BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

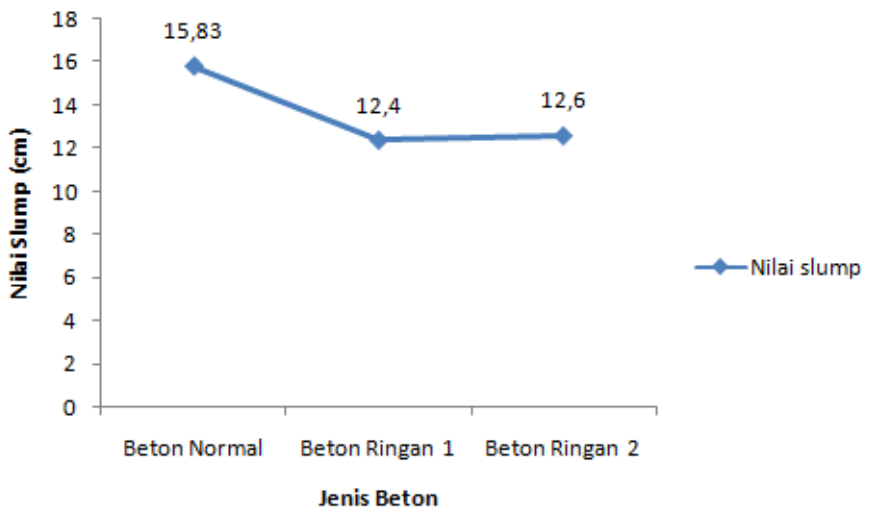
2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang beton ringan sebagai salah satu bahan bangunan dari tahun ke tahun terus berkembang. Berbagai macam cara dilakukan untuk memperoleh kuat tekan beton yang diinginkan dan dapat berguna bagi konstruksi teknik sipil. Hal tersebut tidak lepas dari penelitian-penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebelumnya untuk dijadikan perbandingan dan kajian.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Ardan (2016)melakukan penelitian tentang penggunaan batu apung dan *styrofoam* sebagai bahan pengganti agregat kasar pada perencanaan beton ringan. Penelitian ini menggunakan spesifikasi bahan yang sudah direncanakan yaitu semen portland tipe 1, pasir (alami), batu kerikil (pecah), air berasal dari sumur bor, batu apung, *styrofoam*. Berikut hasil dari pengujian jurnal penelitian ini :

a. Hasil nilai slump dapat dilihat di Gambar 2.1. Terjadi penurunan nilai *slump* antara beton normal dengan beton ringan.



Gambar 2.1. Nilai *Slump* (Ardan, 2016)

b. Dari Tabel 2.1. berat jenis beton ringan mengalami penurunan sebesar 28,1% dan 50,14% dengan penambahan *styrofoam* sebesar 5% terhadap berat jenis beton normal. Demikiana juga nilai kuat tekan beton ringan juga mengalami penurunan dengan variasi nilai kuat tekan beton ringan yang dihasilkan yaitu 49,47% terhadap nilai kuat tekan beton normal. Sedangkan untuk beton ringan dengan penambahan *styrofoam* 5% juga mengalami penurunan sebesar 80,87% terhadap beton ringan. Dengan hasil tersebut maka beton ringan dengan menggunakan batu apung dan *styrofoam* sebagai bahan pengganti agregat kasar tidak memenuhi kuat tekan rencana dan tidak cocok untuk digunakan pada struktur bangunan akan tetapi dapat digunakan untuk dinding yang tidak memikul beban.

Tabel 2.1. Perbandingan kuat tekan

Jenis Beton	Umur (hari)	Rara-Rata Kuat Tekan (kg/m³)	Kuat Tekan Rencana K175	Persentase Kuat Tekan B. Normal (%)
Beton Ringan	28	103,95	175	Turun 40,6
Beton Ringan & 5% Styrofoam	28	39,36	175	Turun 70,9
Beton Normal	28	205,70	175	Naik 14,9

Sumber : Ardan(2016)

Rahamudin dkk. (2016)melakukan penelitian mengenai pengujian kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton ringan beragregat kasar (batu apung) dan abu sekam padi sebagai subtitusi parsial semen. Bahan yang digunakan dalam studi ini adalah :

a. Semen Portland tipe-1
b. Air yang digunakan adalah air dari Laboratorium beton, Fakultas Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

c. Batu apung sebagai pengganti agregat kasar berasal dari Koka Teling.
d. Agregat halus yang dipakaiyaitu pasir dari Amurang.
e. Abu sekam padi
f. ASP yang lolos saringan no.200 sebagai bahan tambah yang akan digunakan untuk subtitusi semen

Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian tersebut yaitu silinder berukuran 100x 200 mm untuk pengujian kuat tekan dan pengujian kuat tarik belah beton. sementara untuk benda uji balok berukuran 100 x 100 x 500 mm digunakan untuk pengujian kuat tarik lentur beton. setelah beton berumur satu hari semua benda uji akan dikeluarkan dari cetakannya lalu direndam dalam air hingga berumur 28 hari. Setelah beton berumur 28 hari, lalu dilakukan pengujian kuat tarik belah dan kuat tekan menggunakan alat "*Compression Testing Machine*" sedangkanpengujian kuat tarik lentur menggunakan alat "*Flexture Testing Machine*".

Tabel 2.2. Kuat tekan dan kuat tarik beton ringan

No.	Kode Benda Uji	Kadar ASP (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)	Kuat Tarik Lentur Rata-rata (MPa)
1	BR0	0	11,73	1,43	2,07
2	BR10	10	13,14	1,53	1,993
3	BR15	15	14,59	1,61	2,083
4	BR20	20	10,32	1,24	1,446

Sumber : Rahamudin dkk.(2016)

Dari Tabel 2.2. dapat diketahui kadar optimum substitusi ASP yang digunakan pada setiap benda uji yaitu dengan kadar ASP 15%, terjadi peningkatan nilai kuat tekan sebesar 24,38%, nilai kuat tarik belah sebesar 14,18%, dan nilai tarik lentur sebesar 0,87% jika dibandingkan dengan kadar ASP 0%. Sedangkan penambahan ASP 20% mengalami penurunan nilai kuat tekan sebesar 41,37%,nilai kuat tarik belah sebesar 22,98%, dan nilai kuat tarik lentur sebesar 44,40% jika

dibandingkan denganpenambahan kadar ASP yaitu sebesar 15%. Berdasarkan hasil tersebut semakin banyakpenambahan substitusi ASP akan mengakibatkan penggunaan semen semakin sedikit, karena ASP materialnya sangat menyerap air, sehingga *workabilitas* campuran menjadi kurang baik. Penyebab lain karena batu apung juga sangat menyerap air, akibatnya menyebabkan kekuatan beton menjadi menurun.

Lomboan dkk. (2016) melakukan penelitin mengenai pengujian kuat tekan mortar dan beton ringan dengan mengguanakan agregat ringan batu apung dan abu sekam padi sebagai subtitusi parsial semen. Material dan bahan yang pakai dalam penelitian tersebut yaitu :

a. Semen Portland tipe-1 merk Tiga Roda.
b. Air berasal dari sumur bor Fakultas Teknik UNSRAT.
c. Batu apung sebagai agregat kasar berasal dari kokadengan ukuran 4,75 – 19 mm.
d. Pasir sebagai agregat halus berasal dari Amurang untuk beton yang lolos saringan no. 4 dan pasir batu apung untuk mortar yang lolos saringan no. 4 dan tertahan saringan no. 50.
e. Abu sekam padi sudah dibakar dari desa Molompar, Kec. Belang. Abu sekam padi yang dipakai yaitu abu sekam padi yang lolos saringan no. 200, lalu dipanaskan kembali pada suhu ±300ºC yang akan digunakan sebagai material substitusi semen.
f. ASP sebagai subtitusi parsial semen pada beton

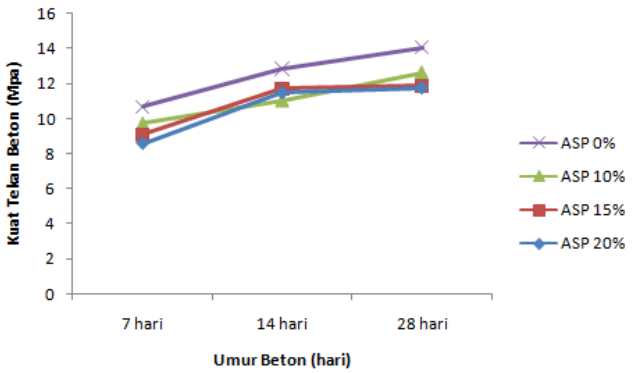
Benda uji untuk beton ringanberbentuk silinder 100 x 200 mm, sedangkan untuk mortar menggunakan kubus 50x50x 50 mm. Setelah benda uji berumur satu hari, semua benda uji dikeluarkan dari cetakannya dan direndam dalam air hingga benda uji berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan menggunkan alat "*Compression Testing Machine*".Berikut hasil dari pengujian jurnal penelitian ini :

a. Dari hasil pengujian kuat tekan beton ringan untuk masing-masing benda uji menggunakan ASP dan yang tidak menggunakan ASP dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Hasil pemeriksaan kuat tekan beton

Komposisi Campuran Beton Ringan			Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)		
Ag. Kasar	Ag. Halus	ASP	7 hari	14 hari	28 hari
Kerikil Batu Apung	Pasir Amurang	0%	10,705	12,845	14,05
		10%	9,722	11,037	12,632
		15%	9,127	11,72	11,88
		20%	8,587	11,497	11,767

Sumber : Lomboan dkk.(2016)



Gambar 2.2. Hubungan antaraumur beton dengan kuat tekan beton(Lomboan dkk., 2016)

Dari Tabel 2.3. dan Gambar 2.2 dapat disimpulkan bahwa :

1) Pada umur beton 7 hari didapatkan nilai kuat tekan beton paling maksimum terjadi penggunaan ASP 0% yaitu sebesar 10,705 MPa. Sedangkan untuk nilai kuat tekan paling minimum terjadi pada penggunaan ASP 20% yaitu sebesar 8,587 MPa.
2) Pada umur beton 14 hari mengalami peningkatan nilai kuat tekan pada kadar ASP 0% sebesar 12,845 MPa jika dibandingkan denganumur 7 hari. Sedangkan nilai kuat tekan minimum untuk penambahan kadar ASP 10% yaitu sebesar 11,037 MPa.

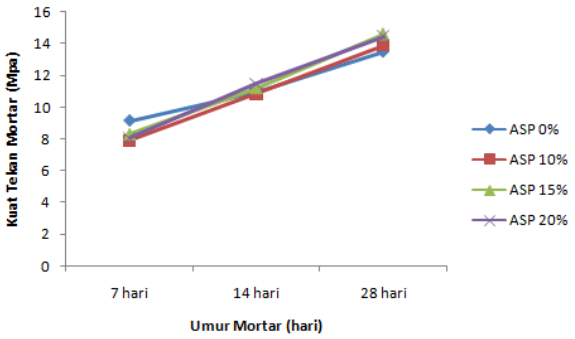
3) Sedangkan betonumur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan maksimum untuk kadar ASP 0% sebesar 14,05 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan minimum pada penembahan kadar ASP 20% sebesar 11,767 MPa.
4) Kuat tekan beton menurun disebebkan karena penambahan air di setiap variasi campuran.

b. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan mortar untuk masing-masing benda uji yang menggunakan ASP dan tidak menggunakan ASP.

Tabel 2.4. Kuat tekan mortar

Komposisi Campuran Motar			Kuat Tekan Mortar Rata-Rata (MPa)		
	Ag. Halus	ASP	7 hari	14 hari	28 hari
Semen + Air	Pasir Batu Apung	0%	9,14	11,00	13,50
		10%	7,91	10,83	13,91
		15%	8,29	11,21	14,61
		20%	8,06	11,45	14,43

Sumber : Lomboan dkk.(2016)



Gambar 2.3. Hubungan antara umur mortar dengan kuat tekan mortar(Lomboan dkk., 2016)

Dari Tabel 2.4. dan Gambar 2.3. daapt disimpulkan bahwa :

1) Pada umur mortar 7 hari didapatkan kuat tekan mortar maksimum menggunakankadar ASP 0% sebesar 9,14 MPa. Sedangkan kuat tekan minimum terjadi pada penggunaan kadar ASP 10% sebesar 7,91 MPa.

2) Pada mortar mortar 14 hari didapatkan kuat tekan mortar maksimum menggunakan kadar ASP 0% sebesar 11,45 MPa. Sedangkan kuat tekan minimum pada penggunaan kadar ASP 10% sebesar 10,83 MPa.
3) Sedangkan beton umur 28 hari nilai kuat tekan mortar maksimum menggunakan kadar ASP 15% sebesar 14,61 MPa. Nilai kuat tekan minimum pada komposisi campuran mortar dengan ASP 0% sebesar 13,5 MPa.

Alfansuri dan Wardhono (2017)melakukan penelitian mengenai pemanfaatan batu apung dalam pembuatan beton ringan dengan penambahan Lumpur Sidoarjo (LUSI) sebagai subtitusi agregat halus terhadap kuat tekan dan porositas. Sasaran dari penelitian tersebut adalah beberapa variasi bahan tambah Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai substitusi agregat halus dan batu apung sebagai agregat kasar serta perencanaan *mix design*f_c' 16,6 MPa, diharapkan terjadi peningkatan kualitas beton ringan dari segi mutu dan porositas beton ringan. Tujuan dari penelitian tersebut adalah agar beton ringan tersebut dapat diaplikasikan ke dalam jenis konstruksi beton ringan strukturaldimana kuat tekan minimum sesuai ASTM C 567 yaitu sebesar 17,24 MPa dan dapat mengatasi permasalahan dalam suatu wilayah/kawasan seperti NTT dan NTB yang memiliki sumber daya material terbatas untuk diaplikasikan pada pekerjaan struktur pondasi, balok, kolom, pelat pada pembangunan rumah tinggal sederhana serta pembuatan bahan bangunan seperti batako, paving *block*, dinding panel dan bata ringan. Berikut hasil dari pengujian jurnal penelitian ini :

a. Dari pengujian berat jenis beton ringan yag dapat dilihat pada Tabel 2.5. menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan kadar LUSI terhadap campuran beton, maka beton akan semakin ringan.
b. Penambahan variasi lumpur sidoarjo sebesar 5%-10% mempunyai pengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton ringan, selanjutnya pada penambahan LUSI sebesar 20%, 30%, dan 40% cenderung mengalami penurunan kuat tekan beton ringan. Hasil kuat tekan beton ringan dapat dilihat pada Tabel 2.6.

c. Penambahan variasi lusi sebesar 5%-10% mempunyai pengaruh terhadap penurunan porositas beton ringan, selanjutnya pada penambahan LUSI sebesar 20%, 30%, dan 40% cenderung mengalami peningkatan porositas beton ringan. Hasil dari pengjian porositas beton ringan dapat dilihat pada Tabel 2.7.

d. Kondisi optimum penmbahan lusi terhadap kuat tekan tertinggi dan porositas terendah terjadi pada variasi komposisi beton ringan LUSI 5% (BRL5) diperoleh kuat tekan sebesar 17,85 MPa dan porositas 3,87%. Hasil dari hubungan antara kuat tekan dan porositas dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Tabel 2.5. Hasil pengujian berat jenis beton ringan

No.	Nama Variasi	Variasi Lusi (%)	Nama Kode benda uji	Berat Silinder (kg)	Berat Konversi (kg/m³)	Rata - Rata Berat (Kg/m3)
1			BRN 1	2,81	1789.81	
2			BRN 2	2,79	1777.07	
3	BRN	0%	BRN 3	2,97	1891.07	1845.86
4			BRN 4	2,99	1904.46	
5			BRN 5	2,93	1866.24	
6			BRL 5.1	2,85	1815.29	
7			BRL 5.2	2,86	1821.66	
8	BRL5	5%	BRL 5.3	2,88	1834.39	1817.83
9			BRL 5.4	2,85	1815.29	
10			BRL 5.5	2,83	1802.55	

Berlanjut

Tabel 2.5. Hasil pengujian berat jenis beton ringan (lanjutan)

No.	Nama Variasi	Lusi (%)	Kode benda uji	Silinder (kg)	Berat Konversi (kg/m³)	Rata - Rata Berat (Kg/m3)
11			BRL 10.1	2,82	1796.18	
12			BRL 10.2	2,88	1834.39	
13	BRL10	10%	BRL 10.3	2,98	1898.09	1831.85
14			BRL 10.4	2,87	1828.03	
15			BRL 10.5	2,83	1802.55	
16			BRL 20.1	2,78	1770.70	
17			BRL 20.2	2,84	1808.92	
18	BRL20	20%	BRL 20.3	2,75	1751.59	1782.17
19			BRL 20.4	2,78	1770.70	
20			BRL 20.5	2,84	1808.92	
21			BRL 30.1	2,96	1885.35	
22			BRL 30.2	2,93	1866.24	
23	BRL30	30%	BRL 30.3	2,88	1834.39	1857.32
24			BRL 30.4	2,97	1891.72	
25			BRL 30.5	2,84	1808.92	
26			BRL 40.1	2,79	1777.07	
27			BRL 40.2	2,79	1777.07	
28	BRL40	40%	BRL 40.3	2,84	1808.92	1792.36
29			BRL 40.4	2,87	1828.03	
30			BRL 40.5	2,78	1770.70	

Sumber : Alfansuri dan Wardhono(2017)

Tabel 2.6. Hasil pengujian kuat tekan beton ringan

No.	Nama Variasi	Variasi Lusi (%)	Nama Kode Benda Uji	Kuat Tekan U – 28 Hari (MPa)	Rata - Rata Kuat Tekan (Kg/m3)
1			BRN 1	11.65	
2			BRN 2	14.69	
3	BRN	0%	BRN 3	13.68	14.12
4			BRN 4	14.93	
5			BRN 5	15.64	
6			BRL 5.1	18.05	
7			BRL 5.2	16.00	
8	BRL5	5%	BRL 5.3	15.89	17.85
9			BRL 5.4	20.60	
10			BRL 5.5	18.71	
11			BRL 10.1	16.33	
12			BRL 10.2	16.93	
13	BRL10	10%	BRL 10.3	13.14	15.70
14			BRL 10.4	16.44	
15			BRL 10.5	15.65	
16			BRL 20.1	12.33	
17			BRL 20.2	9.65	
18	BRL20	20%	BRL 20.3	20.12	13.41
19			BRL 20.4	13.58	
20			BRL 20.5	11.36	
21			BRL 30.1	13.13	
22			BRL 30.2	14.48	
23	BRL30	30%	BRL 30.3	8.46	11.69
24			BRL 30.4	11.25	
25			BRL 30.5	11.14	

Berlajut

Tabel 2.6. Hasil pengujian kuat tekan beton ringan (lanjutan)

No.	Nama Variasi	Variasi Lusi (%)	Nama Kode Benda Uji	Kuat Tekan U – 28 Hari (MPa)	Rata - Rata Kuat Tekan (Kg/m3)
26			BRL 40.1	6.58	
27			BRL 40.2	7.52	
28	BRL40	40%	BRL 40.3	7.58	7.83
29			BRL 40.4	10.19	
30			BRL 40.5	7.28	

Sumber : Alfansuri dan Wardhono (2017)

Tabel 2.7. Hasil pengujian porositas beton ringan

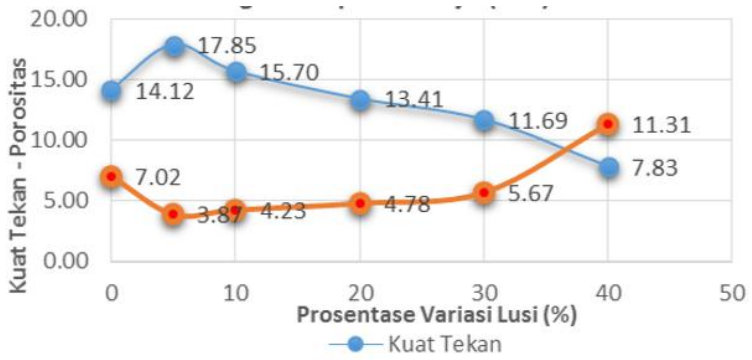
No.	Nama Variasi	Variasi Lusi (%)	Nama Kode Benda Uji	Porositas (C-A)/(C-D)x100% (%)	Rata - Rata Porositas (Kg/m3)
1			BRN 1	6.25	
2			BRN 2	7.69	
3	BRN	0%	BRN 3	6.51	7.02
4			BRN 4	7.93	
5			BRN 5	7.10	
6			BRL 5.1	4.85	
7			BRL 5.2	4.22	
8	BRL5	5%	BRL 5.3	3.57	3.87
9			BRL 5.4	3.03	
10			BRL 5.5	3.68	
11			BRL 10.1	3.70	
12			BRL 10.2	3.57	
13	BRL10	10%	BRL 10.3	3.57	4.23
14			BRL 10.4	4.79	
15			BRL 10.5	5.52	

Berlanjut

Tabel 2.7. Hasil pengujian porositas beton ringan (lanjutan)

No.	Nama Variasi	Variasi Lusi (%)	Nama Kode Benda Uji	Porositas (C-A)/(C-D)x100% (%)	Rata - Rata Porositas (Kg/m3)
16			BRL 20.1	5.36	
17			BRL 20.2	4.02	
18	BRL20	20%	BRL 20.3	4.85	4.78
19			BRL 20.4	4.49	
20			BRL 20.5	5.17	
21			BRL 30.1	5.59	
22			BRL 30.2	5.06	
23	BRL30	30%	BRL 30.3	6.33	5.67
24			BRL 30.4	4.43	
25			BRL 30.5	6.92	
26			BRL 40.1	12.58	
27			BRL 40.2	10.06	
28	BRL40	40%	BRL 40.3	9.74	11.31
29			BRL 40.4	11.11	
30			BRL 40.5	13.07	

Sumber : Alfansuri dan Wardhono (2017)

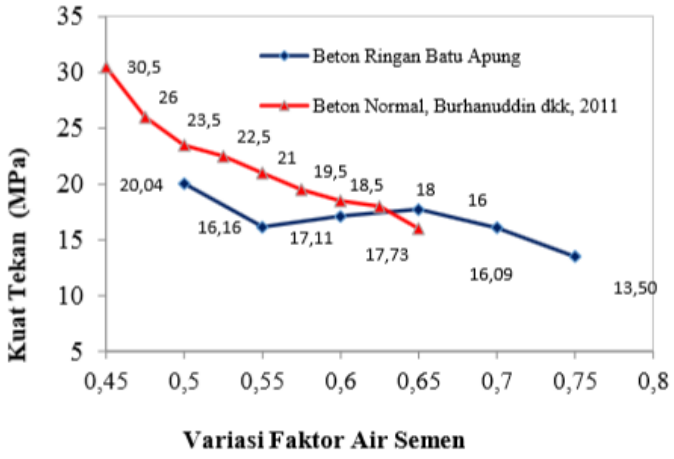


Gambar 2.4. Hubungan kuat tekan dan porositas beton ringan lumpur Sidoarjo(Alfansuri dan Wardhono, 2017)

Darwis dkk. (2016)melakukan penelitian tentang pengaruh variasi faktor air semen terhadap kuat tekan beton beragregat batu apung. Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. Pengujian ini menggunakan agregat kasar berupa batu apung dengan kuat tekan beton pada umur rencana 28 hari dengan variasi faktor air semen (FAS) 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, dan 0.75. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton ringan yang sudah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

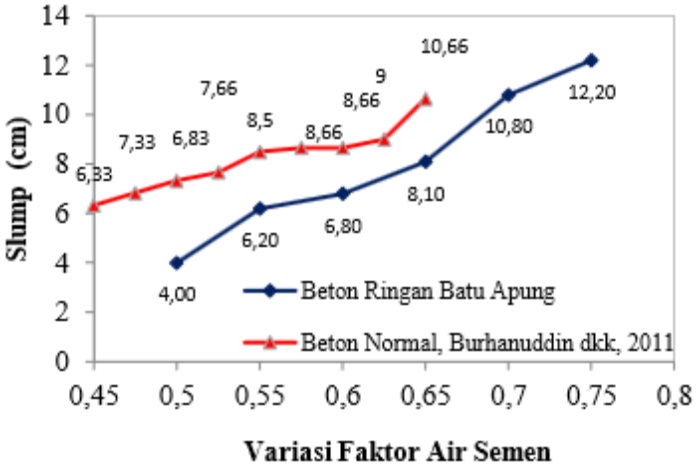
a. Pada variasi FAS 0,5 diperoleh kuat tekan beton ringan sebesar 20,04 MPa.
b. Untuk variasi FAS 0,55 diperoleh kuat tekan beton ringansebesar 16,16 MPa, hasil tersebut mengalami penurunan dari hasil variasi FAS sebelumnya.
c. Lalu untuk variasi FAS 0,6 dan 0,65 diperoleh kuat tekan beton ringan masing-masing sebesar 17,11 MPa dan 17,73 MPa, hasil tersebut mengalami peningkatan kuat tekan beton ringan.
d. Kemudian untuk FAS 0,7 dan 0,75 diperoleh kuat tekan beton ringan masing-masing sebesar 16,09 MPa dan 13,50 MPa, hasil tersebut mengalami penurunan.

Dari hasil uji kuat tekan beton ringan diatas, maka dapat digambarkan grafik hubungan variasi batu apung dengan kuat tekan pada Gambar 2.5. berikut:



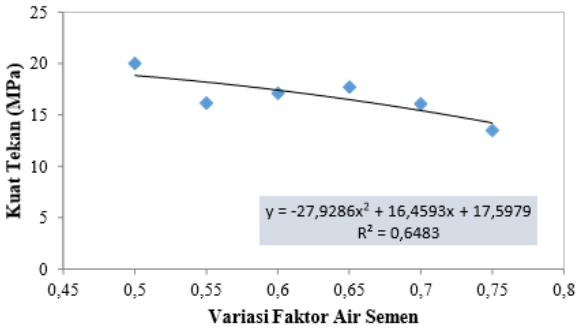
Gambar 2.5. Grafik hubungan variasi FAS dengan kuat tekan(Darwis dkk., 2016)

Pada Gambar 2.6 dapat silihat bahwa akibat variasi FAS selain kuat tekan beton ringan mengalami perubahan, nilai *slump* juga mengalami perubahan juga karena dengan bertambahnya kadar air di masing-masing FAS sehingga konsistensi *workability* pada beton ringan dan semakin besar tingkat kelecekannya.

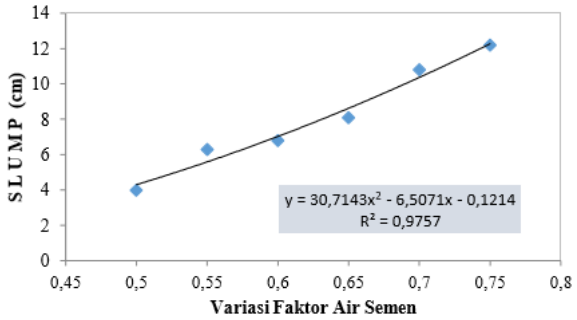


Gambar 2.6. Grafik hubungan variasi FAS dengan *slump*(Darwis dkk., 2016)

Sedangkan dari hasil analisis regresi untuk hubungan varasi FAS terhadap kuat tekan pada Gambar 2.7. memberikan nilai korelasi (r) sebesar 0,8052 sedangkan untuk hubungan faktor air semen terhadap *slump* pada Gambar 2.8.memberikan nilai korelasi (r) sebesar 0,9878. Dan kedua nilai korelasi ini menunjukan bahwa semakin kuat hubungan antara variasi FAS terhadap kuat tekan dan nilai *slump*-nya.



Gambar 2.7. Garfik korelasi variasi FAS dengan kuat tekan(Darwis dkk., 2016)



Gambar 2.8. Grafik korelasi variasi FAS dengan *slump*(Darwis dkk., 2016)

Prasad dkk. (2013) melakukan penelitian tentang studi perbandingan serat *polypropilene reinforced silica fume* beton dengan beton semen *plain*. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui kuat lentur beton dan kemampuan semen dengan tambahan *silica fume* dan serat *polypropylene*. Kadar silica yang digunakan pada penelitia tersebut sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat total semen yang digunakan serta penggunaan serat *polypropylene* yang digunakan sebesar 0%, 0,20%, 0,40% dan 0,60% berdasarkan volume fraksi beton. Bahan yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu semen *portland* (43 tingkat) merek *Japyee*, agregat kasar dengan ukuran 20 mm dan 10 mm, pasir sungai, *silica fume*, air keran, *Conplast SP430G8High-Range Air-Reduce Admixture (HRWRA*) yang digunakan superplasticizer dan serat *polypropylene.* Penelitian tersebut menggunakan cetakan baja berbentuk balok dengan ukuran standar 150 x 150 x 700 mm. Dari Tabel 2.8. menunjukkan semakin banyak penambahan *silica fume* maka nilai slump akan turun atau kecil.

Tabel 2.8.Nilai awal dan akhir *slump*

No.	Nama Variasi	Serat *polypropylene* (%)	Silica Fume (%)	Nilai Awal Slump (mm)	Nilai Akhir Slump (mm)
1	PF_0S_0	0	0	160	120
2	$PF_{0.2}S_0$	0,2	0	85	60
3	$PF_{0.4}S_0$	0,4	0	65	45
4	$PF_{0.6}S_0$	0,6	0	45	30

Berlanjut

Tabel 2.8. Nilai awal dan akhir *slump* (lanjutan)

No.	Nama Variasi	Serat *polypropylene* (%)	Silica Fume (%)	Nilai Awal Slump (mm)	Nilai Akhir Slump (mm)
5	PF_0S_5	0	5	100	75
6	$PF_{0.2}S_5$	0,2	5	55	35
7	$PF_{0.4}S_5$	0,4	5	45	25
8	$PF_{0.6}S_5$	0,6	5	30	20
9	PF_0S_{10}	0	10	65	45
10	$PF_{0.2}S_{10}$	0,2	10	40	30
11	$PF_{0.4}S_{10}$	0,4	10	30	20
12	$PF_{0.6}S_{10}$	0,6	10	20	10
13	PF_0S_{15}	0	15	55	35
14	$PF_{0.2}S_{15}$	0,2	15	35	25
15	$PF_{0.4}S_{15}$	0,4	15	25	10
16	$PF_{0.6}S_{15}$	0,6	15	15	0

Sumber : Prasad dkk.(2013)

Dari hasil pengujian kuat lentur menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene*sebesar 0,4% dari volume fraksi volume menunjukkan kuat lentur pada umur beton 7 dan 28 hari secara berturut-turut sebesar 4,95 MPa dan 7,32 MPa dapat dilihat pada tabel. Dari Tabel 2.9. dan 2.10. menunjukkan penggunaan *silica fume* sebesar 10% dan penambahan serat *polypropylene*sebesar 0,40% menghasilkan desain campuran optimal.

Tabel 2.9. Kuat lentur umur 7 hari

S. *Polypropylene* / *Silica Fume*	0%	0,20%	0,40%	0,60%
0%	3,65	4,15	4,47	4,56
5%	3,85	4,36	4,71	4,74
10%	4,03	4,53	4,89	4,95
15%	3,50	3,91	4,27	4,30

Sumber : Prasad dkk.(2013)

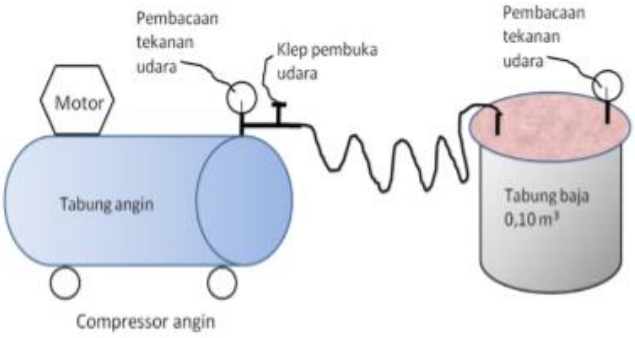
Tabel 2.10. Kuat lentur umur 28 hari

Silica Fume \ S. *Polypropylene*	0%	0,20%	0,40%	0,60%
0%	5,19	6,10	6,49	6,70
5%	5,60	6,40	6,90	7,11
10%	5,81	6,64	7,14	7,32
15%	5,45	6,22	6,70	6,81

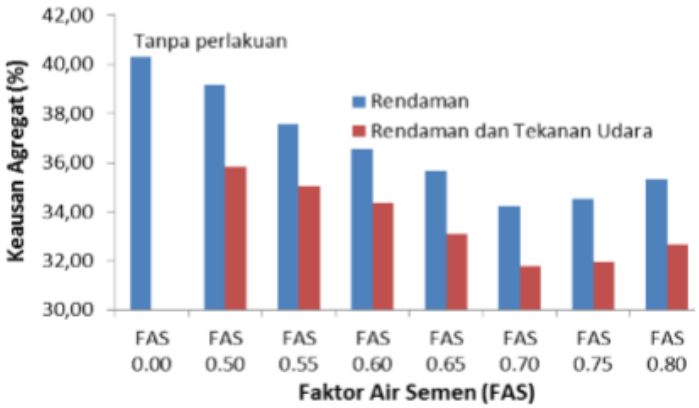
Sumber : Prasad dkk.(2013)

Suparjo dkk.(2014) melakukan penelitian tentang pengembangan metode peningkatan kualitas limbah agregat batu apung sebagai material beton struktural". Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pasta semen pada pori-pori agregat batu apung ditinjau terhadap ketahanan aus batu apung, kuat tekan batu apung dan kuat tekan beton dengan variasi FAS 0,50 ; 0,55 ; 0,60 ; 0,65 ; 0,70 ; 0,75 dan 0,80. Pengujian ini dilakukan pada agregat batu apung yang dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5cm dan silinder dengan ukuran 150 x 300 mm serta menggunakan alat uji tekan mortar dengan memberikan beban bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu pada benda uji kubus batu apung hingga runtuh.

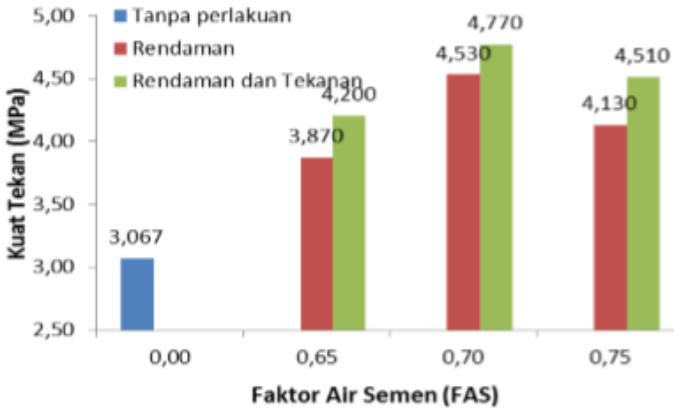
Perendaman batu apung dalam pasta dengan menggunakan metode tekanan udara ini dilakukan di dalam tabung baja yang berukuran 50x 50cm yang kedap udara dan menggunakan tabung angin (*compressor*) untuk memberikan tekanan udara di dalam tabung baja. Kegiatan perendaman batu apung dalam pasta semen serta variasi FAS dilakukan dengan diberikan tekanan udara selama 15 menit. Tujuan pemberian tekanan udara diakukan untuk menekan/mendorong pasta semen masuk ke dalam pori-pori batu apung sehingga pori-pori batu apung terisi dengan pasta semen. Lalu batu apungdiangkat dan dibersihkan dari pasta semen yang berlebihan yang menempel pada batu apung dan dikeringkan. *Set up* pemberian tekanan udara terhadap batu apung yang direndam dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9.*Set Up* pemberian takanan udara pada rendaman batu apung(Suparjo dkk., 2014)



Gambar 2.10. Grafik hubungan antara ketahanan aus agregat pada putaran 500 dan FAS(Suparjo dkk., 2014)



Gambar 2.11. Grafik hubungan antara kuat tekan batu apung dan FAS(Suparjo dkk., 2014)

Pada Gambar 2.10.diatas dapat disimpulkan bahwa kedua metode perendaman batu apung kedalam pasta semen tersebut mampu mengurangi jumlah keauasan agregat batu apung, baik yang menggunakan metode perendaman ataupu dengan metode perendaman menggunakan tekanan udara.Sedangkan untuk Gambar

2.11.dapat disimpulkan bahawa dari pengujian kuat tekan batu apung yang menggunakan kubus dengan ukuran 5 x 5 x5 cm mengalami peningkatan terhadap tanpa perendaman untuk fas 0,65; 0,70 dan 0,75 berturut-turut 26,09%, 47,83%, dan 34,78%. Sedangkan dengan perendaman bertekanan udara juga mengalami peningkatan berturut-turut 37,0%; 55,70%; dan 47,0%. Jika dilihat kuat tekan dengan perendaman dan perendaman dengan bertekanan udara mengalami peningkatan rata-rata 7,60 %. Untuk FAS 0,70 dengan perendaman bertekanan udara memiliki kuat tekan batu apung terringgi sebesar 4,77 MPa.

Pelaksanaan pengujian kuat tekan silinder beton dengan batu apung tanpa perendaman terlihat kuat tekan beton rata-rata sebesar 16,230 MPa. Kuat tekan silinder beton dengan batu apung hasil perendaman, dan perendaman bertekanan udara dengan faktor air semen (FAS) 0,65; 0,70; dan 0,75, diperoleh peningkatan kuat tekan rata-rata tanpa perendaman berturut turut 5,81%; 11,63%; dan 4,65%, sedangkan peningkatan kuat tekan rata-rata dengan perendaman bertekanan udara berturut turut14,10%; 22,8%; dan 12,0%. Dari pengujian kuat tekan silinder beton didapatkan kuat tekan tertinggi 19,929 MPa yang terjadi pada perendaman bertekanan udara pada FAS 0,70.

Malau (2014) melakukan penelitian tentang penelitian kuat tekan dan berat jenis mortar untuk dinding panel dengan membandingkan penggunaan pasir bangka dan pasir baturaja dengan tambahan *foaming agent* dan *silica fume*. Dalam penelitian tersebut metode yang digunakan yaitu studi literatur dan studi eksperimental. Tahap pertama dilakukan studi literatur dengan mempelajari jurnal-jurnal dan bahan-bahan yang akan dibutuhkan untuk penelitian. Kemudian dilakukan studi eksperimental di laboratorium struktur dan bahan jurusan teknik sipil Universitas Sriwijaya. Kemudian dilakukan pengujian material dan pembuatan benda uji meliputi pengujian *flow table*, pengujian penyerapan air dan pengujian kuat tekan beton. Selanjutnya hasil dari penelitian diolah dan dianalisis.

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut :

a. Dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.11. diperoleh komposisi campuran semen, pasir (lolos saringan 6mm) dan air dengan

perbandingan 1:1:0,45 dan perbandingan mortar, *foam* dan *silica* sebanyak 2 variabel dengan perbandingan volume 1:1:5% dan 1:1:10%.

Tabel 2.11. Komposisi campuran

Jenis Pasir	Semen	Pasir	Air	Mortar : *Foam* : *Silica fume*	Keterangan
	1	1	0,45	1 : 0 : 0 %	
Bangka	1	1	0,45	1 : 1 : 5 %	Saringan 0,6 mm
	1	1	0,45	1 : 1 :10 %	Saringan 0,6 mm
	1	1	0,45	1 : 0 : 0 %	
Baturaja	1	1	0,45	1 : 1 : 5 %	Saringan 0,6 mm
	1	1	0,45	1 : 1 :10 %	Saringan 0,6 mm

Sumber : Malau (2014)

b. Dari pengujian tersebut diperoleh nilai *flow table*dari komposisi campuran mortar, *foam*, dan *silica* sebesar 16cm, 27cm, dan 24cm dengan *fluiditas* 60%, 170%, dan 140%. Dengan demikian semakin tinggi komposisi *silica fume* maka dihasilkan mortar dengan kadar air lebih kecil.

c. Untuk berat jenis mortar diperoleh perbandingan antara mortar, *foam*, dan *silica*yaitu 1:0:0. Berat jenis mortar akan menurun dari mortar normal jika ditambah *foam*. Dengan demikian mortar yang sudah ditambah *foam* harus diikiti pula dengan penambahan *silica fume* agar berat jenis mortar meningkat.

d. Kuat tekan mortar normal didapat hasil 126,25 kg/cm², untuk kuat tekan mortar dengan perbandingan 1:1:5% didapat 78,28 kg/cm² dan umtuk perbandingan 1:1:10% didapat 86 kg/cm². Kuat tekan mortar dengan komposisi *silica fume* yang besar maka akan memiliki kuat tekan yang lebih baik.

Rochani dkk. (2016) melakukan penelitian tentang pemanfaatan batu apung (*pumice*) lombok dan bakteri (*baccillus subtilis*) sebagai *agent* perbaikan kerusakan beton. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mempelajari pengaruh campuaran beton dan campuar *pozzolan* batu apung dengan penambahan *enkapsulasi* bakteri *B. subtillis* terhadap kemampuan kuat lentur, kuat tekan padabeton, menutup retak dan keberlanjuatan dari tinjauan toksisitas lingkungan, ekonomi dan sosial. Dengan penambahan campuran *enkapsulasi* bakteri *B. subtilis* dengan *pozzolan* batu apung kedalam campuran beton, diaharapkan beton dapat memperbaiki secara mandiri pada retak beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pemanfaatan peran bakteri *bacillus subtilis* yang ter-*enkapsulasi* dengan batu apung sebagai bahan bahan tambah dari campuran beton. Pengujian beton dengan bakteri *bacillus subtilis* dilakuakn melalui pengujian secara fisik, kimia, *scanning Electron Microscopy (SEM)* dan mekanik. Analisis keberlanjutan dari penerapan *self-healing* pada retak beton berdasarkan konsep *sustainable* yaitu dari kajian ekologi, tekno ekonomi, lingkungan dan sosial.

Tabel 2.12. Perbandingan komposisi mineral antara batu apung dan semen portland

No	Parameter	Persentase Berat (%)	
		Batu Apung	Semen Portland
1	CaO	3,1%	60 - 65%
2	MgO	2,51%	0,5 - 4%
3	Fe_2O_3	4,4%	0,5 - 6%
4	Al_2O_3	14,7%	3 - 8%
5	SiO_2	56,56%	17 - 25%
6	K_2O	7,21%	0,5-1%

Sumber : Rochani dkk.(2016)

Tabel 2.13. Kadar perbaikan mandiri berdasarkan persentase dan diameter *enkapsulasi*

Persentase Perbaikan Mandiri	Persentase *Enkapsulasi*			Persentase Perbaikan Mandiri	Diameter *Enkapsulasi*		
	3%	5%	7%		2mm	3mm	4mm
Diameter 2 mm	0,7%	1,6%	2,8%	*Enkapsulasi* 3%	0,7%	0,0%	0,9%
Diameter 3 mm	0,0%	3,2%	5,6%	*Enkapsulasi* 5%	1,6%	3,2%	2,8%
Diameter 4 mm	0,9%	2,8%	0,0%	*Enkapsulasi* 7%	2,8%	5,6%	0,0%

Sumber : Rochani dkk.(2016)

Dari Tabel 2.12. menunjukkan bahwa *Pozzolan* batu apung yang mengandung SiO_2 sebesar 56,56% dan Al_2O_3 sebesar 14,77% kurang dapat berperan sebagai *self-healing* beton jika dicampurkan dengan *B. subtilis*. Kadar persentase beton dengan menggunakan *pozzolan* batu apung dalam perbaikan mandiri retak beton mempunyai persentase kecil sebesar 5,6%, hal itu dipengaruhi dari penamahan batu apung yang mempunyai reaksi terhadap partikel, hasil kadar presentase beton dapat dilihat pada Tabel 2.13. Dalam penerapan *self-healing* dalam keberlanjutan secara toksisitas dan lingkungan bahwa perbaikan mandiri dalam kerusakan beton dapat mengurangi produksi semen sehingga dapat mengurangi emisi CO_2 di atmosfer. Sedangkan jika ditinjau dari segi sosial penerapan *self-healing*dapat berpengaruh terhadap kesehatan pernafasan karena adanya pengurangan emisi CO_2 akibat dari pengurangan produksi semen. Lalu jika ditinjau secara ekonomi penerapan *self-healing* dapat menghemat biaya Rp.442.725/m³ disebabkan tidak adanya biaya perawatan beton jika ada kerusakan.

Arifin (2016) melakukan penelitian tentang komposisi campuran beton dengan perbandingan penambahan mineral*admixture* dan *silica fume* pada beton mutu tinggi dengan metode *steam curing*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tekan beton dengan perawatan *steam curing*antara *admixture type F-Superplasticizer* dengan *silica fume* sebagai bahan

tambah campuran beton. Dari penelitain tersebut dapat disimpulkan bahwa analisis campuran beton dengan bahan tambah *admixture type F-Superplasticizer* dengan *silica fume* sebagai berikut :

a. Penambahan *silica fume* sebesar 5% pada umur 7 jam didapatkan nilai kuat tekan beton sebesar 358,31 kg/cm² mengalami penurunan sedangkan pada umur 28 hari mengalami penurunan sebesar 751,32 jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton tanpa tambahan *silica fume* pada suhu *steam curing* 80ºC. Sehingga penambahan *silica fume* tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat tekan beton.
b. Penambahan *admixture type F-SuperplasticizerKao migty* M 150 sebanyak 1% dapat meningkatkan kuat tekan beton pada umur 7 jam sebesar 377 kg/cm² pada suhu *steam curing* 80ºC sedangkan pada umur 28 hari mengalami peningkatan optimal didapatkan nilai kuat tekan beton sebesar 852,60 kg/cm² dengan suhu *steam curing* yang sama.

Prathapdkk. (2017) melakukan penelitian tentang evaluasi sifat mekanik beton menggunakan *silika fume* dan serat baja. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* dan serat baja pada tingkat M35 pada beton terhadap kuat tekan, kuat lentur dan kuattarik beton. Bahan-bahan yang digunakan adalah air, semen *portland* tipe A, *silica fume*, Serat Baja dengan panjang 12 mm dan diameter 0,5 mm, agregat halus (pasir) dengan berat jenis 2,67, agregaat kasar (granit) yang dihancurkan dengan berat jenis 2,63. Penggunaan *silica fume* pada penelitian tersebut yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat total semen. Dari hasil uji kuat tekan beton terjadi peningkatan, variasi kuat tekan dengan kandungan serat tidak menunjukkan tren yang jeals terhadap volume serat. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel2.14.

Tabel 2.14. Hasil uji kuat tekan

Nama Benda Uji	Kuat Tekan Rata-rata umur 7 hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata umur 14 hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata umur 28 hari (MPa)
Normal	24,1	31	40
SF-5% (0,2)	25,7	31,9	42,3
SF-10% (0,4)	26,4	34,2	44,8
SF-15% (0,8)	27,6	34,9	46,2
SF-20% (1,0)	27,1	34,5	45,4
SF-25% (2,0)	26,9	34,3	44,6

Sumber : Prathap dkk.(2017)

Sementara pengujian kuat tarik beton dapat dilihat pada Tabel 2.15. Dari Tabel 2.15. menunjukkan peningkatan pada nilai kuat tarik beton dan memperoleh nilai optimum pada variasi *silica fume* 20% dan serat baja 1,0. Sedangkan pengujian kuat lentur ditunjukkan pada Tabel 2.16. Dari Tabel 2.16. menunjukkan peningkatan optimum pada penambahan *silica fume* 15% dan serat baja 0,8.

Tabel 2.15. Hasil uji kuat tarik

Nama Benda Uji	Kuat Tarik Rata-rata umur 7 hari (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata umur 14 hari (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata umur 28 hari (MPa)
Normal	2,45	2,98	3,85
SF-5% (0,2)	2,97	3,42	4,07
SF-10% (0,4)	3,36	3,92	4,42
SF-15% (0,8)	4,51	4,83	5,50
SF-20% (1,0)	4,48	4,69	5,43
SF-25% (2,0)	4,41	4,67	5,27

Sumber : Prathap dkk.(2017)

Tabel 2.16. Hasil uji kuat lentur

Nama Benda Uji	Kuat Lentur Rata-rata umur 7 hari (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata umur 14 hari (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata umur 28 hari (MPa)
Normal	2,47	3,01	3,68
SF-5% (0,2)	2,86	3,23	4,06
SF-10% (0,4)	3,65	4,40	4,98
SF-15% (0,8)	4,36	5,12	5,77
SF-20% (1,0)	4,21	4,98	5,41
SF-25% (2,0)	4,20	4,81	5,32

Sumber : Prathap dkk.(2017)

2.1.2. Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Sekarang

Dari penelitian terdahulu yang sudah dilakukan terdapat perbedaan dengan penelitian yang dilakukan sekarang tentang beton ringan dengan agregat kasar betu apung dan *silica fume* sebagai bahan tambah. Adapun perbedaannya pada Tabel 2.17. sebagi berikut :

Tabel 2.17. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang

No.	Nama peneliti	Perbedaan substansi materi penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
1	Ardan (2016)	Perbandingan berat jenis dan kuat tekan beton ringanmenggunakan batu apung sebagai pengganti agregat kasar dan *styrofoam* sebagai bahan tambahagregat halus dan sebagai pembandingnya adalah beton normal.	Membandingkan kuat tekan beton ringan antara masing-masing variasi *silica fume* sebagai bahan tambah yaitu sebesar 7%, 14%, dan 21% dan juga umur beton yaitu 7 hari, 28 hari, dan 6 hari.

Berlanjut

Tabel 2.17. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang (lanjutan)

No.	Nama peneliti	Perbedaan substansi materi penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
2	Rahamudin dkk. (2016)	Menganalisis kuat tarik lentur dan kuat tarik belah beton ringan menggunakan batu apung dan variasi abu sekam padi sebagai subtitusi parsial semen sebesar 0%, 10%, 15%, 20%.	Menganalisis kuat tekan beton dengan batu apung sebagai agregat kasar dan variasi *silica fume* sebagai bahan tambah sebesar 7%, 14%, dan 21%.
3	Lomboan dkk. (2016)	Pengujian kuat tekan beton ringan dan mortar mengguanakan batu apung sebagai agregat kasar dengan ukuran 4,75 – 19 mm dan variasi ASP sebagai subtitusi parsial semen sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20%.	Menganalisis kuat tekan beton ringan menggunakan agregat kasar batu apung dengan ukuran 9,5 mm – 19 mm dan variasi *silica fume* sebagai bahan tambah sebesar 7%, 14%, dan 21%.
4	Alfansuri dan Wardhono (2017)	Menganalisis pengaruh dan kadar optimum pemanfaatan Lumpur Sidoarjo (variasi 0%, 5%, 10%, 20%, 30% dan 40%) sebagai substitusi agregat halus dan pemanfaatan batu apung dengan ukuran 5 –10 mm terhadap kuat tekan dan porositas beton ringan.	Menganalisis pengaruh pemanfaatan batu apung dengan ukuran 9,5 mm – 19 mm dan variasi *silica fume* sebagai bahan tambah sebesar 7%, 14%, dan 21% terhadap kuat tekan beton ringan.

Berlanjut

Tabel 2.17. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang (lanjutan)

No.	Nama peneliti	Perbedaan substansi materi penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
5	Darwis dkk. (2016)	Menganalisis pengaruh variasi faktor air semen sebesar 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, dan 0.75 terhadap kuat tekan beton ringan dengan agregat kasar batu apung.	Menganalisis pengaruh kuat tekan beton ringan dengan menggunakan agregat kasar batu apung dan nilai faktor air semen sebesar 0,46.
6	Prasad dkk. (2013)	Mengetahui kuat lentur beton dan kemampuan semen dengan tambahan *silica fume* sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% serta serat *polypropylene*sebesar 0%, 0,20%, 0,40% dan 0,60%.	Menganalisis kuat tekan beton ringan dengan bahan tambah silica fume sebesar 7%, 14% dan 21% dari berat total semen.
7	Suparjo dkk. (2014)	Menganalisis pengaruh penambahan pasta semen pada pori agregat batu apung dengan variasi faktor air semen (FAS) yaitu 0.50, 0.55,0.60, 0.65, 0.70, 0.75, dan 0.80 ditinjau terhadap ketahanan aus agregat, kuat tekan langsung agregat, dan kuat tekan beton dengan benda uji silinder.	Menganalisis pengaruh kuat tekan beton ringan dengan menggunakan agregat batu apung ukuran 9,5 mm – 19 mm dan faktor air semen sebesar 0,46.

Berlanjut

Tabel 2.17. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang (lanjutan)

No.	Nama peneliti	Perbedaan substansi materi penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
8	Malau (2104)	Membandingkan penggunaan pasir bangka dan pasir Baturaja dengan tambahan *foaming agent* dan *silica fume*terhadap kuat tekan dan berat jenis mortar untuk dinding panel.	Membandingkan variasi *silica fume* sebagai bahan tambah sebesar 7%, 14%, dan 21% dan umur beton 7 hari, 28 hari, dan 56 hari terhadap kuat tekan beton ringan.
9	Rochani dkk. (2016)	Menganalisis pengaruh penambahan *enkapsulasi* bakteri *B. subtilis* dalam campuran beton dengan campuran pozzolan batu apung terhadap kemampuan menutup retak beton.	Menganalisis pengaruh kuat tekan beton ringan dengan penambahan variasi *silica fume* terhadap berat total semen.
10	Arifin (2016)	Komposisi campuran beton dengan perbandingan penambahan mineral *admixture* sebesar 0.8 % dan 1 % dan *silica fume* sebesar 5% pada beton mutu tinggi dengan metode *steam curing.*	Menganalisis perbandingan kuat tekan beton terhadap variasi penambahan *silica fume* terhadap berat total semen sebesar 7%, 14%, dan 21% dan umur beton selama 7 hari, 28 hari, dan 56 hari.

Berlanjut

Tabel 2.17. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang (lanjutan)

No.	Nama peneliti	Perbedaan substansi materi penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
11	Prathap dkk. (2017)	Mengetahui pengaruh penambahan *silica fume*sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% serta serat baja pada tingkat M35 pada beton terhadap kuat tekan, kuat lentur dan kuat tarik beton	Menganalisis kuat tekan beton ringan dengan bahan tambah silica fume sebesar 7%, 14% dan 21% dari berat total semen.

2.2 Landasan Teori

Beton adalah campuran antara semen *Portland* atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f_c') pada usia 28 hari.

Beton adalah suatu campuran material yang terdiri dari air, semen, agregat (halus dan kasar), dan tanpa atau dengan bahan tambah (*admixture*). Campuran antara air dan semen akan membentuk pasta semen yang dapat berfungsi sebagai bahan pengisi dan penguat. Ukuran agregat (halus dan kasar) dalam suatu campuran beton harus mempunyai gradasi yang baik sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (*America Society of Testing Materials*). Bahan-bahan dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan dalam pembuatan beton segar. Pemilihan bahan sendiri nantinya akan mempengaruhi beton dari segi kekuatan dari beton itu sendiri (*strength*) dan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*), karena terdapat banyak variasi yang akan memenuhi yaitu dari segi kualitas, harga dan mutu beton itu sendiri. Pada umumnya komposisi material pembentuk beton dan kemampuan beton normal dapat di sajikan pad Tabel 2.18. sebagai berikut :

Tabel 2.18. Unsur beton

Agregat Kasar + Halus	Semen	Udara	Air
60 – 80%	7 – 15%	1 – 8%	14 – 21%

Sumber : Badan Penerbit Universitas Semarang(1999)

2.2.1. Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (*density*) lebih ringan dari pada beton pada umumnya. Beton ringan dapat dibuat dengan berbagai cara, antara lain dengan menggunakan agregat ringan (*fly ash*, batu apung, *expanded polystyrene*, dll), campuran antara semen, silika, *pozzolan*, dll. Keuntungan dari struktur yang menggunakan agregat ringan yaitu struktur tersebut akan mempunyai berat sendiri yang ringan sehingga beban yang akan disalurkan pada struktur bawah (pondasi) akan menjadi ringan, dengan demikian dimensi dari struktur bawah (pondasi) dapat diperkecil.

Beton ringan dapat dibagi lagi dalam tiga golongan berdasarkan tingkat kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan dan berdasarkan jenis agregat ringan yang dipakai (Prawito, 2010). Klasifikasi beton ringan pada Tabel 2.19. sebagai berikut ini :

Tabel 2.19 Klarifikasi kepadatan beton ringan

No.	Kategori Beton Ringan	Berat Isi Unit Beton (kg/m³)	Tipikal Kuat Tekan Beton	Tipikal Aplikasi
1	Non Struktural	300 – 1100	<7 MPa	*Insulating Material*
2	Non Struktural	1100 – 1600	7 – 14 MPa	*Unit Masonry*
3	Struktural	1450 – 1900	17 – 35 MPa	Struktural
4	Normal	2100 – 2550	20 – 40 MPa	Struktural

Sumber : Mindesset dkk.(2003)

Ada beberapa cara untuk memproduksi beton ringan tetapi itu semuanya hanya tergantung pada adanya rongga udara dalam aggregat, atau pembuatan

rongga udara dalam beton (Prawito,2010), yaitu dilakukan dengan 3 cara berikut ini :

a. Beton ringan dengan bahan batuan yang berongga atau agregat ringan buatan yang digunakan juga sebagai pengganti agregat kasar/kerikil. Beton ini memakai agregat ringan yang mempunyai berat jenis yang rendah (berkisar 1400 kg/m³ – 2000 kg/m³)
b. Beton ringan tanpa pasir (*Non Fines Concrete*), dimana beton tidak menggunakan agregat halus (pasir) pada campuran pastanya atau sering disebut beton non pasir, sehingga tidak mempunyai sejumlah besar poripori. Berat isi berkisar antara 880 – 1200 kg/m³ dan mempunyai kekuatan berkisar 7 – 14 MPa.
c. Beton ringan yang diperoleh dengan memasukan udara dalam adukan atau mortar (beton aerasi), sehingga akan terjadi pori-pori udara berukuran 0,1 – 1 mm. Memiliki berat isi 200 – 1440 kg/m³.

Pada umumnya pengurangan kepadatan diikuti oleh kanaikan isolasi suhu serta diikuti pula dengan penurunan kekuatan.

2.2.2. Bahan Penyusun Beton

Beton dapat dihasilkan dari sekumpulan iteraksi mekanis dan kimiawi sejumlah meterial pembentuknya (Nawy, 1998). Untuk mempelajari atau memahami perilaku beton maka dibutuhkan pengetahuan tentang karakteristik dari masing-masing komponen pembentuk beton. Komposisi pembentuk beton ringan ini terdiri dari campuran air dan semen sebagai bahan pengikatnya dengan agregat halus dan kasar serta *silica fume* sebagai bahan tambah dari beton ringan ini.

a. Agregat

Agregat ialah hasil disintegrasi alami batu-batuan atau berupa hasil mesin pemecah batu-batuan dengan memecah batu alam. Pada dasarnya beton biasanya terdapat sekitar 70 – 80% volume agregat terhadap volume keseluruhan beton maka dari itu agregat mempunyai perananan penting dalam komposisi suatu beton (Mindesset dkk., 2003). Agregat ini

harus bergradasi sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, rapat, homogen dan variasi dalam periaku (Nawy, 1998). Dalam hal ini terdapat beberapa jenis agragat yaitu :

1) Agregat Halus (Pasir Alami)

Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsungdari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C 125 –06). Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus,sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yanglebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (BSN, 2002a).

Menurut peraturan BSN (2000), tentang tata cara pencampuranbeton kekerasan pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitupasir halus, pasir agak halus, pasir agak kasar, dan pasir kasar. Terdapat syarat pasir yang harus dipenuhi agar dapat digunakan dalam pencampuran beton sebagai berikut :

i. Pasir yang akan digunakan harus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras agar kaitan antara agregat akan lebih baik dan menghasilkan beton yang keras pula.
ii. Pasir yang digunakan tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 15% dari berat kering pasir. Hal ini dikarenakan lumpur yang ada dapat mengurangi ikatan pasir dan pasta semen, jika lumpur mengandung lumpur yang tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkulitas rendah.
iii. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik.
iv. Butiran pasir harus bersifat kekal dengan arti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca sehingga dapat mengahasilkan beton yang tahan terhadap perubahan cuaca.
v. Gradasi pasir harus memenuhi syarat, seperti Tabel 2.20.dan Gambar 2.12. sampai 2.15.berikut ini :

Tabel 2.20.Batas gradasi agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0.6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber : Tjokrogimuljo(2010)

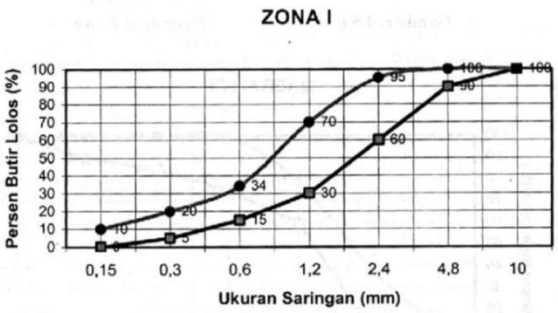
Keterangan :

Daerah pasir I : Pasir kasar

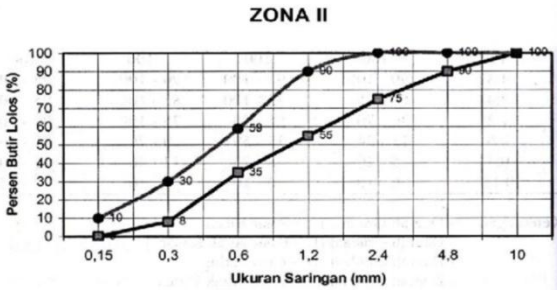
Daerah pasir II : Pasir agak kasar

Daerah pasir III : Pasir halus

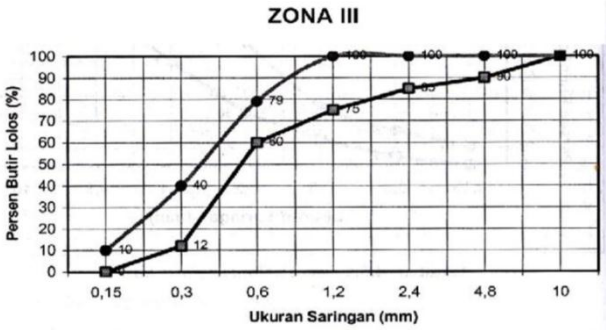
Daerah pasir IV : Pasir agak halus



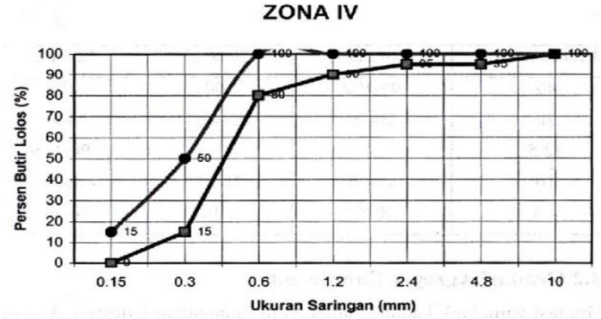
Gambar 2.12. Zona gradasi pasir agak halus (Tjokrodimuljo, 2010)



Gambar 2.13. Zona gradasi pasir agak halus (Tjokrodimuljo, 2010)



Gambar 2.14. Zona gradasi pasir agak halus (Tjokrodimuljo, 2010)



Gambar 2.15. Zona gradasi pasir agak halus (Tjokrodimuljo, 2010)

2) Agregat Kasar (Batu Apung)

Agregat kasar batu apung merupakan batuan sedimen, yaitu batuan vulkanis yang mempunyai berat jenis yang ringan karena sangat berpori. Batu apung terbentuk dari letusan gunung berapi ketika lava cair yang kaya SiO_2 mendingin. Batu apung biasanya memiliki warna kecoklatan atau keputih-putihan. Sejak jaman romawi kuno atu apung sendiri sudah banyak dipakai dengan cara di gali, lalu di cuci, kemudian baru digunakan. Karena bobotnya yang ringan, maka jika digunakan sebagai agregat pembuatan beton akan diperoleh beton yang ringan (Hidayat, 2012). Batu apung mempunyai sifat fisik seperti pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21. Sifat fisik batu apung

No.	Unsur	Kapasitas
1	Bobot isi ruang	480 – 960 kg/cm³
2	Peresapan air	16,67%
3	Berat jenis	0,8 gram/cm³
4	Hantaran suara	Rendah
5	Ratio kuat tekan terhadap beban	Tinggi
6	Koduktivitas terhadap api	Rendah
7	Ketahanan terhadap api	Sampai dengan 6 jam

Sumber : Hidayat (2012)

b. Semen

Semen yang baiasanya digunakan dalam campuran beton ialah semen portland yaitu semen hidrolik yang dihasilkan dengan proses menggiling klinker yang terdiri dari kalsium slikat serta bahan tambahan yang berbentuk kalsium sulfat.

Semen merupakan suatu bahan perekat apabila dicampurkan dengan air akan mengikat bahan-bahan yang padat, misalkan pasir dan batu/kerikil menjadi satu kesatuan. Fungsi dari semen itu sendiri adalah untuk mengikat butir-butiran agregat sehigga berbentuk suatu massa padat dan mengisi rongga udara diantara agregat. Adapun susunan kimia atau bahan utama yang dikandung semen sebagai pengikat semen yaitu kapur (CaO), magnesit (MgO), alumunia (Al_2O_3), silikat (SiO_2), ferro oksida (Fe_2O_3), serta oksida laindalam jumlah kecil (Lea and Desch, 1940). 3,15 g/cm³ adalah massa jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM, akan tetapi pada kenyataannya massa jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,03 – 3,25 g/cm³. Variasiini akan berpengaruh proporsi campuran semen dalam campuran. Peranan semen sangat panting dalam funsinya sebagai bahan pengikat walaupun komposisi semen dalam beton hanya berkisar sekitar 10%. Berikut adalah lima tipe semen yang dapat dibedakan berkaitan dengan masalah keawetan (*durability*), yaitu :

1) Tipe I : semen biasa (normal) digunakan untuk beton yang tidak dipenguhi lingkungan.
2) Tipe II : tipe semen ini diguanakan untuk pencegahan terhadap serangan sulfat dari lingkungan.
3) Tipe III : dapat mengahsilkan beton yang waktu pengerasan cepat (*high early strength*).
4) Tipe IV : beton yang dihasilkan akan memberikan panas hidrasi rendah serta cocok untuk beton massa.
5) Tipe V : beton ini sangat bagus untuk beton untuk menehan serangan sulfat dengan kadar tinggi.

c. Air

Air mempunyai peranan penting dalam proses pembutan beton, hal itu dikarenakan air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Tidak hanya itu, air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton serta menyebabkan lekatan antara lapisan-lapisan beton dan membuat beton menjadi lemah, hal itu dikarenakan jika kelebihan air akan kmenyebabkan beton menjadi *bleeding*.

Pengaruh air pada campuran beton yaitu :

1) Sifat *workabitlity* adukan beton.
2) Kelangsungan reaksi air dengan semen portland sehingga dihasilkan kekuatan beton selang beberapa waktu.
3) Perawatan keras adukan beton untuk menjamin pengerasan yang baik.
4) Berpengaruh terhadap bersar kecilnya nilai susut beton.

Persyaratan penggunaan air sebagai campuran beton sebagai berikut :

1) Tidak terdapat kandungan klorida (Cl) lebih dari 5 gram/liter dalam air.
2) Tidak mengandung garam lebih dari 15 gram/liter yang dapat merusak beton.
3) Tidak terdapat kandungan senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter dalam air.

4) Air harus bersih dari lumpur atau benda melayang lainnya.

d. Bahan Tambah (*Silica Fume*)

Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi (Mulyono, 2004). Bahan tambah mineral berupa *silica fume* merupakan bahan *spherical* yang sangat lembut serta sisa hasil dari pembuatan produksi *silicon* dan *ferro silicon* yang terdiri dari *amorphous silico*.*Silica fume* merupakan hasil pembuatan sampingan dari reduksi quarsa murni (SiO_2) dengan batu bara di tanur listrik pada saat proses pembuatan campuran *silicon* dan *ferro silicon*.Kandungan quarsa murni (SiO_2) sebesar 90% akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses pembentukan senyawa *Kalsium Silikat Hidrat* (*CSH*) yang berpengaruh pada proses pengerasan beton.Penambahan *silica fume* kedalam campuran beton dimaksudkan untuk mengkasilkan suatu beton dengan kuat tekan yang tinggi. Jika dilihat dari sifat kimia, penggunaan *silica fume* berfungsi sebagai bahan pengganti sebanyak 5 – 15% dari jumlah atau total berat semen yang dibutuhkan dalm campuran beton. Berikut adalah sifat fisik *silica fume*, yaitu :

i.	Warna	: bervariasi mulai dari abu-abu sampai abu-abu gelap
ii.	*Spesific garvity*	: 2,0 – 2,5
iii.	*Bulk desnity*	: 250 – 300 kg/m³
iv.	Ukuran	: 0,1 – 1,0 mikron (1/100 ukuran partikel semen)

Menurut Neville (1999), keuntungan dari *additive silica fume* antara lain adalah mengurangi perembesan dan meningkatkan kohesi campuran. Keunggulan dari penggunaan *silica fume* dalam campuran beton sebagai berikut :

i. Untuk meningkatkan kuat tekan, kuat lentur dan keapadatan (*density*) dari beton itu sendiri.
ii. Untuk mengecilkan regangan beton.
iii. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan *abrasi*.
iv. Untuk meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia.
v. Untuk memperbesar modulus elastisitas dari beton itu sendiri.
vi. Untuk mencegah reaksi *alkali silica* dalam beton.
vii. Untuk mencegah retak pada beton karena penggunaan *silica fume* menyebebkan temperatur beton menjadi lebih rendah.

2.2.3. Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas (Mulyono, 2004). Nilai kaut tekan beton dapat diketahui melalui pengujian kuat tekan beton menggunakan alat *compression testing machine* terhadap benda uji silinder pada umur 7, 28, dan 56 hari.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi mutu dari kekuatan beton yaitu :

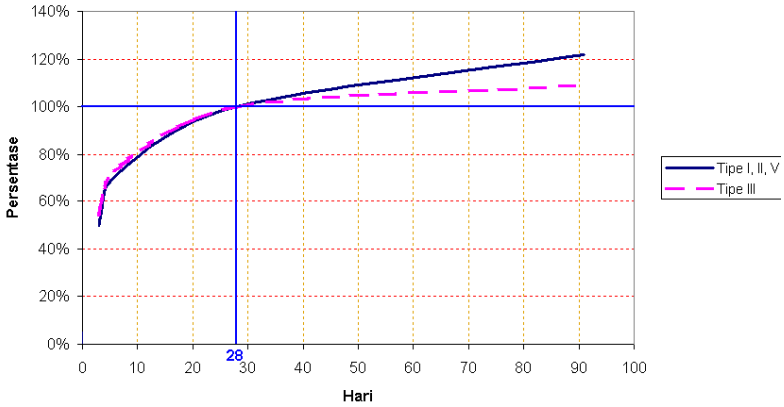
a. Faktor air semen (FAS)

   Faktor air semen (FAS) ialah perbandingan antara jumlah air dengan jumlah semen dalam campura beton segar. Fungsi dari FAS adalah untuk memudahkan dalam pengerjaan beton (*workability*) dan untuk meningkatkan reaksi kimia dari semen dan bahan tambah (jika ada). Semakin tinggi nilai yang dipakai maka akan mengakibatkan penurunan mutu beton. Pada umumnya nilai FAS yang diberikan sebesar 0,4 – 0,65 (Mulyono, 2004).

b. Umur beton

   Nilai kuat tekan beton akan bertabah seiring dengan bertambahnya umur beton. Pada umumnya kuat tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusun lainnya, yang paling utama adalah penggunaan semen karena semen cenderung langsung memperbaiki nilai

kuat tekan beton (Mulyono, 2004). Sedangkan menurut Tjokrodimuljo (2010), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Umur beton dihitung sejak beton dicetak. Dari gambar 2.16. dapat dilihat hubungan antara presentase kenaikan nilai kuat tekan beton dengan umur beton.



Gambar 2.16. Perkiraan perkembangan kekuatan beton (Tjokrodimuljo, 2010)

c. Sifat agregat

Sifat agregat dalam campuran beton sangat mempengaruhi mutu dari kekuatan beton. Sehingga harus diperhatikan sifat agregat yang akan digunakan seperti kadar air agragat, serapan air agragat, gradasi agregat, berat jenis, modulus butir halus, kekekalan agregat, kekasaran dan kekerasan agregat.

d. Proporsi semen dan jenis semen yang digunakan

Proporsi semen yang akan digunakan saat *mix design* dan jenis semen berdasrkan peruntukan beton yang akan dibuat.

e. Bahan tambah

Bahan tambah digunakan saat proses pengadukan dilaksanakan. Bahan tambah lebih sering digunakan sebagai perbaikan kinerja mutu beton. Menurut standar ASTM 2004, jenis bahan tambah kimia dibedakan menjaditujuh tipe, yaitu :

i. *water reducing admixtures*
ii. *retarding admixtures*
iii. *accelerating admixtures*

iv. *water reducing and retarding admixtures*
v. *water reducing and accelerating admixtures*
vi. *water reducing and high range admixtures*
vii. *water reducing, high range and retarding admixtures*

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (BSN, 2011). Kuat tekan beton pada umumnya dipertimbangkan dalam perencanaan campuran beton dan merupakan sifat paling penting dalam beton keras.

Kuat tekan dan modulus elastisitas beton adalah parameter utama pada mutu beton. Tolak ukur dari sifat *elastic* sautu bahan ialah modulus elastisitas dari pebandingan tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang. Modulus ealstisitas pada beton bervarisai. Ada beberapa hal yang mepengaruhi terhadap modulus elastisitas beton antara lain kelembaban, umur beton agregat dan *mix design*.

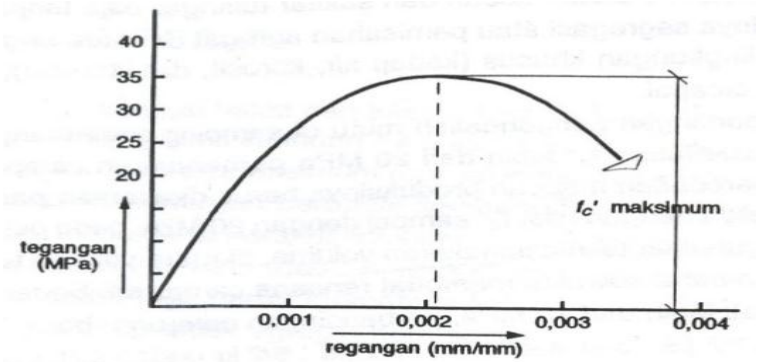
Berdasarkan BSN (2011), kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus, sebagai berikut :

$$f'c_i = \frac{P}{A} \qquad (2.1)$$

dimana :

$f'c_i$= kuat tekan beton dengan bentuk silinder yang ke i (N/mm²)
P = gaya tekan aksial (*Newton*, N)
A = luas penampang melintang benda uji (mm²)

Hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan dalam analisis maupun desain struktur beton. Untuk mengetahui perilaku hubungan tegangan-regangan beton didapat dari hasil pengujian tekan terhadap silinder beton. Hubungan tegangan-regangan beton normal pada pembebanan uniaksial dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Hubungan regangan dan tegangan beton (Dipohusodo, 1996)

Pada daerah $\varepsilon_c > \varepsilon_o$, persamaan hubungan tegangan regangannya merupakan persamaan linier yang bergantung pada nilai ε_o dan f_c'. Dari Gambar 2.17 terlihat bahwa pada kondisi tegangan mencapai ± 40 % fc' pada umumnya berbentuk linier. Pada saat tegangan mencapai ± 70 % fc', material beton banyak kehilangan kekakuannya yang menyebabkan diagram menjadi tidak linier. Dari beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa tegangan maksimum beton dicapai pada regangan tekan 0,002-0,0025. Regangan ultimit pada saat beton hancur 0,003 – 0,008. Untuk perencanaan menggunakan regangan tekan maksimum beton sebesar 0,003.

2.2.4. *Workability*

Workability adalah kemudahan dalam pengerjaan beton saat pencampuran, penuangan, pengangkutan, dan pemadatan. Sautu adukan campuran beton dapat dikatakan *workable* bila dapat memenuhi kriteria berikut :

a. *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis sehingga mempermudah pengerjaan tanpa terjadi perubahan bentuk pada adukan serta tanpa perlu usaha tambahan.
b. *Cohesiveness*, artinya adukan memiliki gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga padasaat proses pengerjaan adukan masih saling melekat.
c. *Fluidity*, artinya adukan campuran beton harus memiliki kemampuan untuk mengalir selama proses penuangan ke cetakan.

d. *Mobility*, artinya adukan beton harus memiliki kemampuan bergerak tempat tanpa terjadi perubahan bentuk.

Kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan pada adukan beton. Untuk mengetahui kelecakan adukan beton maka dilakukan pengujian nilai *slump*. Semakin cair suatu adukan beton maka akan semakin mudah pula pengerjaannya. Terdapat tiga macam tipe *slump* yang biasanya terjadi selama proses pengerjaan yaitu :

a. *Slump* sebenarnya, terjadi jika penurunanya seragam tanpa ada yang runtuh saat kerucut ditarik keatas.
b. *Slump* geser, terjadi jika sebagian dari puncaknya bergeser dan runtuh pada bidang miring saat kerucut ditarik keatas.
c. *Slump* runtuh, terjadi jika adukan beton runtuh semua saat kerucut ditarik keatas.