuk mendapatkan campuran beton dengan kuat normal, penyusutan rendah, dan permeabilitas rendah. Terdapat dua kelompok pengujian, kelompok pengujian pertama bertujuan mengetahui susut *autogenous* susut kering, kelompok pengujian kedua, benda uji berdimensi 60×100×400 mm untuk pengujian susut, benda uji berdimensi 100×100×100 mm untuk pengujian tekan, dan benda uji berdimensi 100×100×50 mm untuk pengujian *electrica conductance* dan *rapid chloride*. Tabel 2.3 menyajikan hasil uji kuat tekan, dari hasil kuat tekan yang ada beton kering dan terendam memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal.

Tabel 2.3 Hasil pengujian kuat tekan pada beton (Zhang dkk., 2018)

No	Kuat Tekan 7hari (MPa)			Kuat Tekan 28hari (MPa)			Kuat Tekan 90hari (MPa)		
	Normal	Rendam	Kering	Normal	Rendam	Kering	Normal	Rendam	Kering
IC-1	25,4	24,1	22,3	39,0	36,9	35,4	49,3	46,3	43,7
IC-5	38,5	37,6	35,9	57,6	56,0	53,7	79,7	77,3	73,8
IC-6	48,3	47,2	45,7	73,4	72,1	70,8	94,3	92,8	90,7
IC-7	41,4	40,5	39,4	65,3	64,2	62,4	91,8	89,6	87,4
IC-8	53,8	52,9	51,3	78,2	77,4	76,3	98,6	96,7	94,1
C30	26,7	24,4	22,8	39,1	38,0	31,4	46,8	43,6	37,9
C50	53,8	51,7	50,3	69,4	68,0	62,9	84,3	81,8	76,4

Nas dan Kurbetci (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *zeolite* sebagai pengganti semen pada campuran beton. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan dan lentur beton dengan penambahan *zeolite* sebagai pengganti semen. Persentase *zeolite* yang digunakan 0%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Pengujian tekan dan lentur dilakukan pada beton umur 28 hari. Hasil pengujian lentur dapat dilihat pada Gambar 2.2, *zeolite* dengan persentase 10% memiliki kuat lentur paling tinggi.

Gambar 2.2 Hubungan *compressive strength* dan *replacement ratio* (Nas dan Kurbetci, 2018)

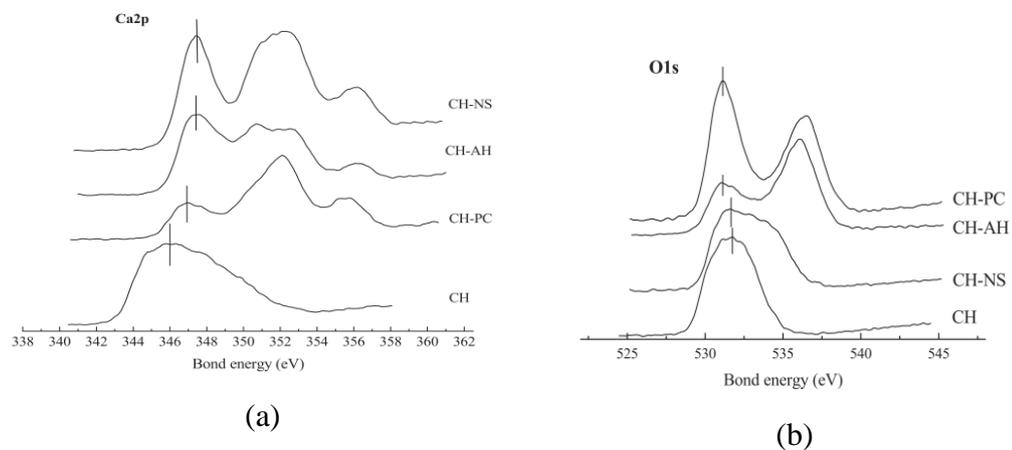
2.1.4 Penelitian Terdahulu tentang *Superplasticizer*

Shi dkk. (2016) melakukan pengujian tentang pengaruh *superplasticizers* asam polikarboksilat (PC), naftalena sulfonat (NS), dan alifatik (AH) terhadap karbonasi beton. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh karbonasi beton dengan penambahan tiga jenis *superplasticizer*. Jumlah *superplasticizers* untuk uji karbonasi adalah sebagai berikut: 0,18%, 0,27%, dan 0,36% untuk PC; 0,21%, 0,32%, dan 0,42% untuk NS; dan 0,32%, 0,42%, dan 0,52% untuk AH. Tabel 2.4

menunjukkan energi ikatan dan analisis isi unsur-unsur utama CH, dalam unsur Ca2p dan O1s energi ikat PC memiliki persentase tertinggi diantara tiga *superplasticizer* lainnya. Gambar 2.3 menunjukkan hasil pengujian energi spektrum, dalam unsur Ca2p dan O1s spektrum energi ikat PC memiliki grafik yang tinggi diantara tiga *superplasticizer* lainnya. Disimpulkan dari ketiga *superplasticize* meningkatkan ketahanan karbonasi beton, dengan PC memiliki efek yang signifikan kemudian diikuti oleh AH dan terakhir NS.

Tabel 2.4 Energi ikatan dan analisis isi unsur-unsur utama CH (Shi dkk., 2016)

Sampel	Ca2p		O1s	
	Energi ikatan (eV)	Konten (%)	Energi ikatan (eV)	Konten (%)
CH-Blank	346,10	34,31	532,24	65,69
CH-PC	347,00	32,92	532,15	6,08
CH-NS	347,56	32,81	532,16	67,19
CH-AH	347,49	30,50	531,08	69,50



Gambar 2.3 (a) Spektrum bond energy dari Ca2p dalam CH, (b) Spektrum dari bond energy O1s dalam CH (Shi dkk., 2016)

Huang dkk. (2016) melakukan pengujian tentang penambahan *superplasticizer* pada beton. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *polycarboxylate superplasticizer* (PCE) dan *polynaphthalene superplasticizer* (PNS) terhadap daya tahan beton. Pengujian daya tahan beton dilakukan dengan menguji karbonasi beton, impermeabilitas air, dan ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida. Pengujian karbonasi, impermeabilitas air, dan penetrasi klorida pada beton

PCE menunjukkan bahwa daya tahan beton PCE lebih baik dibandingkan beton PNS, beton PCE memiliki tingkat porositas yang rendah dibanding beton PNS. Dapat disimpulkan bahwa PCE memiliki struktur mikro yang lebih padat dibandingkan PNS dan karenanya kinerja daya tahan beton PCE yang lebih baik.

2.1.5 Penelitian Terdahulu tentang Self Fiber Compacting Concrete

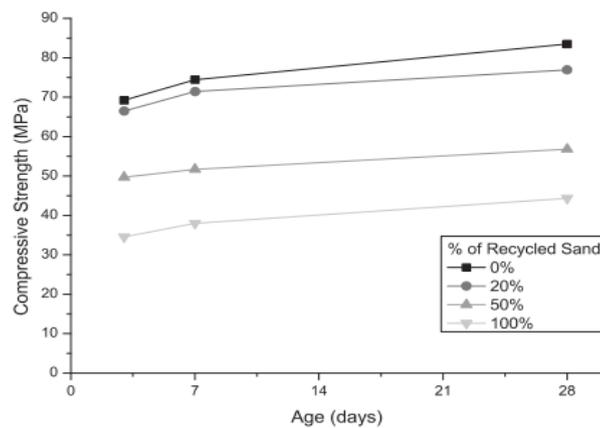
Badogianni dkk. (2015) melakukan pengujian tentang beton *self compacting concrete* dengan bahan tambah metakaolin sebagai pengganti semen. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui tingkat ketahanan beton *self compacting concrete* dievaluasi berdasarkan *sorptivity*, porositas, permeabilitas gas, permeabilitas air, dan ketahanan penetrasi klorida. Pengujian dilakukan pada beton umur 28 hari dengan 9 variasi benda uji. Tabel 2.5 menunjukkan hasil pengujian *sorptivity*, porositas, permeabilitas gas, permeabilitas air, dan ketahanan penetrasi klorida. Penambahan metakaolin meningkatkan daya tahan dari beton, efek yang mengalami peningkatan efektif terdapat pada ketahanan penetrasi klorida.

Tabel 2.5 Hasil pengujian *sorptivity*, porositas, permeabilitas gas, permeabilitas air, dan ketahanan penetrasi klorida (Badogianni dkk.,2015)

	Sorptivity	Porositas	Permeabilitas air	Permeabilit as gas	Ketahanan Penetrasi klorida
	S Mm/min ^{0.5}	P %	T _{patm} s	K _c ×10 ⁻¹⁷ m ²	D _{nssm} ×10 ⁻¹² m ² /s
RM	0,2435	19,6	7,97	5,16	21,75
SCC1	0,2098	14,8	7,66	3,39	6,58
SCC2	0,1788	18,1	7,30	5,01	4,79
SCC3	0,1549	12,7	7,34	3,53	2,61
SCC4	0,1226	16,6	7,04	3,69	1,42
SCC5	0,1638	16,6	6,97	4,87	5,86
SCC6	0,1461	18,4	6,94	5,56	3,62
SCC7	0,1130	18,4	6,48	3,58	2,47
SCC8	0,1017	18,9	7,95	4,17	0,77

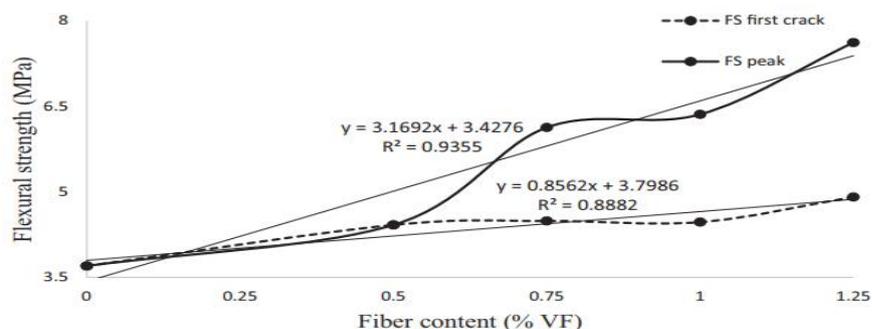
Lopez dkk. (2015) melakukan pengujian mengenai beton *self compacting concrete* dengan mengganti agregat halus alami dengan daur ulang. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari pengaruh dari penggantian agregat halus alami menjadi agregat halus daur ulang dengan melihat reologi beton *self compacting concrete* dengan pengujian *flow curve test* (FCT) dan *stress growth test* (SGT) dari

waktu ke waktu pada 15, 45, dan 90 menit. Fraksi agregat halus yang diganti 0%, 20%, 50%, 100% dari berat agregat halus yang dibutuhkan. Dilakukan uji *fresh properties* dengan pengujian *Slump-flow*, *J-ring*, dan *L-box*. Pengujian tekan dilakukan dengan benda uji berbentuk kubus berdimensi 100mm × 100mm × 100mm pada umur beton 3, 7, dan 28 hari. Hasil pengujian tekan dapat dilihat pada Gambar 2.4, menunjukkan beton dengan persentase agregat daur ulang lebih sedikit memiliki kuat tekan yang lebih besar.



Gambar 2.4 Hubungan *compressive strength* dan *age* (Lopez dkk., 2015)

Iqbal dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai beton *self compacting concrete* dengan tambahan serat baja. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat baja terhadap ketahanan beton *steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete* (SHLSCC). Serat yang digunakan dalam campuran 0%; 0,5%; 0,75%; 1%; dan 1,25%. Dilakukan pengujian tekan, tarik belah, dan lentur pada beton umur 28 hari. Hasil pengujian lentur dapat dilihat pada Gambar 2.5, menunjukkan kenaikan kuat lentur dengan persentase serat baja yang lebih banyak.



Gambar 2.5 Hubungan *flexural strength* dan *fiber content* (Iqbal dkk., 2015)

2.1.6 Penelitian Terdahulu tentang Serat Nylon

Lee (2019) melakukan penelitian mengenai beton dengan tambahan serat *nylon* dan agregat daur ulang. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat *nylon* terhadap permeabilitas dan sifat mekanik beton yang menggabungkan agregat daur ulang. Serat yang digunakan dalam campuran 0; 0,6; dan 1,2 kg/m³, kemudian dilakukan pengujian tekan, tarik belah, *Ultrasonic Pulse Velocity*, dan penetrasi ion klorida. Pengujian tekan dan tarik belah dilakukan pada beton umur 28 hari. Tabel 2.6 memaparkan hasil pengujian tekan, benda uji dengan campuran agregat daur ulang memiliki kuat tekan lebih rendah dibanding beton dengan campuran agregat alami. Tabel 2.7 memaparkan hasil pengujian tarik belah, benda uji dengan campuran agregat daur ulang memiliki kuat tarik belah lebih rendah dibanding beton dengan campuran agregat alami.

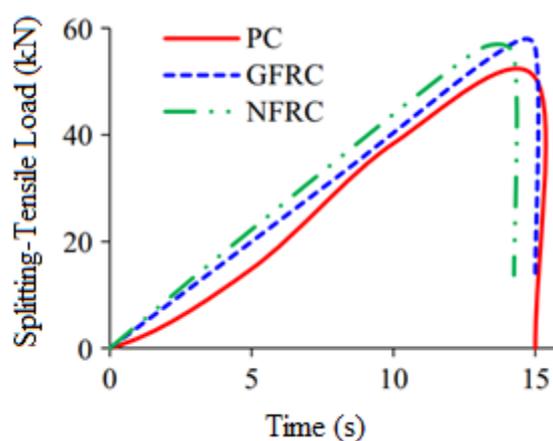
Tabel 2.6 Hasil pegujian tekan (Lee, 2019)

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 2.7 Hasil pegujian tarik belah (Lee, 2019)

Benda uji	Kuat Tekan (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)

Khan dan Ali (2016) melakukan penelitian tentang penambahan serat gelas dan serat *nylon* untuk mengatasi *micro cracking* usia dini pada dek jembatan. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan serat kaca dan *nylon* terhadap ketahanan dan *micro cracking* usia dini pada dek jembatan. Serat kaca dan *nylon* yang digunakan dalam pengujian ini memiliki panjang 50 mm dan kandungan serat 5% terhadap berat semen. Dilakukan pengujian tekan, tarik belah, dan lentur. Hasil pengujian lentur dapat dilihat pada Gambar 2.6, menunjukkan kenaikan kuat lentur. Penambahan serat kaca dan *nylon* mengurangi *micro cracking* usia dini namun ketahanan menjadi menurun, jadi beton dengan tambahan serat kaca dan *nylon* dapat digunakan untuk mengurangi *micro cracking* usia dini pada dek jembatan.



Gambar 2.6 Hubungan *splitting tensile load* dan *time* (Khan dan Ali, 2016)

2.1.7 Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian terdahulu dan sekarang memiliki beberapa perbedaan yang dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan	
				Terdahulu	Sekarang
1	Daya Tahan Beton Dengan Campuran Zeolite Sintetis Dari limbah Produksi	2016	Pengujian lab	Material <i>zeolite</i> dari limbah produksi alumunium ditambahkan	Material <i>zeolite</i> alami dan serat <i>nylon</i> ditambahkan

Tabel 2.9 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan	
				Terdahulu	Sekarang
	Alumunium Sebagai Bahan Tambahan Semen			dalam campuran beton	dalam campuran beton
2	Solusi Efektif Untuk Susut dan Permeabilitas Rendah Beton Normal Dengan Tambahan <i>Zeolite</i> Yang Dikalsinasi	2018	Penelitian lab	Material <i>zeolite</i> yang dikalsinasi ditambahkan dalam campuran beton	Material <i>zeolite alami</i> dan serat <i>nylon</i> ditambahkan dalam campuran beton <i>self fiber compacting concrete</i> (SFCC)
3	Sifat Mekanik, Daya Tahan, dan Struktur Mikro Beton yang Mengandung <i>Zeolite</i> Alami	2018	Penelitian lab	Material <i>zeolite</i> ditambahkan dalam beton dikaji terhadap sifat mekanik, daya tahan, dan struktur mikro	Material <i>zeolite alami</i> dan serat <i>nylon</i> ditambahkan dalam beton dikaji terhadap <i>fresh properties</i> dan kuat lentur beton
4	Efek <i>Superplasticizer</i> pada ketahanan Kabonasi Beton	2016	Penelitian lab	Pengujian ini digunakan <i>superplasticizer</i> yaitu <i>polycarboxylic acid</i> (PC), <i>naphthalene sulfonate</i> (NS),	Pengujian ini digunakan <i>superplasticizer</i> yaitu <i>sikament LN</i> dengan kadar 1%.
5	Peningkatan Struktur Mikro Beton dengan <i>polikarboksilat superplasticizer</i> (PCE) dan	2016	Penelitian lab	Dilakukan pengujian daya tahan beton yaitu karbonasi, impermeabilitas air, dan	Dilakukan pengujian <i>fresh properties</i> dan kuat lentur beton

Tabel 2.10 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan	
				Terdahulu	Sekarang
	Pengaruh Terhadap Daya Tahan Beton			ketahanan klorida	
6	Daya Tahan Dari Metakaolin <i>Self Compacting Concrete</i>	2015	Penelitian lab	Metakaolin digunakan sebagai campuran dalam beton	<i>Zeolite</i> digunakan sebagai campuran dalam beton
7	Studi Tentang Reologi <i>Self Compacting Concrete</i> Dengan Agregat Beton Daur Ulang	2015	Penelitian lab	Dilakukan pengujian reologi terhadap beton <i>Self Compacting Concrete</i>	Dilakukan pengujian <i>fresh properti</i> terhadap beton <i>Self Compacting Concrete</i>
8	Sifat mekanik dari beton serat baja yang diperkuat ringan yang memadat sendiri	2015	Penelitian lab	Penambahan serat baja pada beton <i>Self Compacting Concrete</i>	Penambahan serat <i>nylon</i> pada beton <i>Self-fiber Compacting Concrete</i>
9	Pengaruh Penambahan Serat <i>Nylon</i> Terhadap Kinerja Beton Agregat Daur Ulang	2019	Penelitian lab	Pengaruh penambahan serat <i>nylon</i> terhadap daya tahan beton	Pengaruh penambahan serat <i>nylon</i> terhadap kuat lentur beton
10	Penggunaan Serat Kaca dan <i>Nylon</i> Dalam Beton Untuk Kontrol Retak Mikro Usia Dini Pada Dek Jembatan	2016	Penelitian lab	Pengaruh penambahan serat kaca dan <i>nylon</i> dibahas terhadap kuat tekan, tarik belah, dan lentur	Pengaruh penambahan serat <i>nylon</i> dibahas terhadap kuat lentur

Berdasarkan perbedaan diatas, maka penelitian tentang *fresh properties* dan kuat lentur *self-fiber compacting concrete (SFCC)* dengan bahan tambah *zeolite* dan serat *nylon* adalah asli dan belum pernah diteliti oleh peneliti terdahulu, sehingga dengan ini dilakukan penelitian mengenai hal tersebut.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis laonnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau bahan tambahan (*admixture*), yang setelah di campur merata (warna seragam) menghasilkan suatu campuran yang plastis (antara cair dan padat) sehingga dapat di tuang kedalam cetakan, untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi keras atau padat (Tjokrodimuljo, 1992).

2.2.2 Komposisi Beton

2.2.2.1. Semen

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. BSN (1989) semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut ini.

- 1) Jenis I, yaitu semen *portland* untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Jenis II, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis III, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- 4) Jenis IV, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Jenis V, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Bahan dasar penyusun (Tabel 2.11) terdiri dari bahan – bahan yang mengandung kapur, silica, oksidasi besi adalah unsur pokok semen.

Tabel 2.11 Susunan unsur – unsur 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 dapat digunakan dalam proses pencampuran beton menurut (ASTM,2013) adalah sebagai berikut ini.

- 1) Air untuk pengadukan (air yang ditimbang atau di ukur di *batching plant*).
- 2) Es.
- 3) Air yang ditimbang oleh operator truk.
- 4) Air bebas pada agregat-agregat.
- 5) Air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.
- 6) Air minum boleh digunakan sebagai air pencampur beton tanpa diuji apakah sesuai persyaratan standar ini.
- 7) Air pencampur yang seluruh atau sebagian terdiri dari sumber-sumber air yang tidak dapat di minum atau air dari produksi beton boleh digunakan dalam setiap proporsi dengan batasan kualitas yang memenuhi persyaratan.
- 8) Sumber-sumber air yang tidak bisa diminum harus memenuhi syarat penggunaan sesuai pengujian dan persyaratan.
- 9) Air kombinasi yang dicampur dari dua atau lebih sumber air, dimana satu dari sumber tersebut adalah air sisa produksi beton, harus memenuhi syarat untuk penggunaan pengujian dan persyaratan.

1.2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil olahan (hasil pemecahan, penyaringan atau terak tanur tinggi) (BSN, 2002). Persyaratan agregat halus secara umum menurut (BSN, 2002) adalah seperti berikut ini.

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- b. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.
- d. Agregat halus tidak mengandung zat organik.
- e. Modulus halus butir 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

1.2.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil hasil disintegrasi alami dari batuan dan mempunyai ukuran butir antara 5 – 40 mm (BSN, 2002). Agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut ini. Butir-butirnya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan $\leq 5\%$ (diuji dengan goresan batang tembaga). Bila diuji dengan bejana Rudeloff atau Los Angeles.

- 1) Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan).
Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18%.
- 2) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 1%.
- 3) Tidak boleh mengandung zat-zat yang raktif terhadap alkali.
- 4) Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
- 5) Modulus halus butir antara 6 – 7,10 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- 6) Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari: $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, $3/4$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

2.2.3 Self Compacting Concrete

Self-compacting concrete (SCC) adalah beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir karena berat sendirinya dan dapat sepenuhnya mengisi bekisting bahkan di hadapan tulangan padat, sembari mempertahankan homogenitas dan tanpa perlu pemadatan tambahan (EFNARC, 2005). Beton memiliki kelemahan terhadap beban tarik, maka untuk mengatasi kelemahan tersebut maka dilakukan penambahan serat, dengan menambahkan serat dapat meningkatkan ikatan pada beton yang umumnya mengalami keretakan akibat penyusutan, dengan penambahan serat beton menjadi lebih kuat dan memiliki nilai kuat lentur yang tinggi .

Menurut Herbudiman dan Siregar (2013) beton *Self-compacting concrete* (SCC) memiliki kelebihan dan kekurangan dibanding beton konvensional, antara lain sebagai berikut ini.

Kelebihan beton *Self-compacting concrete* (SCC).

- a. Tidak memerlukan pemadatan dengan menggunakan *vibrator* dan *compactor*.
- b. Tenaga kerja yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit.
- c. Mengurangi kebisingan yang mengganggu saat pengecoran.
- d. Pengecoran pada bagian elemen struktur beton yang sulit dipadatkan dengan vibrator menjadi lebih mudah.
- e. Waktu pelaksanaan pada proyek menjadi lebih cepat.

Kekurangan beton *Self-compacting concrete* (SCC).

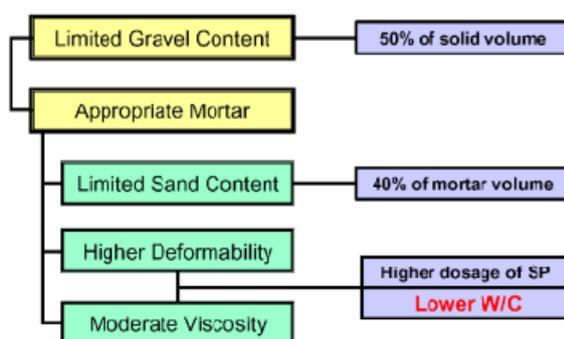
- a. Pembuatan bekisting beton harus sangat diperhatikan karena mudah terjadi kebocoran akibat encernya campuran beton yang dihasilkan.
- b. Biaya dari pembuatan beton SCC lebih mahal dari beton konvensional.
- c. Kelemahan yang paling mendasar dan paling penting untuk diperhatikan adalah beton tidak boleh mengalami segregasi namun tetap harus memenuhi syarat *flowabilitas*.

2.2.3.1. Material Penyusun beton *Self Compacting Concrete*

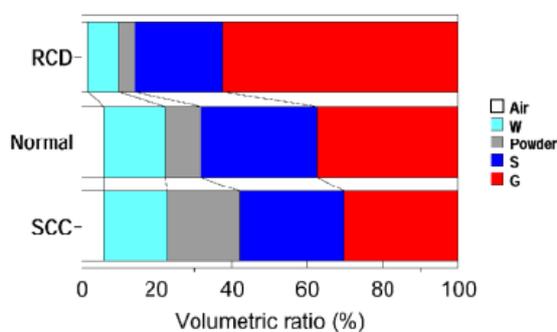
Pada umumnya material penyusun untuk beton konvensional dan beton normal sama. Perbedaannya terdapat pada komposisi penyusunnya, untuk beton SCC jika dilihat secara langsung memiliki sifat yang lebih cair ini dikarenakan beton SCC memiliki nilai *slump* yang lebih besar.

Komposisi agregat beton konvensional dan beton SCC memiliki komposisi agregat kasar yang berbeda. Untuk beton konvensional menempati 70 – 75 % dari total volume beton. Sedangkan untuk beton SCC agregat kasar yang digunakan dibatasi jumlahnya sekitar kurang lebih 50 % dari total volume beton yang diuraikan pada Gambar 2.7 Beton SCC memiliki batasan agregat kasar dikarenakan beton SCC harus bisa mengalir sendiri dan memadatkan tanpa menggunakan alat pemadat (Okamura dan Ouchi 2003)

Bahan material penyusun *self-compacting concrete* adalah air, semen dengan atau tanpa bahan pengganti semen yang bersifat *pozzolan*, agregat halus, agregat kasar, dan *superplasticizer*. Bahan pengganti semen yang sering digunakan pada *self-compacting concrete* antara lain *fly ash*, *silica fume*, dan *blast furnace slag*. Proporsi material yang diperlukan pada *self-compacting concrete* berbeda dengan beton konvensional. Proporsi dari campuran bahan yang digunakan berbeda dengan beton konvensional, pada *self-compacting concrete (SCC)* proporsi yang digunakan dapat dilihat dan dibandingkan dengan beton normal dan *roller compacted concrete for dams (RCD)* pada Gambar 2.8 (Okamura dan Ouchi, 2003).



Gambar 2.7 Bahan campuran beton SCC (Okamura dan Ouchi, 2003)



Gambar 2.8 Perbandingan proporsi campuran RCD, beton normal, dan SCC (Okamura dan Ouchi, 2003)

2.2.3.2. Sifat *Self-Compacting Concrete*

Beton segar pada *self-compacting concrete (SCC)* memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut ini.

a. *Flowability*

Flowability merupakan kemampuan beton dalam mengalir dan mengisi ruang menggunakan beratnya sendiri. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui *flowability* salah satunya adalah *slump-flow* yang merupakan pemeriksaan utama bahwa konsistensi beton segar memenuhi spesifikasi. Syarat nilai hasil pengujian *slump-flow* pada *self-compacting concrete (SCC)* yaitu antara 550 - 850 mm (EFNARC, 2005).

b. *Viscosity*

Viscosity merupakan tingkat kekentalan yang dimiliki *self-compacting concrete (SCC)* yang diuji dengan mencari tahu tingkat kecepatan aliran. *Viscosity* dapat dinilai dengan waktu $T_{50\text{cm}}$ selama pengujian *slum-flow* atau dinilai dengan waktu alir *v-funnel*. Nilai waktu yang diperoleh memang tidak mengukur tingkat *viscosity self-compacting concrete (SCC)* tetapi berkaitan dengan penggambaran laju aliran. Beton dengan *viscosity* rendah akan memiliki aliran awal yang sangat cepat dan kemudian berhenti. Beton dengan *viscosity* tinggi dapat terus merambat kedepan dalam waktu yang lama (EFNARC, 2005).

c. *Passing ability*

Passing ability merupakan kemampuan *self-compacting concrete (SCC)* mengalir melewati halangan seperti tulangan terpasang atau masuk kedalam celah sempit tanpa terjadi segregasi, kehilangan keseragaman atau terjadi pemblokiran. Penentuan *passing ability* perlu mempertimbangkan geometri dan kerapatan tulangan, *flowability/filling ability* dan ukuran maksimum agregat. Pengujian untuk mengetahui *passing ability* salah satunya dengan pengujian *L-box* untuk mengetahui nilai *blocking ratio* pada campuran *self-compacting concrete (SCC)*. Nilai *blocking ratio* yang diperbolehkan antara 0,8 - 1,0 (EFNARC, 2005).

d. *Segregation resistance*

Segregation resistance merupakan kemampuan SCC untuk mempertahankan keadaan komposisi yang homogen sebelum campuran pada

beton tersebut mengeras. Segregation resistance sangat penting untuk mencegah terpisahnya agregat dalam campuran beton yang dapat mengakibatkan kerusakan pada permukaan beton akibat tidak meratanya komposisi campuran beton, terpisahnya agregat juga dapat menyebabkan penurunan kualitas pada beton. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui *segregation resistance* salah satunya adalah pengujian *sieve segregation resistant* dengan tingkat segregasi yang diperbolehkan maksimal 20 % (EFNARC, 2005).

2.2.3.3. Pemeriksaan *Self-Compacting Concrete* (SCC)

Pemeriksaan beton *self-compacting concrete* menurut *European Federation of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products* (EFNARC) ada beberapa metode yang digunakan untuk pengujian dari sifat-sifat yang harus dicapai sebagai kriteria beton SCC, sebagai berikut ini.

1. *Slump flow* dan T50

Pengujian *slump-flow* dan $T_{50\text{cm}}$ merupakan pengujian untuk mengetahui *flowability* dan laju aliran pada SCC tanpa ada penghalang, pengujian menggunakan *abrams cone* dan meja sebar T50 cm. Proses pengujian dilakukan dengan cara mengisi beton segar kedalam kerucut abrams kemudian setelah penuh kerucut diangkat. Menurut *European Federation of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products* (EFNARC) memiliki kriteria *slump flow* 650 - 800 mm dan dengan durasi waktu 2 - 5 detik.

2. *L-box*

Tes L-box digunakan untuk mengukur kemampuan *passing ability* beton SCC untuk mengalir melalui lubang rapat termasuk ruang antara tulangan penguat dan penghalan lainnya tanpa segregasi. Pada pemeriksaan ini kriteria menurut EFNARC yang dipakai adalah dengan perbandingan h_2/h_1 antara 0,8 – 1.

3. *V-funnel*

Uji *V-funnel* digunakan untuk menilai viskositas dan *filling ability* beton SCC. Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah corong yang berbentuk V

yang dibagian bawah ada pintu yang bisa dibuka dan ditutup. Menurut EFNARC kriteria campuran beton yang keluar dari corong memiliki durasi waktu 6 - 12 detik.

2.2.4 Zeolite

Zeolite adalah mineral dengan struktur kristal aluminasilikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air (Setiadi dan Pertiwi, 2007). *Zeolite* terbentuk dari penguapan abu vulkanik berjuta-juta tahun silam, berbentuk batuan yang berwarna putih kekuningan.

Tabel 2.12 Susunan unsur-unsur *zeolite* (Setiadi dan Pertiwi, 2007)

Komposisi kimia	Persentase (%)
Aluminium oksida (Al ₂ O ₃)	10,28
Ferri oksida (Fe ₂ O ₃)	4,83
Kalsium oksida (CaO)	27,69
Magnesium oksida (MgO)	1,59
Silikon dioksida (SiO ₂)	53,23

2.2.5 Superplasticizers

Superplasticizer dibutuhkan dalam pembuatan *self-compacting concrete* untuk mempercepat pengerasan beton dan mengurangi kebutuhan air. Penelitian ini menggunakan *sikament LN* zat pereduksi air untuk mempercepat pengerasan beton dan meningkatkan *workability* sesuai dengan (ASTM, 2015).

2.2.6 Kuat Lentur

Kuat lentur adalah kemampuan beton untuk menahan beban atau gaya dengan arah tegak lurus terhadap beton yang dinyatakan dalam *Mega Pascal (MPa)* per satuan luas (BSN, 2011). Beberapa metode dapat digunakan untuk mengetahui nilai kuat lentur beton, yaitu melakukan pengujian kuat lentur menggunakan benda uji atau mengkonversikan nilai kuat tekan menggunakan persamaan teoritis sebagai berikut ini.

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

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

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

dengan:

- 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).