

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 PENGUJIAN AGREGAT

5.1.1 Agregat Halus (Pasir Sungai Progo)

Pengujian agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat, pengujian analisa saringan, dan pengujian lolos saringan no. 200 (pengujian kandungan lumpur dalam agregat). Hasil pengujian pasir adalah sebagai berikut ini.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat.

Perhitungan analisis berat jenis dan penyerapan air pada agregat menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.4 dan data hasil pengujian agregat halus pada Tabel 5.1.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{473,1}{673 + 500 - 974} = 2,377$$

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{500}{673 + 500 - 974} = 2,513$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{473,1}{673 + 473,1 - 974} = 2,749$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500 - 473,1}{473,1} \times 100 = 5,686 \%$$

Perhitungan tersebut merupakan hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat, Menurut ASTM C.128-79, syarat berat jenis kondisi jenuh kering muka (SSD) antara 2,5-2,7, maka hasil analisis agregat halus dari perhitungan dengan Persamaan 3.2 yaitu 2,513 berarti berada dalam rentang nilai yang memenuhi syarat dan dapat digunakan untuk material SCC. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat

No.	Uraian	Hasil pengujian	satuan
1.	Berat pasir kering mutlak (BK)	473,1	gr
2.	Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gr
3.	Berat piknometer berisi air dan pasir (BT)	974	gr
4.	Berat piknometer berisi air (B)	673	gr
5.	Berat jenis curah	2,377	-
6.	Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,513	-
7.	Berat jenis semu	2,749	-
8.	Penyerapan air	5,686	%

2. Berat isi padat.

Perhitungan hasil analisis berat isi padat pada agregat halus dalam penelitian ini menggunakan Persamaan 3.5 dan Tabel 5.2.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{8300}{5301,438} = 1,566 \text{ gr/cm}^3 = 1566 \text{ kg/m}^3$$

Hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.5 tersebut merupakan hasil isi padat pada agregat halus, hasil perhitungan isi padat agregat halus akan digunakan pada desain campuran beton. Untuk hasil data hasil pengujian berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian berat isi padat agregat halus

No.	Uraian	Hasil pengujian	satuan
1.	Berat tabung (W1)	11200	gr
2.	Berat tabung + agregat pasir kondisi jenuh (W2)	19500	gr
3.	Berat agregat pasir (W3)	8300	gr
4.	Diameter silinder (d)	15	cm
5.	Tinggi silinder (t)	30	cm
6.	Volume tabung (V)	5301,438	cm ³
7.	Berat isi padat	1,566	gr/cm ³

3. Analisa saringan.

Hasil analisa saringan pada agregat halus berupa pasir dari sungai Progo dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

No.	Lubang ayakan	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif	Batas bawah	Batas atas
1.	10	-	-	-	100	100	100
2.	4,8	6,2	1,240	1,240	98,760	90	100
3.	2,4	43,6	8,720	9,960	90,040	75	100
4.	1,2	83,2	16,640	26,600	73,400	55	90
5.	0,6	126	25,200	51,800	48,200	30	59
6.	0,3	110,8	22,160	73,960	26,040	8	30
7.	0,15	115,8	23,160	97,120	2,880	0	10
8.	Pan	14	2,800	100	0,08	0	0
9.	Jumlah	499,6	100	360,600			

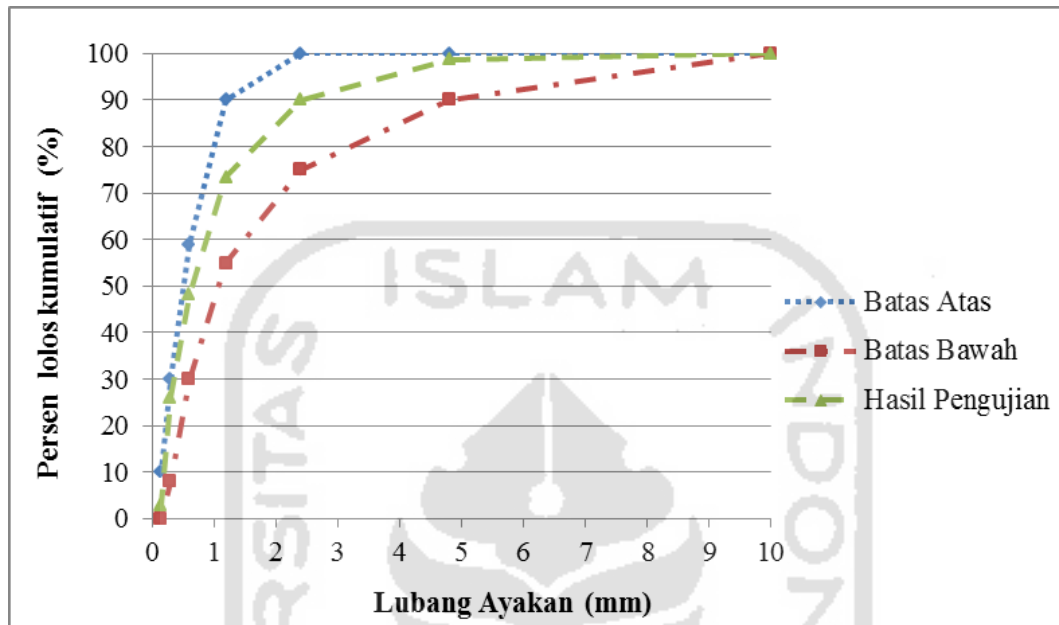
Dari Tabel 5.3 didapatkan perhitungan persentase berat yang hilang dan modulus kehalusan dengan menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7.

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{500 - 499,6}{500} \cdot 100\% = 0,08\%$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{360,600 - 100}{100} = 2,606$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka persentase berat agregat halus yang hilang adalah sebesar $0,08\% < 1\%$, sehingga agregat halus memenuhi persyaratan sebagai campuran dalam penelitian SCC (ASTM C.33-97). Berdasarkan ASTM C.33-97, modulus kehalusan agregat halus $2,3 < MK < 3,1$, sehingga pasir memenuhi persyaratan tersebut. Hasil modulus kehalusan pada penelitian ini termasuk dalam rentang persyaratan yaitu 2,606, maka agregat halus (pasir sungai Progo) memenuhi persyaratan sebagai material SCC.

Untuk hubungan persen lolos kumulatif agregat halus (pasir sungai Progo) dengan diameter lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan agregat halus (pasir sungai Progo)

Berdasarkan Gambar 5.1 tersebut, maka dapat dilihat bahwa agregat halus (pasir sungai Progo) berada didalam persyaratan persentase lolos saringan daerah 2 (ASTM C 33-81). Pada daerah 2 tersebut merupakan pasir agak kasar.

4. Pengujian lolos saringan no. 200 (pengujian kandungan lumpur dalam agregat).

Hasil perhitungan terhadap berat agregat yang lolos saringan no. 200 dalam pengujian kandungan lumpur dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.8.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{500 - 476,3}{500} \cdot 100 \% = 4,76 \%$$

Dari perhitungan kandungan lumpur dengan menggunakan Persamaan 3.8 tersebut, hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengujian kandungan lumpur dalam agregat

No.	Uraian	Hasil pengujian	satuan
1.	Berat agregat kering oven (W1)	500	gr
2.	Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2)	476,3	gr
3.	Berat agregat yang lolos saringan no.200	4,74	%

Kandungan lumpur dalam agregat halus tidak boleh $> 5\%$ (SNI 03-6821-2002). Dari hasil penelitian pada Tabel 5.4 didapatkan $4,76\% < 5\%$, maka agregat halus dapat digunakan sebagai material SCC.

5.1.2 Agregat Kasar (Kerikil Clereng)

Pengujian terhadap agregat kasar yang dipakai dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat, pengujian analisa saringan, dan pengujian abrasi/keausan agregat dengan mesin *los angeles*. Hasil pengujian kerikil berikut ini.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat.

Hasil perhitungan terhadap pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat dengan menggunakan Persamaan 3.9 sampai 3.12 dan Tabel 5.5.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{4995,5}{5000 - 3047} = 2,507$$

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{5000}{5000 - 3047} = 2,560$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{4995,5}{4995,5 - 3047} = 2,648$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{5000 - 4995,5}{4995,5} \cdot 100 = 2,135 \%$$

Perhitungan tersebut merupakan hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat, untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat

No	Uraian	Hasil pengujian	satuan
1.	Berat kerikil kering mutlak (BK)	4895,5	gr
2.	Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), (BJ)	5000	gr
3.	Berat kerikil dalam air (BA)	3047	gr
4.	Berat jenis curah	2,507	-
5.	Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,560	-
6.	Berat jenis semu	2,648	-
7.	Penyerapan air	2,135	%

Menurut ASTM C.128-79, syarat berat jenis kondisi jenuh kering muka (SSD) antara 2,5-2,7, maka hasil pengujian agregat kasar pada Tabel 5.5 yaitu 2,560 memenuhi rentang persyaratan tersebut dan bisa digunakan sebagai material SCC.

2. Pengujian berat isi padat.

Hasil analisa berat isi padat pada agregat kasar sama dengan perhitungan berat isi padat agregat halus, pengujian berat isi padat agregat kasar menggunakan Persamaan 3.5 dan hasil data pada Tabel 5.6.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{7050}{5301,438} = 1,330 \text{ gr/cm}^3 = 1330 \text{ kg/m}^3$$

Hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.5 tersebut merupakan hasil berat isi padat pada agregat kasar, hasil perhitungan berat isi padat agregat kasar akan digunakan pada desain campuran beton. Untuk hasil data pada pengujian berat isi padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil pengujian berat isi padat agregat kasar

No.	Uraian	Hasil pengujian	satuan
1.	Berat tabung (W1)	9800	gr
2.	Berat tabung + agregat kerikil kondisi jenuh (W2)	16850	gr
3.	Berat agregat kerikil (W3)	7050	gr
4.	Diameter silinder (d)	15	cm
5.	Tinggi silinder (t)	30	cm
6.	Volume tabung (V)	5301,438	cm ³
7.	Berat isi padat	1,330	gr/cm ³

3. Analisa saringan.

Analisa saringan merupakan hasil pengujian dalam pemisahan gradasi agregat berdasarkan lubang ayakan. Untuk hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Analisa saringan agregat kasar (kerikil Clereng)

No.	Lubang ayakan	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif	Batas bawah	Batas atas
1.	19	-	-	-	100,000	100	100
2.	9,5	2389,00	47,780	47,780	52,220	50	85
3.	4,75	2511,50	50,230	98,010	1,990	0	10
4.	2,36	68,30	1,366	99,376	0,624	0	0
5.	1,18	7,80	0,156	99,532	0,468	0	0
6.	Pan	23,40	0,468	100,000	0,000		
7.	Jumlah	5000	100	468,698			

Dari Tabel 5.7 didapatkan perhitungan persentase berat hilang dan modulus kehalusan dengan menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7.

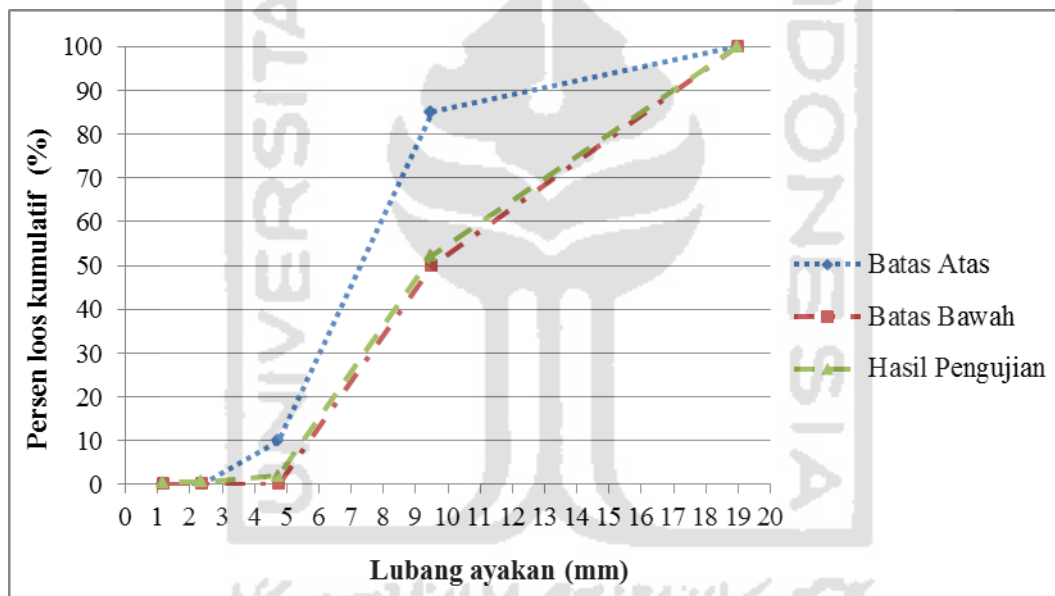
Berat awal kerikil (a) = 5000 gr

Berat setelah diayak = 5000 gr

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{5000 - 5000}{500} \cdot 100\% = 0,0 \%$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{468,698 - 100}{100} = 3,687$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka persentase berat agregat kasar yang hilang adalah sebesar $0,0\% < 1\%$ sehingga agregat kasar (kerikil Clereng) memenuhi persyaratan sebagai campuran material SCC (ASTM C.33-97). Berdasarkan SNI 03-2461-2002, modulus kehalusan adalah $MK < 7$, sehingga kerikil memenuhi persyaratan tersebut, hasil modulus kehalusan pada penelitian ini termasuk dalam persyaratan yaitu $3,687 < 7$, maka agregat kasar (kerikil Clereng) memenuhi persyaratan sebagai material SCC. Hubungan persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dengan diameter lubang ayakan agregat kasar (kerikil Clereng)

Berdasarkan Gambar 5.2 tersebut, maka dapat dilihat bahwa agregat kasar (kerikil Clereng) berada di dalam persyaratan persentase lolos saringan ukuran kerikil maksimal 10 mm (SNI 03-2834-2000). Jika dilihat dari perencanaan penelitian, maka ukuran butir 10 mm yang direncanakan sesuai dengan rencana.

4. Pengujian abrasi/keausan agregat dengan mesin *Los Angeles*.

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no. 12 (1,18 mm) terhadap berat semula dalam persen. Hasil analisa dan perhitungannya menggunakan Persamaan 3.5.

Berat agregat kasar kering oven mula-mula (a) = 5000 gr

Berat agregat yang tertahan saringan no. 12 (b) = 3320,65 gr

$$\text{Nilai keausan} = \frac{5000 - 3320,65}{5000} \cdot 100\% = 33,587\%$$

Menurut SNI 03-2417-1991, jika nilai keausan yang diperoleh > 40%, maka agregat kasar yang diuji tidak baik digunakan untuk material SCC, dan sebaliknya jika nilai keausan yang diperoleh < 40%, maka agregat kasar yang diuji baik digunakan sebagai material SCC. Nilai keausan dalam penelitian ini diperoleh 33,587%, dan ternyata lebih kecil dari 40%, sehingga agregat kasar ini baik dipakai untuk material SCC.

5.2 DESAIN CAMPURAN SCC MUTU TINGGI

Analisis perhitungan campuran beton sangat penting karena hal tersebut merupakan proses merancang dan menentukan proporsi dengan tujuan memproduksi beton agar sesuai dengan kuat desak atau mutu beton yang direncanakan. Langkah-langkah analisis perhitungan komposisi campuran beton dapat dilihat berikut ini.

1. Data awal yang diperlukan sebelum proses *mix design*.

Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan beton rencana $f'_c = 41,4$ MPa (syarat minimal beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000) pada umur 28 hari, agregat halus yang digunakan yaitu pasir alam dari sungai Progo, dengan karakteristik sebagai berikut : modulus kehalusan = 2,90 ; berat jenis relatif (kering oven) = 2,48; penyerapan air = 5,7 % ; berat isi padat (kering oven) = 1566 kg/m³.

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah, ukuran maksimum agregat = 10 mm dengan karakteristik sebagai berikut : berat jenis relatif (kering oven) = 2,51 ; penyerapan air = 2,14 % ; berat isi padat (kering oven) = 1330 kg/m³. Semen *portland* yang dipakai yaitu semen tipe I dengan berat jenis relatif = 3,15. Zat-tambah untuk membuat campuran SCC yaitu menggunakan *silica fume* dan *superplasticizer*.

2. Perhitungan komposisi campuran (tanpa zat-tambah *silica fume* dan *superplasticizer*) untuk beton mutu tinggi dapat dilihat berikut ini.

a. Menentukan nilai *slump* dan kuat tekan rerata yang ditargetkan.

Menentukan nilai *slump* awal dan kuat tekan rerata pada penelitian ini berguna untuk pedoman awal komposisi campuran dari masing-masing material yang digunakan. Nilai *slump* awal yang digunakan yaitu sebesar 75–100 mm dan untuk kuat tekan rerata dapat dilihat pada perhitungan berikut dengan menggunakan Persamaan 3.13.

Kuat tekan rencana (f'_c) = 41,4 MPa

$$f'_{cr} = \frac{41,4 + 9,66}{0,90} = 56,73 \text{ MPa}$$

b. Menentukan agregat kasar maksimum.

Kuat tekan rerata yang ditargetkan 56,73 MPa > 41,4 MPa, maka dalam penelitian ini menggunakan batu pecah dengan ukuran maksimum 10 mm. Sifat-sifat batu pecah yang digunakan sebagai berikut : berat jenis relatif (kering oven) = 2,51, berat isi padat kering oven = 1330 kg/m³.

c. Menentukan kadar agregat kasar optimum.

Karena agregat kasar maksimum 10 mm, maka dari Tabel. 3.2 dapat ditentukan fraksi volume agregat kasar optimum yaitu = 0,65, maka kadar agregat kasar padat kering oven dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14 berikut ini.

Kadar agregat kasar padat kering oven = 0,65 . 1330 = 864,5 kg/m³.

d. Estimasi kadar air dan kadar udara.

Berdasarkan nilai *slump* awal sebesar 75 – 100 mm dan ukuran agregat kasar maksimum 10 mm, maka dari Tabel 3.3 didapatkan estimasi pertama kebutuhan air yaitu = 196 liter/m³ dan kadar udaranya = 3,0 %. Untuk Kadar rongga udara dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 berikut ini.

$$V = \left(1 - \frac{1566}{2,51 \cdot 1000}\right) \cdot 100 \% = 37,61 \%$$

Perhitungan koreksi kadar air dari data tersebut menggunakan Persamaan 3.16 berikut ini.

$$\text{Koreksi kadar air} = (37,61 - 35) \cdot 4,75 = 12,4 \text{ liter/m}^3$$

Dari hasil koreksi kadar air tersebut, maka selanjutnya dapat menghitung kebutuhan air total dengan menggunakan Persamaan 3.17 berikut ini.

$$\text{kebutuhan air total} = 196 + 12,4 = 208,4 \text{ liter/m}^3.$$

e. Menentukan rasio W/(c+p).

Dari Tabel 3.4 dapat dilihat rasio W/(c+p) untuk beton mutu tinggi tanpa *superplasticizer* dengan ukuran agregat kasar maksimum 10 mm. Kuat tekan rerata yang ditargetkan pada umur 28 hari yaitu = 56,73 MPa, maka kekuatan lapangan kekuatan lapangan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.18.

$$\text{Kekuatan lapangan} = 0,9 \cdot 56,73 = 51,06 \text{ MPa}.$$

Dari hasil kekuatan lapangan, selanjutnya mencari nilai rasio W/(c+p) pada Tabel 3.4. setelah dilakukan peninjauan, ternyata hasil kekuatan

lapangan tidak ada yang sesuai dengan hasil Tabel, maka hasil kekuatan lapangan harus diinterpolasi dengan data yang ada pada Tabel tersebut. Dari hasil interpolasi didapatkan hasil rasio $W/(c+p)$ yaitu = 0,392.

f. Menghitung kadar bahan bersifat semen.

Kadar bahan bersifat semen (per-m^3) beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.19.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = 208,4 : 0,392 = 531,63 \text{ kg/m}^3.$$

Pada ketentuan SNI 03-6468-2000 tidak ada mensyaratkan nilai minimum bahan bersifat semen, maka kadar bahan bersifat semen pada campuran beton mutu tinggi yaitu = $531,63 \text{ kg/m}^3$.

g. Proporsi campuran beton mutu tinggi.

Volume semua bahan kecuali pasir per-m^3 campuran beton adalah berikut ini.

Diubah menjadi satuan liter.

Semen portland	= $531,63 : 3,15$	= 168,77	liter
Agregat kasar	= $864,5 : 2,51$	= 344,42	liter
Air	= 208,40	= 208,40	liter
Kadar udara	= $0,03 \cdot 1000$	= 30,00	liter
Sub total (dijumlahkan)		= 751,59	liter

$$\text{Kebutuhan volume pasir per-m}^3 = 1000 - 751,59 = 248,41 \text{ liter}$$

$$\text{Dikonversi menjadi berat pasir kering oven} = 248,41 \cdot 2,38 = 591,22 \text{ kg/m}^3$$

Komposisi campuran pada beton mutu tinggi sebagai berikut :

semen portland	= 532	kg/m^3 ,
agregat halus	= 592	kg/m^3 , (berat kering oven)
agregat kasar	= 865	kg/m^3 , (berat kering oven)
air	= 208	liter/ m^3 .

Hasil perencanaan komposisi campuran beton (*mix design*) menggunakan standar SNI 03-6468-2000 didapatkan kebutuhan bahan per- m^3 sebagai berikut :

1. air = 208 kg,
2. semen = 532 kg,
3. pasir = 592 kg,
4. kerikil = 865 kg.

5.3 KOMPOSISI CAMPURAN SCC MUTU TINGGI

Komposisi campuran SCC mutu tinggi dilakukan untuk mencari kebutuhan setiap material yang akan digunakan dalam campuran beton. Hasil awal yang digunakan dalam menentukan semua komposisi material yaitu dengan menggunakan hasil kebutuhan material dari desain campuran SCC mutu tinggi, kebutuhan material yang telah diketahui yaitu: semen, pasir, kerikil, dan air, untuk kebutuhan zat-tambah dicari dengan cara mengalikan persentase zat-tambah dengan berat semen yang sudah diketahui, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

persentase *silica fume* = 10%

berat semen = 532 kg

kebutuhan zat-tambah *silica fume* = $0,1 \cdot 532 = 53,2$ kg

kebutuhan semen setelah dikurangi *silica fume* = $532 - 53,2 = 478,8$ kg

Perhitungan tersebut juga digunakan untuk menghitung jumlah *superplasticizer* sesuai kebutuhan persentase yaitu: 0,8%, 1,0%, 1,2%, 1,4%, dan 1,6%. Kebutuhan komposisi campuran SCC mutu tinggi secara keseluruhan disajikan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil *mix design* kebutuhan bahan 1 m³

No.	Kode sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	<i>Silica fume</i>		<i>Superplasticizer</i>	
						Berat (kg)	Persentase (%)	Berat (kg)	Persentase (%)
1.	BN	532	592	865	208	0	0	0	0
2.	SCC-1	478,8	592	865	202,68	53,2	10	4,26	0,8
3.	SCC-2	478,8	592	865	201,62	53,2	10	5,32	1,0
4.	SCC-3	478,8	592	865	200,55	53,2	10	6,38	1,2
5.	SCC-4	478,8	592	865	199,49	53,2	10	7,45	1,4
6.	SCC-5	478,8	592	865	198,42	53,2	10	8,51	1,6

Hasil pada Tabel 5.8 merupakan komposisi campuran setiap material seperti: semen, pasir, kerikil, air, *silica fume*, dan *superplasticizer*. *Silica fume* berpengaruh terhadap pengurangan terhadap semen dan *superplasticizer* berpengaruh terhadap pengurangan air, hanya saja dalam mencari kebutuhan *superplasticizer* berdasarkan berat semen. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton yang telah dilakukan, maka komposisi campuran yang baik digunakan yaitu pada kode sampel SCC-3. Karena kekuatan kuat tekan rerata SCC-3 pada umur 28 hari memiliki nilai = 43,06 MPa lebih besar jika dibandingkan dengan kuat tekan rencana dengan nilai = 41,4 MPa. Dari pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa komposisi yang baik digunakan dalam pembuatan campuran material SCC mutu tinggi yaitu komposisi campuran SCC-3.

5.4 PENGUJIAN SCC MUTU TINGGI

5.4.1 *Slump*

Campuran adukan beton non SCC (BN) atau beton tanpa zat-tambah pada penelitian ini dilakukan pengujian *slump*. pengambilan data nilai *slump* pada saat campuran material beton sudah tercampur merata. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 *Slump* beton non SCC (BN)

Nilai *slump* berguna untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran beton. Tingkat *workability* nilai *slump* dari hasil pengujian di laboratorium disajikan pada Tabel 3.9 tentang *workability* nilai *slump* pada beton normal atau beton tanpa zat-tambah. Hasil pengujian nilai *slump* beton non SCC dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil pengujian nilai *slump*

No.	Nama sampel	Nilai <i>slump</i> (cm)	Tingkat <i>workability</i>
1.	Non SCC (BN) untuk umur 7 hari	10	sedang - tinggi
2.	Non SCC (BN) untuk umur 14 hari	9,5	sedang - tinggi
3.	Non SCC (BN) untuk umur 21 hari	10	sedang - tinggi
4.	Non SCC (BN) untuk umur 28 hari	10	sedang - tinggi

Pengadukan campuran material di laboratorium menggunakan mesin pengaduk yang berkapasitas 8 silinder, untuk memenuhi kebutuhan silinder beton sesuai dengan jumlah yang direncanakan, maka pengadukan dilakukan sebanyak 4

kali dengan kapasitas 1 kali pengadukan bisa mendapatkan 6 silinder beton. Pada Tabel 5.9 tersebut merupakan hasil pengujian *slump* dilaboratorium. Jika dimasukkan kedalam syarat nilai *slump* yang direncanakan pada desain komposisi campuran SCC mutu tinggi, maka hasil pengujian *slump* pada Tabel 5.9 memenuhi syarat, adapun nilai persyaratannya yaitu 70-100 mm. Setelah melakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari, kekuatan kuat tekan mengalami kenaikan yang signifikan jika dibandingkan pada setiap umur pengujian, untuk hasil kuat tekan beton pada umur 28 hari memiliki nilai = 42,11 MPa lebih besar jika dibandingkan dengan kuat tekan rencana dengan nilai = 41,4 MPa.

5.4.2 *Slump-flow*

Slump-flow merupakan pengujian campuran beton yang sudah diaduk merata dan belum dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Pengujian *slump-flow* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat penyebaran campuran material SCC, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 *Slump-flow* penelitian SCC

Dari Gambar 5.4 dapat dilihat tingkat penyebaran SCC dengan menggunakan zat-tambah *silica fume* dan *superplasticizer*, Hasil pengujian *slump-flow* pada penelitian SCC dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil pengujian nilai *slump-flow* SCC

No.	Tipe benda uji	Nilai <i>slump-flow</i> (mm)	T ₅₀ (detik)
1.	SCC-1	560	4,62
2.	SCC-2	590	4,06
3.	SCC-3	620	3,74
4.	SCC-4	650	3,36
5.	SCC-5	680	2,96

Hasil pengujian *slump-flow* dan T₅₀ pada campuran material SCC dari Tabel 5.10 untuk nilai SCC-1 dan SCC-2 tidak termasuk kedalam persyaratan EFNARC, setelah melakukan pengujian kuat tekan beton terhadap SCC-1 dan SCC-2 ternyata beton tersebut memiliki kuat tekan yang melebihi kuat tekan rencana dengan nilai $f'_c = 41,4$ MPa, meskipun *slump-flow* SCC-1 dan SCC-2 tidak termasuk kedalam persyaratan tersebut akan tetapi termasuk kedalam persyaratan terhadap kuat tekan beton, sehingga campuran SCC-1 dan SCC-2 dapat digunakan dilapangan. sedangkan nilai *slump-flow* SCC-3 samapai SCC-5 termasuk kedalam persyaratan dari EFNARC dengan nilai 600-800 mm. Waktu yang dibutuhkan untuk peninjauan T₅₀ yang ada pada Tabel 5.10 termasuk kedalam persyaratan EFNARC. Persyaratan yang digunakan umum dipakai pada awal menentukan *workability* SCC yang dibahas pada Subbab 3.6.2 tentang *slump-flow*.

5.4.3 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk menentukan kemampuan beton tersebut dalam memikul beban yang bekerja di atasnya. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton antara lain yaitu jenis semen, kualitas agregat

halus dan kasar, kelengkapan alat dalam pengerjaan. Penelitian yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Pengujian kuat tekan beton

Pada kuat tekan dilakukan pengujian pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari dengan sampel berbentuk silinder beton yang berukuran rerata diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang sebelumnya telah dilakukan perawatan dengan cara perendaman. Setelah melakukan pengambilan data kuat tekan beton dengan menggunakan alat mesin uji desak, maka selanjutnya menganalisis data kuat tekan beton. Menganalisis dari data tersebut mengambil salah satu hasil analisis kuat tekan beton normal (mutu tinggi) dengan kode BN 1 pada umur 28 hari dan SCC dengan variasi campuran *superplastisizer* 1,2% pada umur 28 hari dengan menggunakan Persamaan 3.20 berikut ini.

1. Perhitungan kuat tekan beton (f'_c) dengan kode BN 1 pada umur 28 hari.

$$P = 786,7 \text{ kN} = 786700 \text{ N}$$

$$\text{diameter} = 151 \text{ mm} \rightarrow \text{luas (A)} = 17915,071 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = \frac{786700}{17915,071} = 43,913 \text{ MPa} > f'_c \text{ rencana} = 41,4 \text{ MPa}$$

2. Perhitungan kuat tekan beton (f'_c) dengan kode SCC 2 variasi *superplasticizer* 1,2% pada umur 28 hari.

$$P = 794,6 \text{ kN} = 794600 \text{ N}$$

$$\text{diameter} = 151,1 \text{ mm} \rightarrow \text{luas (A)} = 17938,808 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = \frac{794600}{17938,808} = 44,295 \text{ MPa} > f'_c \text{ rencana} = 41,4 \text{ MPa}$$

Hasil selengkapnya untuk semua benda uji pada perhitungan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.11-5.14. Untuk perhitungan kuat tekan beton semua benda uji menggunakan Persamaan 3.19.

Tabel 5.11 Hasil analisis kuat tekan beton pada umur 7 hari

No.	Tipe benda uji	No. benda uji	Variasi campuran (%)		Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban maksimum, P (kN)	Kuat tekan f'_c (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Unit	Rerata	
1.	BN	1	0	0	150,75	17855,799	387,0	21,674	20,78	Kondisi baik
		2	0	0	150,15	17713,946	352,1	19,877		Kondisi baik
		3	0	0	-	-	-	-		Rusak/kropos
2.	SCC-1	1	10	0,8	150,35	17761,168	602,8	33,939	32,75	Kondisi baik
		2	10	0,8	151,50	18033,911	569,0	31,552		Kondisi baik
		3	10	0,8	-	-	-	-		Rusak/kropos
3.	SCC-2	1	10	1,0	150,70	17843,956	504,5	28,273	28,68	Kondisi baik
		2	10	1,0	151,35	17998,218	523,5	29,086		Kondisi baik
		3	10	1,0	-	-	-	-		Rusak/kropos
4.	SCC-3	1	10	1,2	150,60	17820,283	626,5	35,157	33,91	Kondisi baik
		2	10	1,2	150,05	17690,359	578,0	32,673		Kondisi baik
		3	10	1,2	-	-	-	-		Rusak/kropos
5.	SCC-4	1	10	1,4	150,85	17879,496	471,0	26,343	32,48	Kondisi baik
		2	10	1,4	150,40	17772,983	686,3	38,615		Kondisi baik
		3	10	1,4	-	-	-	-		Rusak/kropos
6.	SCC-5	1	10	1,6	150,75	17855,799	374,6	20,979	23,66	Kondisi baik
		2	10	1,6	150,45	17784,802	468,4	26,337		Kondisi baik
		3	10	1,6	-	-	-	-		Rusak/kropos

Tabel 5.12 Hasil analisis kuat tekan beton pada umur 14 hari

No.	Tipe benda uji	No. benda uji	Variasi campuran (%)		Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban maksimum, P (kN)	Kuat tekan f'_c (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Unit	Rerata	
1.	BN	1	0	0	149,65	17596,168	542,2	30,814	29,74	Silinder beton dalam kondisi baik atau tidak kropos
		2	0	0	150,60	17820,283	478,1	26,829		
		3	0	0	150,50	17796,625	561,9	31,573		
2.	SCC-1	1	10	0,8	150,05	17690,359	687,5	38,863	37,91	
		2	10	0,8	151,75	18093,478	686,2	37,925		
		3	10	0,8	150,70	17843,956	659,3	36,948		
3.	SCC-2	1	10	1,0	150,35	17761,168	632,0	35,583	33,44	
		2	10	1,0	150,10	17702,151	601,3	33,968		
		3	10	1,0	149,75	17619,692	542,1	30,767		
4.	SCC-3	1	10	1,2	150,20	17725,746	543,2	30,645	35,58	
		2	10	1,2	150,55	17808,452	660,7	37,100		
		3	10	1,2	149,60	17584,411	685,7	38,995		
5.	SCC-4	1	10	1,4	149,85	17643,232	708,6	40,163	36,52	
		2	10	1,4	150,30	17749,356	653,6	36,824		
		3	10	1,4	150,75	17855,799	581,5	32,566		
6.	SCC-5	1	10	1,6	150,25	17737,549	447,5	25,229	24,43	
		2	10	1,6	151,75	18093,478	463,2	25,600		
		3	10	1,6	150,90	17891,351	402,0	22,469		

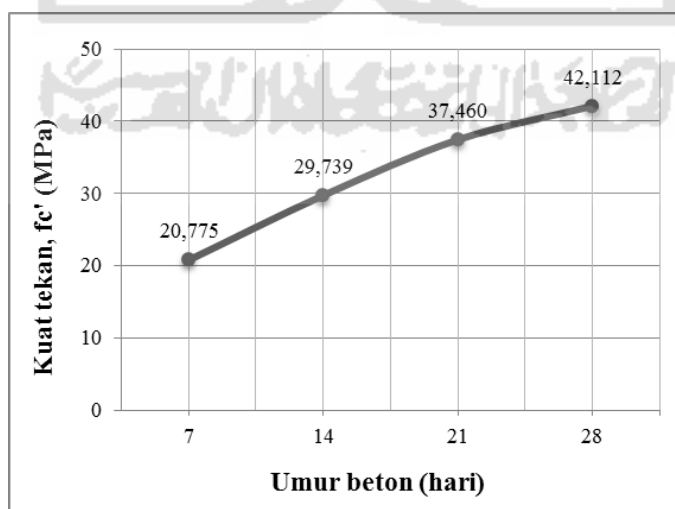
Tabel 5.13 Hasil analisis kuat tekan beton pada umur 21 hari

No.	Tipe benda uji	No. benda uji	Variasi campuran (%)		Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban maksimum, P (kN)	Kuat tekan f'_c (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Unit	Rerata	
1.	BN	1	0	0	150,15	17713,946	448,6	25,325	37,46	Silinder beton dalam kondisi baik atau tidak kropos
		2	0	0	151,10	17938,808	658,0	36,680		
		3	0	0	151,50	18033,911	689,6	38,239		
2.	SCC-1	1	10	0,8	149,60	17584,411	665,9	37,869	39,17	
		2	10	0,8	150,30	17749,356	730,3	41,145		
		3	10	0,8	150,60	17820,283	685,8	38,484		
3.	SCC-2	1	10	1,0	151,05	17926,938	645,8	36,024	38,32	
		2	10	1,0	150,50	17796,625	724,6	40,716		
		3	10	1,0	150,85	17879,496	683,6	38,234		
4.	SCC-3	1	10	1,2	150,50	17796,625	648,7	36,451	40,89	
		2	10	1,2	151,00	17915,071	833,9	46,547		
		3	10	1,2	152,00	18153,143	720,0	39,663		
5.	SCC-4	1	10	1,4	151,50	18033,911	706,7	39,187	37,66	
		2	10	1,4	151,25	17974,442	728,2	40,513		
		3	10	1,4	150,50	17796,625	592,0	33,265		
6.	SCC-5	1	10	1,6	151,50	18033,911	541,2	30,010	30,67	
		2	10	1,6	150,25	17737,549	583,8	32,913		
		3	10	1,6	151,00	17915,071	521,1	29,087		

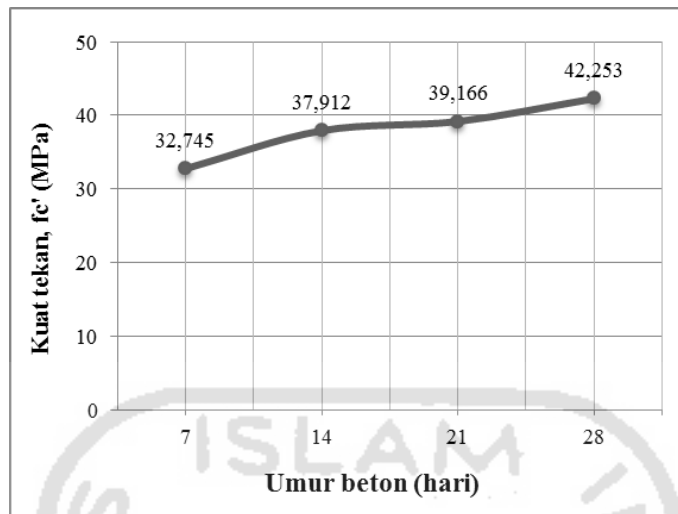
Tabel 5.14 Hasil analisis kuat tekan beton pada umur 28 hari

No.	Tipe benda uji	No. benda uji	Variasi campuran (%)		Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban maksimum, P (kN)	Kuat tekan f'_c (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Unit	Rerata	
1.	BN	1	0	0	151,00	17915,071	786,7	43,913	42,11	Silinder beton dalam kondisi baik atau tidak kropos
		2	0	0	150,50	17796,625	735,6	41,334		
		3	0	0	150,00	17678,571	726,4	41,089		
2.	SCC-1	1	10	0,8	150,65	17832,118	764,1	42,850	42,25	
		2	10	0,8	148,60	17350,111	769,0	44,322		
		3	10	0,8	149,60	17584,411	696,1	39,586		
3.	SCC-2	1	10	1,0	151,10	17938,808	792,3	44,167	41,79	
		2	10	1,0	150,90	17891,351	773,0	43,205		
		3	10	1,0	150,25	17737,549	673,8	37,987		
4.	SCC-3	1	10	1,2	150,55	17808,452	739,6	41,531	43,06	
		2	10	1,2	151,10	17938,808	794,6	44,295		
		3	10	1,2	150,10	17702,151	767,6	43,362		
5.	SCC-4	1	10	1,4	150,30	17749,356	742,2	41,816	39,79	
		2	10	1,4	150,90	17891,351	675,5	37,756		
		3	10	1,4	151,00	17915,071	712,8	39,788		
6.	SCC-5	1	10	1,6	150,90	17891,351	526,7	29,439	33,23	
		2	10	1,6	149,30	17513,956	645,7	36,868		
		3	10	1,6	150,80	17867,646	596,6	33,390		

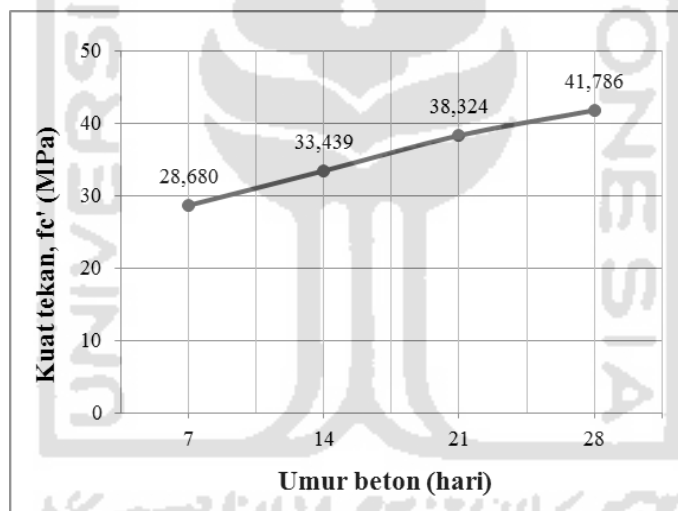
Dari Tabel 5.11-5.14 tersebut grafik hubungan kuat tekan dan umur beton untuk semua variasi benda uji (tipe BN dan SCC) disajikan di dalam Gambar 5.6-5.11. dari Tabel tersebut dapat dilihat, hasil analisa pada beton non SCC (BN) dan SCC yang memiliki nilai kuat tekan rerata diatas kuat tekan rencana yaitu 41,4 MPa pada umur pengujian 28 hari disajikan pada Gambar 5.6-5.9.



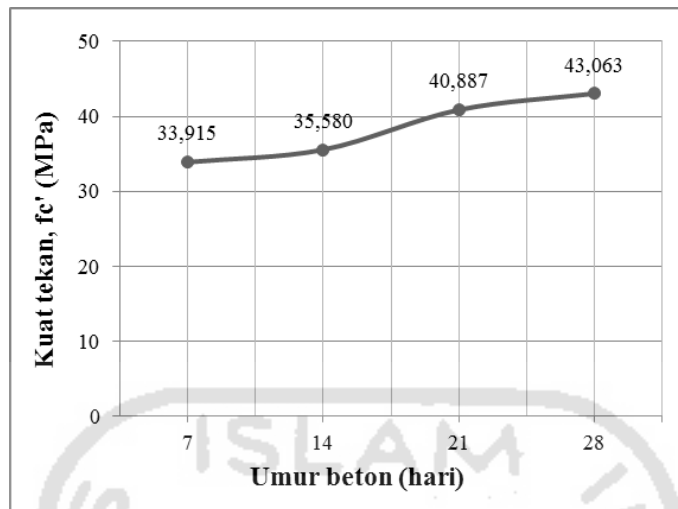
Gambar 5.6 Grafik hubungan kuat tekan rerata pada beton tanpa zat-tambah (BN) dengan umur beton



Gambar 5.7 Grafik hubungan kuat tekan rerata pada SCC-1 dengan umur beton

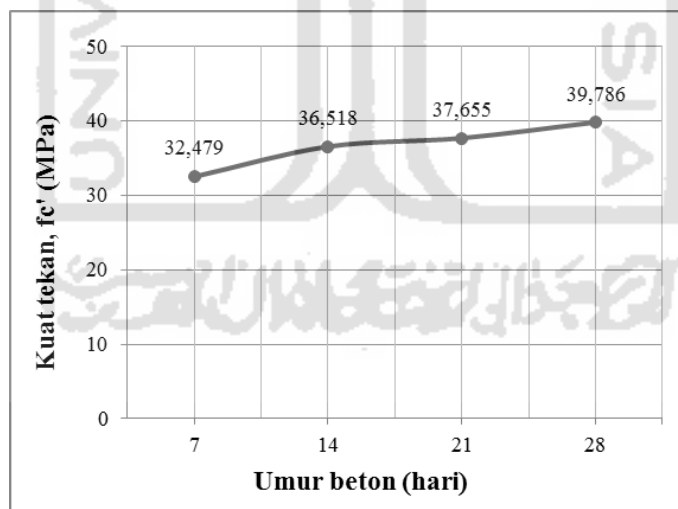


Gambar 5.8 Grafik hubungan kuat tekan rerata pada SCC-2 dengan umur beton

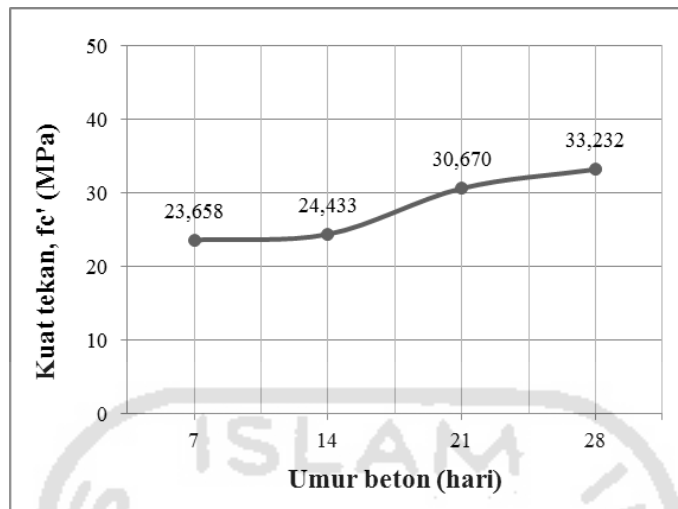


Gambar 5.9 Grafik hubungan kuat tekan rerata pada SCC-3 dengan umur beton

Sedangkan untuk hasil analisa pada SCC yang memiliki nilai kuat tekan rerata dibawah kuat tekan rencana yaitu 41,4 MPa pada umur pengujian 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.10-5.11.

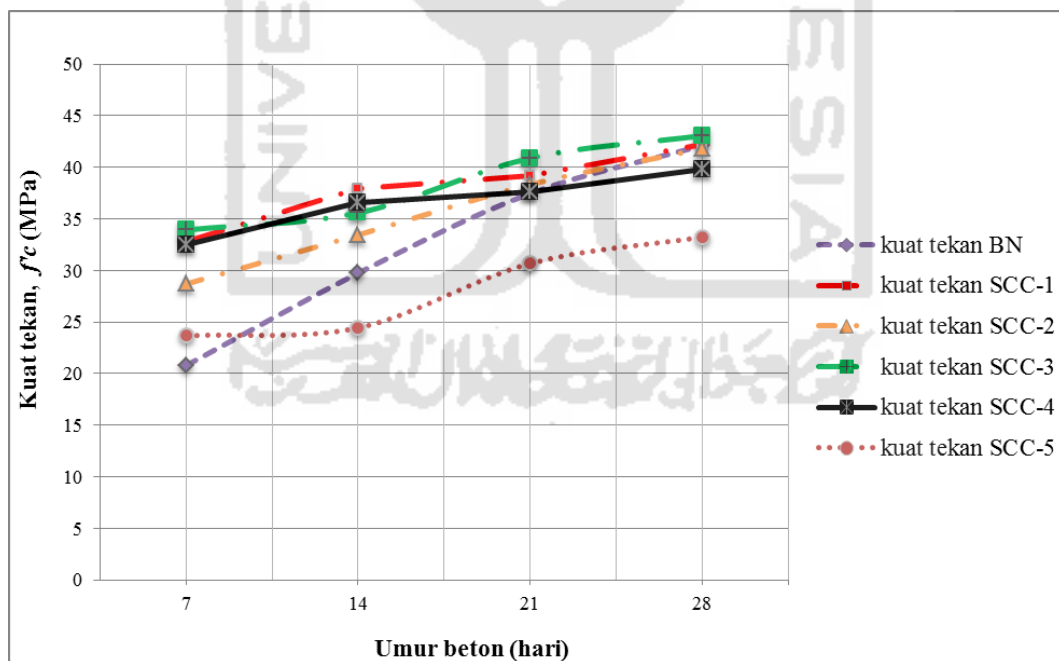


Gambar 5.10 Grafik hubungan kuat tekan rerata pada SCC-4 dengan umur beton



Gambar 5.11 Grafik hubungan kuat tekan rerata pada SCC-5 dengan umur beton

Gambar komparasi hasil hubungan kuat tekan beton dan umur beton 7, 14, 21, dan 28 hari dari Gambar 5.6-5.11 dapat dilihat pada Gambar 5.12.



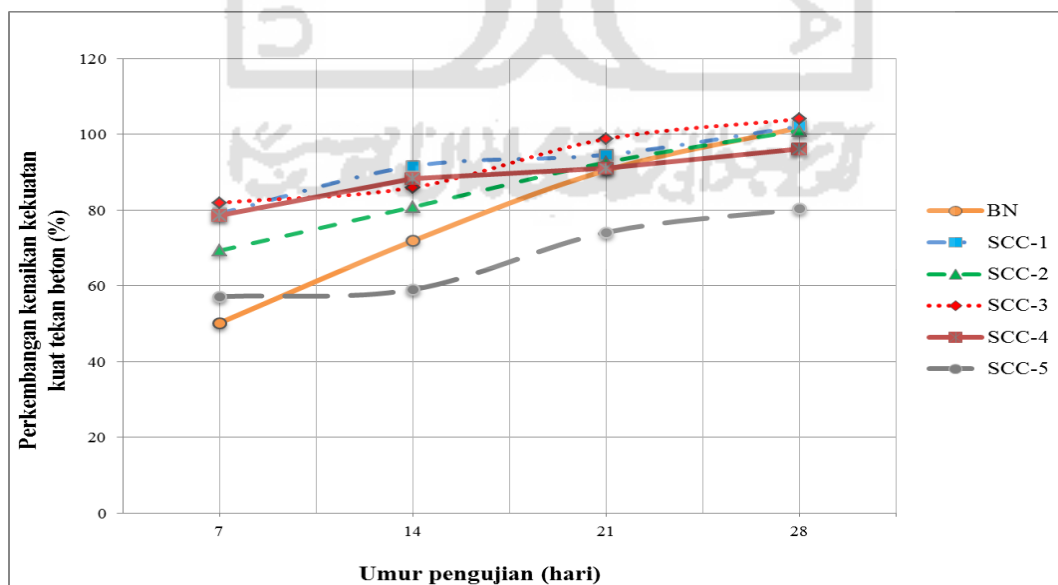
Gambar 5.12 Komparasi grafik hubungan kuat tekan beton dan umur beton untuk semua tipe benda uji

Dari Gambar 5.12 juga dapat menghitung perkembangan kekuatan kuat tekan beton terhadap kuat tekan rencana = 41,4 MPa disajikan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 perkembangan kekuatan kuat tekan beton terhadap kuat tekan rencana = 41,4 MPa

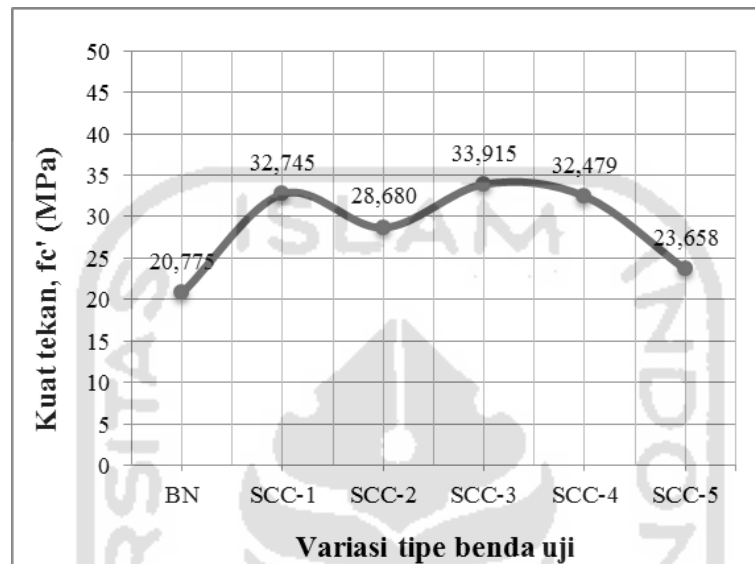
No.	Tipe benda uji	Perkembangan kenaikan kuat tekan beton (%)			
		Umur (hari)			
		7	14	21	28
1.	BN	50,18	71,83	90,48	101,72
2.	SCC-1	79,10	91,58	94,60	102,06
3.	SCC-2	69,27	80,77	92,57	100,93
4.	SCC-3	81,92	85,94	98,76	104,02
5.	SCC-4	78,45	88,21	90,95	96,10
6.	SCC-5	57,15	59,02	74,08	80,27

Data dari Tabel 5.15 merupakan hasil peningkatan kekuatan terhadap terhadap kuat tekan rencana, untuk lebih jelasnya dapat melihat hubungan perkembangan kekuatan kuat tekan beton dan umur pengujian pada Gambar 5.13.

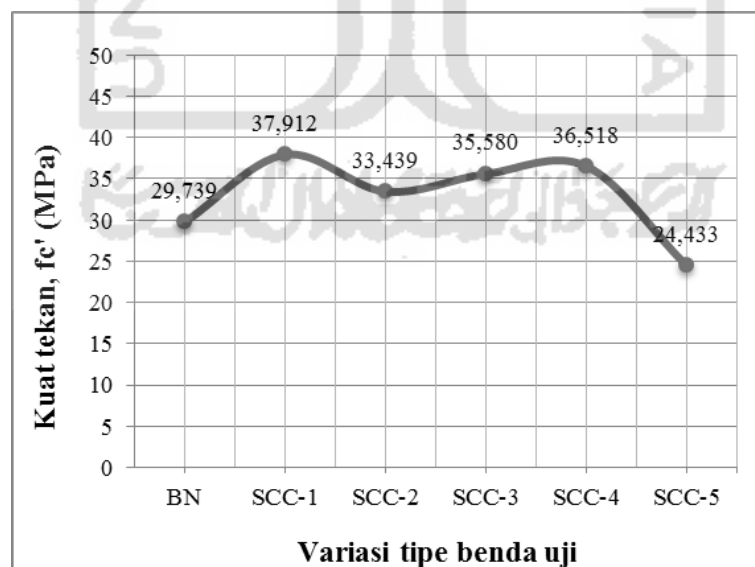


Gambar 5.13 Grafik hubungan perkembangan kenaikan kekuatan kuat tekan beton dan umur pengujian

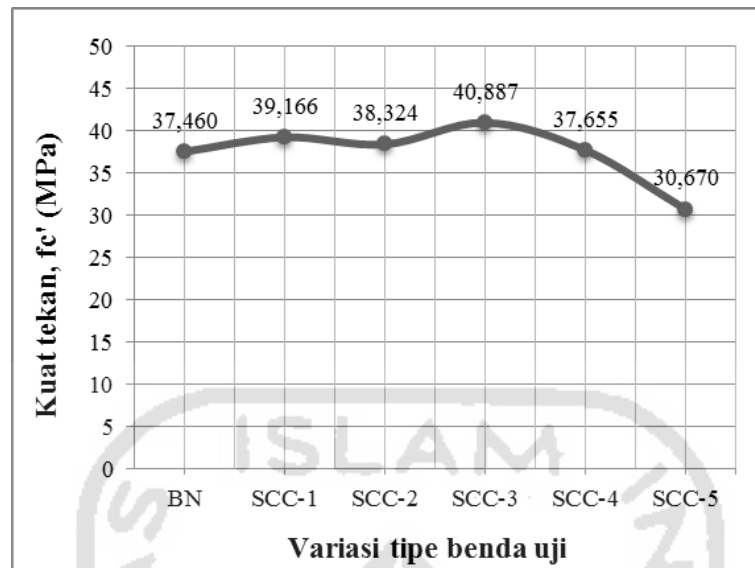
Hasil analisa pada Tabel 5.11-5.14 tersebut juga dapat digambarkan hubungan kuat tekan beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari disajikan pada Gambar 5.14-5.17.



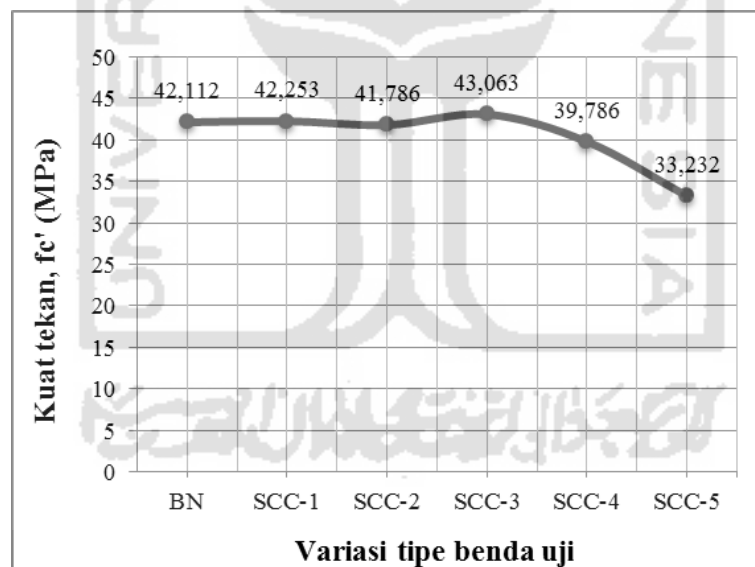
Gambar 5.14 Grafik hubungan kuat tekan beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7 hari



Gambar 5.15 Grafik hubungan kuat tekan beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 14 hari



Gambar 5.16 Grafik hubungan kuat tekan beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 21 hari

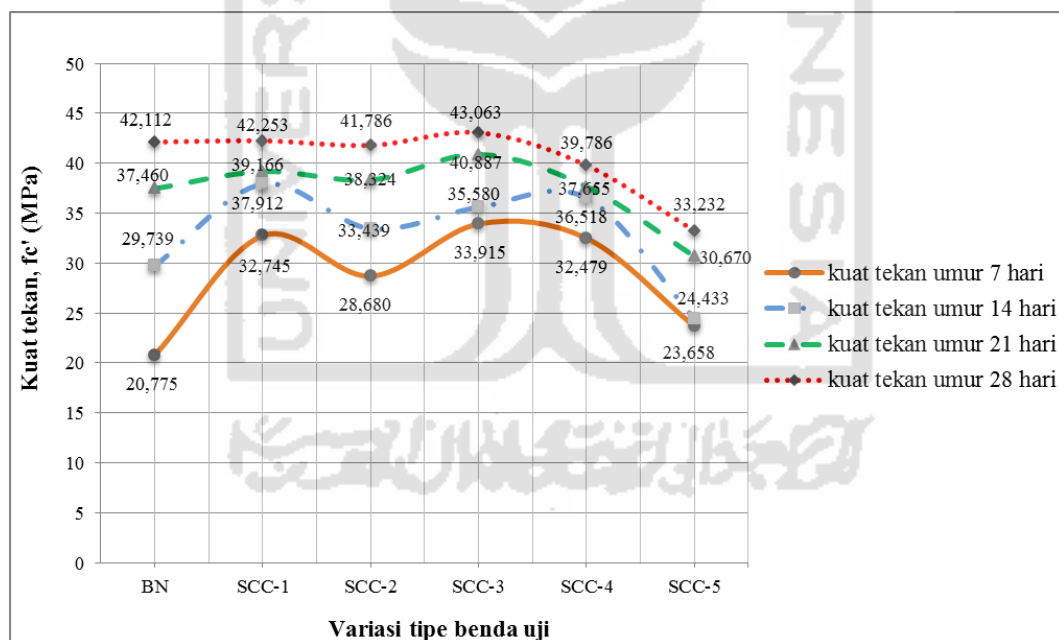


Gambar 5.17 Grafik hubungan kuat tekan beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 28 hari

Pada Gambar 5.17 beton non SCC (BN) dan SCC memiliki perbedaan hasil kuat tekan beton yang tidak terlalu jauh, akan tetapi nilai kuat tekan beton pada SCC-3 merupakan hasil optimum yaitu 43,063 MPa. jika diterapkan dilapangan pada pekerjaan struktur utama seperti titik pertemuan balok dan kolom, maka

mutu beton non SCC (BN) belum tentu bisa memenuhi kekuatan yang direncanakan, ini disebabkan karena *workability* pada campuran beton non SCC (BN) memiliki nilai yang rendah, artinya campuran beton tersebut sukar dikerjakan dilapangan karena campuran beton sangat kental. Jika dibandingkan dengan campuran SCC, maka campuran ini dapat dikerjakan dilapangan pada pekerjaan struktur utama seperti titik pertemuan balok dan kolom, ini disebabkan karena SCC memiliki sifat mengalir dan bisa mengisi ruang cetakan dengan memanfaatkan berat sendirinya. Sehingga campuran SCC bisa memenuhi mutu beton yang direncanakan.

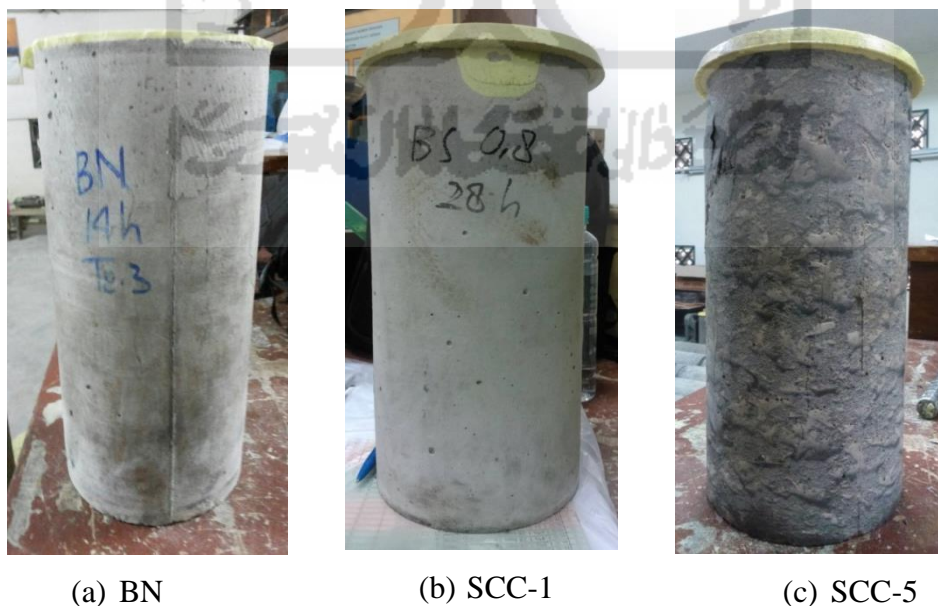
Gambar komparasi hasil hubungan kuat tekan beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari dari Gambar 5.14-5.17 dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Komparasi grafik hubungan kuat tekan beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari

Gambar 5.18 menunjukkan hasil analisa kuat tekan rerata pada semua tipe benda uji dengan umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari. Dapat dilihat dari Gambar 5.18 tersebut untuk beton non SCC (BN) pada umur pengujian 7, 14, 21,

dan 28 hari mengalami perkembangan peningkatan kekuatan kuat tekan yang signifikan dengan persentase rerata kenaikan sekitar 20,6%. Pada variasi tipe benda uji SCC-5 dapat dilihat dari Gambar 5.18 tersebut untuk perkembangan kenaikan kekuatan kuat tekan mengalami perlambatan dan memiliki persentase kenaikan sekitar 10,4%, jika dibandingkan dengan beton non SCC (BN) pada umur pengujian 7 hari variasi tipe benda uji SCC-5 memiliki hasil kuat tekan yaitu 23,658 MPa, nilai tersebut lebih besar dibandingkan dari hasil kuat tekan pada beton non SCC (BN) yaitu 20,775 MPa, dan jika ditinjau nilai kuat tekan dari umur pengujian 28 hari, beton non SCC (BN) memiliki nilai kuat tekan yaitu 42,112 MPa yang lebih besar dibandingkan dengan variasi tipe benda uji SCC-5 dengan nilai 33,232 MPa. perbedaan kuat tekan tersebut disebabkan oleh pengaruh penambahan zat-tambah, jika zat-tambah semakin banyak, maka kekuatan kuat tekan menurun sesuai dengan hasil yang dilihat pada Gambar 5.18. Menurunnya nilai kuat tekan beton pada variasi tipe benda uji SCC-5 disebabkan oleh pengaruh penambahan zat-tambah, semakin banyak penambahan zat-tambah akan mengakibatkan beton menjadi semakin encer dan bisa menyebabkan terjadinya *bleeding* dan *segregasi*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari perbedaan bentuk bidang permukaan benda uji yang disajikan pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Perbandingan bidang permukaan benda uji

Gambar 5.19 pada point (a) merupakan bentuk permukaan beton non SCC (BN) atau beton tanpa zat-tambah memiliki permukaan sedikit kasar jika dibandingkan dengan bentuk permukaan pada poin (b) yaitu variasi tipe benda uji SCC-1, Bentuk permukaan SCC-1 lebih halus karena adanya zat-tambah yang sesuai dengan takaran penggunaannya. Sedangkan pada point (c) bentuk permukaan beton seperti bergaris dan banyak warna, ini disebabkan karena penambahan zat-tambah yang terlalu banyak dan membuat campuran semakin encer, sehingga pada proses pengecoran pada cetakan terjadi *bleeding* dan pada saat pengikatan terjadi *segregasi* pada beton.

Setelah menganalisa hasil kuat tekan beton pada penelitian ini, selanjutnya dapat menganalisis standar deviasi (S) dari hasil kuat tekan beton tersebut. Menghitung standar deviasi dilakukan untuk mengetahui pendekatan nilai kuat tekan dengan nilai kuat tekan rerata (seberapa besar penyimpangan yang terjadi). Data kuat tekan beton yang digunakan pada analisis standar deviasi yaitu menggunakan data kuat tekan dari variasi tipe benda uji non SCC (BN) sampai SCC-3 pada umur pengujian 28 hari, data tersebut disajikan pada Tabel 5.16. langkah-langkah analisis standar deviasi berikut ini.

1. Menghitung nilai rerata dari hasil analisis kuat tekan beton dengan menggunakan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$X_{rt} = \frac{507,641}{18} = 42,303 \text{ MPa}$$

2. Menghitung pengimpangan (selisih) kuat tekan dari masing-masing benda uji (X_i) terhadap kuat tekan rerata (X_{rt}) menggunakan Persamaan 3.22. untuk salah satu contoh perhitungannya menggunakan data dari kuat tekan dengan kode BN 1 umur 28 hari berikut ini.

$$\text{Benda uji No.1} = 43,913 - 42,303 = 1,609 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan tersebut merupakan hasil selisih atau penyimpangan antara kuat tekan beton dengan kuat tekan beton rerata.

- Menghitung nilai $(X_i - X_{rt})^2$ dan menjumlahkan hasil tersebut dengan menggunakan Persamaan 3.23.

$$\text{Benda uji No.1} = 1,609^2 = 2,590 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan langkah 1-3 tersebut, merupakan cara untuk menganalisis sebelum mendapatkan hasil deviasi standar, perhitungan tersebut berguna untuk mengetahui nilai rerata dari hasil kuat tekan yang dianalisis. Dan juga mencari nilai penyimpangan yang terjadi dari setiap kuat tekan yang dianalisis selengkapny dapat dilihat pada Tabel 5.16 Berikut ini.

Tabel 5.16 Hasil analisis selisih atau penyimpangan dari kuat tekan beton pada umur 28 hari

No.	Tipe benda uji	No. benda uji	Variasi campuran (%)		Umur pengujian (hari)	Kuat tekan, MPa (X_i)	$(X_i - X_{rt})$, MPa	$(X_i - X_{rt})^2$, MPa
			<i>Silica fume</i>	<i>Superplasticizer</i>				
1.	BN	1	0	0	28	43,913	1,609	2,590
		2	0	0	28	41,334	-0,970	0,940
		3	0	0	28	41,089	-1,214	1,474
2.	SCC-1	1	10	0,8	28	42,850	0,546	0,298
		2	10	0,8	28	44,322	2,019	4,077
		3	10	0,8	28	39,586	-2,717	7,383
3.	SCC-2	1	10	1,0	28	44,167	1,863	3,472
		2	10	1,0	28	43,205	0,902	0,813
		3	10	1,0	28	37,987	-4,316	18,630
4.	SCC-3	1	10	1,2	28	41,531	-0,773	0,597
		2	10	1,2	28	44,295	1,992	3,966
		3	10	1,2	28	43,362	1,059	1,120
Σ (penjumlahan)						507,641	-	45,362

Dari Tabel 5.16 didapatkan hasil penjumlahan dari hasil selisih kuat tekan, selanjutnya dapat menghitung standar deviasi.

4. Menghitung standar deviasi (S) dengan menggunakan Persamaan 3.24.

$$\text{Standar deviasi (S)} = \sqrt{\frac{45,362}{(12-1)}} = 2,031 \text{ MPa}$$

5. Menghitung nilai kuat tekan beton yang dipakai atau berlaku (X) dengan menggunakan Persamaan 3.25.

$$X = 42,303 - (1,645 \cdot 2,031) = 38,963 \text{ MPa}$$

Hasil analisis dari perhitungan standar deviasi yaitu 2,031 MPa dan nilai kuat tekan yang berlaku yaitu 38,963 MPa lebih kecil jika dibandingkan terhadap kuat tekan rencana dengan nilai 41,4 MPa. besarnya selisih hasil kuat tekan beton tersebut dipengaruhi oleh nilai kuat tekan yang bervariasi dari setiap variasi tipe benda uji.

5.4.4 Modulus Elastisitas Beton

Analisis modulus elastisitas beton merupakan peninjauan pada benda uji silinder beton yang mengalami perubahan bentuk akibat diberi beban. Apabila perubahan bentuk tersebut terjadi, maka gaya internal didalam sampel silinder akan menahannya, gaya internal ini disebut gaya dalam. Bila suatu bahan mengalami tegangan, maka bahan itu akan mengalami perubahan bentuk yang dikenal dengan regangan (Smith, 1985). Untuk mengetahui peningkatan daktilitas beton dilakukan pengujian tegangan regangan. Kurva tegangan regangan dapat dianalisis dengan cara memplotkan data-data tegangan setiap kenaikan 10 kN beban aksial dengan regangan. Analisis hasil modulus elastisitas beton menggunakan *polynomial* pangkat 2 dari *microsoft excel* dan untuk perhitungan modulus elastisitas beton menggunakan hasil salah satu sampel beton dengan tipe

benda uji SCC-1 no.3 pada umur 28 hari. Untuk perhitungan tegangan menggunakan Persamaan 3.20 berikut ini.

1. Perhitungan tegangan (σ).

$$P = 10000 \quad \text{N}$$

$$A = 17584,41 \quad \text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{10000}{17584,41} = 0,569 \text{ MPa}$$

2. Perhitungan regangan (ϵ).

$$\Delta L = 0,001 \quad \text{mm}$$

$$L_o = 200 \quad \text{mm}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{0,001}{200} = 0,00001$$

Dari analisis perhitungan tersebut, untuk hasil tegangan regangan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Hasil analisis tegangan regangan dari tipe benda uji SCC-1 no.3 pada umur pengujian 28 hari (1 dari 3)

No.	Beban		Pembacaan dial (mm), (10^{-3})	ΔL (mm)	Tegangan $\sigma=P/A$ (MPa)	Regangan (ϵ)
	kN	N				
1	10	10000	2	0,001	0,569	0,00001
2	20	20000	6	0,003	1,137	0,00002
3	30	30000	12	0,006	1,706	0,00003
4	40	40000	18	0,009	2,275	0,00005
5	50	50000	23	0,012	2,843	0,00006
6	60	60000	29	0,015	3,412	0,00007
7	70	70000	38	0,019	3,981	0,00010
8	80	80000	45	0,023	4,549	0,00011
9	90	90000	52	0,026	5,118	0,00013
10	100	100000	61	0,031	5,687	0,00015
11	110	110000	71	0,036	6,256	0,00018
12	120	120000	81	0,041	6,824	0,00020
13	130	130000	89	0,045	7,393	0,00022
14	140	140000	98	0,049	7,962	0,00025

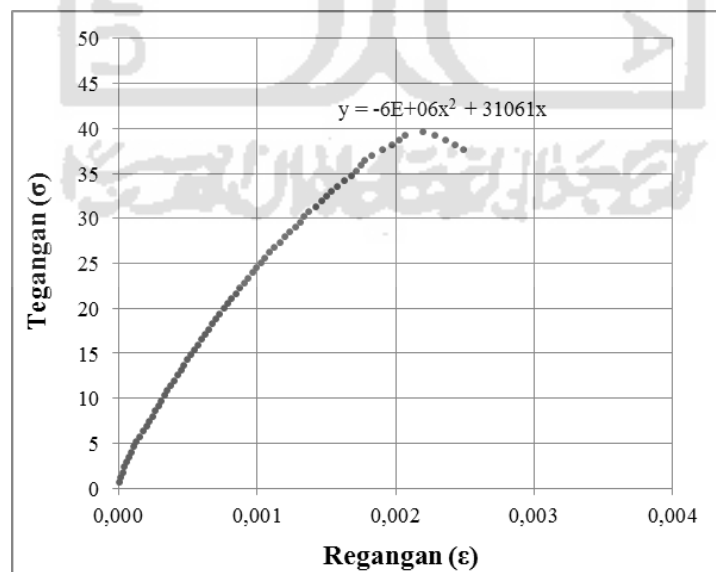
Lanjutan Tabel 5.17 Hasil analisis tegangan regangan dari tipe benda uji SCC-1
no.3 pada umur pengujian 28 hari (2 dari 3)

No.	Beban		Pembacaan <i>dial</i> (mm), (10 ⁻³)	ΔL (mm)	Tegangan $\sigma=P/A$ (MPa)	Regangan (ϵ)
	kN	N				
15	150	150000	107	0,054	8,530	0,00027
16	160	160000	115	0,058	9,099	0,00029
17	170	170000	123	0,062	9,668	0,00031
18	180	180000	133	0,067	10,236	0,00033
19	190	190000	142	0,071	10,805	0,00036
20	200	200000	151	0,076	11,374	0,00038
21	210	210000	161	0,081	11,942	0,00040
22	220	220000	171	0,086	12,511	0,00043
23	230	230000	181	0,091	13,080	0,00045
24	240	240000	189	0,095	13,648	0,00047
25	250	250000	199	0,100	14,217	0,00050
26	260	260000	209	0,105	14,786	0,00052
27	270	270000	219	0,110	15,355	0,00055
28	280	280000	230	0,115	15,923	0,00058
29	290	290000	240	0,120	16,492	0,00060
30	300	300000	250	0,125	17,061	0,00063
31	310	310000	261	0,131	17,629	0,00065
32	320	320000	272	0,136	18,198	0,00068
33	330	330000	283	0,142	18,767	0,00071
34	340	340000	293	0,147	19,335	0,00073
35	350	350000	305	0,153	19,904	0,00076
36	360	360000	316	0,158	20,473	0,00079
37	370	370000	327	0,164	21,041	0,00082
38	380	380000	339	0,170	21,610	0,00085
39	390	390000	351	0,176	22,179	0,00088
40	400	400000	363	0,182	22,747	0,00091
41	410	410000	374	0,187	23,316	0,00094
42	420	420000	387	0,194	23,885	0,00097
43	430	430000	399	0,200	24,453	0,00100
44	440	440000	411	0,206	25,022	0,00103
45	450	450000	424	0,212	25,591	0,00106
46	460	460000	437	0,219	26,160	0,00109
47	470	470000	451	0,226	26,728	0,00113
48	480	480000	466	0,233	27,297	0,00117
49	490	490000	481	0,241	27,866	0,00120
50	500	500000	496	0,248	28,434	0,00124
51	510	510000	513	0,257	29,003	0,00128
52	520	520000	527	0,264	29,572	0,00132
53	530	530000	536	0,268	30,140	0,00134
54	540	540000	551	0,276	30,709	0,00138
55	550	550000	569	0,285	31,278	0,00142
56	560	560000	587	0,294	31,846	0,00147
57	570	570000	600	0,300	32,415	0,00150
58	580	580000	616	0,308	32,984	0,00154

Lanjutan Tabel 5.17 Hasil analisis tegangan regangan dari tipe benda uji SCC-1 no.3 pada umur pengujian 28 hari (2 dari 3)

No.	Beban		Pembacaan dial (mm), (10 ⁻³)	ΔL (mm)	Tegangan $\sigma=P/A$ (MPa)	Regangan (ϵ)
	kN	N				
59	590	590000	632	0,316	33,552	0,00158
60	600	600000	652	0,326	34,121	0,00163
61	610	610000	674	0,337	34,690	0,00169
62	620	620000	687	0,344	35,259	0,00172
63	630	630000	702	0,351	35,827	0,00176
64	640	640000	712	0,356	36,396	0,00178
65	650	650000	731	0,366	36,965	0,00183
66	660	660000	763	0,382	37,533	0,00191
67	670	670000	791	0,396	38,102	0,00198
68	680	680000	810	0,405	38,671	0,00203
69	690	690000	830	0,415	39,239	0,00208
70	696,1	696100	881	0,441	39,586	0,00220
71	690	690000	915	0,458	39,239	0,00229
72	680	680000	945	0,473	38,671	0,00236
73	670	670000	974	0,487	38,102	0,00244
74	660	660000	997	0,499	37,533	0,00249

Hasil analisa pada Tabel 5.17 tersebut, dapat digambarkan grafik hubungan tegangan regangan yang disajikan pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Grafik hubungan tegangan regangan SCC-1 no.3 pada umur pengujian 28 hari

Hasil grafik tegangan regangan pada Gambar 5.20 tersebut, dapat dilihat Persamaan yang didapatkan, Persamaan yang didapatkan merupakan hasil dari *polynomial* pangkat 2 dari *microsoft excel*. Analisis modulus elastisitas sebagai berikut :

$$\text{persamaan dari grafik} \rightarrow y = (-6,1698 \cdot 10^6 \cdot x^2) + (31061 \cdot x)$$

dari hasil Persamaan grafik dilakukan penurunan untuk untuk menentukan nilai x.

$$\frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow (-12,3396 \cdot 10^6 \cdot x) + (31061) = 0$$

$$x = 0,00252$$

$$\begin{aligned} \sigma \text{ maks} &= (-6,1698 \cdot 10^6 \cdot 0,00252^2) + (31061 \cdot 0,00252) \\ &= 39,093 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma 40\% &= 39,093 \cdot 40\% \\ &= 15,637 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan hasil analisa tegangan 40% dari tegangan maksimum yang dianalisis dengan menggunakan persamaan *polynomial* pangkat 2 pada Gambar 5.18, selanjutnya dapat mencari nilai modulus elastisitas dengan menggunakan Persamaan 3.26.

$$E_c = \frac{15,637}{0,00058} = 27195,180 \text{ MPa}$$

Selain hasil analisis dari data *microsoft excel* perhitungan modulus elastisitas beton dapat juga ditinjau dari hasil kuat tekan beton dengan menggunakan Persamaan 3.29.

$$f'_c = 39,093 \text{ MPa} \rightarrow \text{hasil data kuat tekan beton non SCC (BN) pada no.2}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{39,093} = 29571,255 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas merupakan sifat yang dimiliki oleh beton yang berhubungan dengan mudah tidaknya beton mengalami deformasi saat menerima beban di atasnya. Semakin besar nilai modulus elastisitas beton, maka semakin kecil regangan yang terjadi karena modulus elastisitas beton berbanding terbalik dengan nilai regangan. Nilai modulus elastisitas beton ini akan ditentukan oleh kemiringan kurva pada grafik tegangan regangan. Dimana kurva ini dipengaruhi oleh tegangan beton dan regangan beton. Semakin tegak kurva berarti beton tersebut memiliki kuat desak yang besar pula. Perhitungan E_c pada Persamaan 3.26 dan Persamaan 3.29 tersebut juga digunakan sebagai analisis pada semua benda uji. Untuk hasil selengkapnya dari analisis modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 5.18-5.21 berikut ini.

Tabel 5.18 Hasil analisis modulus elastisitas dari kuat tekan beton pada umur 7 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Kuat tekan f'_c (MPa)	Modulus elastisitas (MPa)				Keterangan
			<i>Silica fume</i>	<i>superplasticizer</i>		Unit	Empiris	Rerata unit	Rerata empiris	
1.	BN	1	0	0	21,674	22000,435	21880,825	18698,598	21417,564	Kondisi baik
		2	0	0	19,877	15396,760	20954,303			Kondisi baik
		3	0	0	-	-	-			Rusak/kropos
2.	SCC-1	1	10	0,8	33,939	23148,202	27380,963	21498,507	26890,637	Kondisi baik
		2	10	0,8	31,552	19848,812	26400,310			Kondisi baik
		3	10	0,8	-	-	-			Rusak/kropos
3.	SCC-2	1	10	1,0	28,273	21754,482	24990,956	23208,897	25169,412	Kondisi baik
		2	10	1,0	29,086	24663,312	25347,869			Kondisi baik
		3	10	1,0	-	-	-			Rusak/kropos
4.	SCC-3	1	10	1,2	35,157	24959,098	27867,698	25373,595	27366,553	Kondisi baik
		2	10	1,2	32,673	25788,091	26865,409			Kondisi baik
		3	10	1,2	-	-	-			Rusak/kropos
5.	SCC-4	1	10	1,4	26,343	24611,350	24122,964	27506,136	26664,570	Kondisi baik
		2	10	1,4	38,615	30400,922	29206,176			Kondisi baik
		3	10	1,4	-	-	-			Rusak/kropos
6.	SCC-5	1	10	1,6	20,979	24373,028	21527,426	24373,028	22823,837	Kondisi baik
		2	10	1,6	26,337	-	24120,249			Kondisi baik
		3	10	1,6	-	-	-			Rusak/kropos

Tabel 5.19 Hasil analisis modulus elastisitas dari kuat tekan beton pada umur 14 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Kuat tekan f'_c (MPa)	Modulus elastisitas (MPa)				Keterangan
			<i>Silica fume</i>	<i>superplasticizer</i>		Unit	Empiris	Rerata unit	Rerata empiris	
1.	BN	1	0	0	30,814	25636,834	26089,669	24578,118	25614,506	Silinder beton dalam kondisi baik atau tidak kerosok
		2	0	0	26,829	-	24344,448			
		3	0	0	31,573	23519,402	26409,401			
2.	SCC-1	1	10	0,8	38,863	25642,332	29299,883	24140,458	28937,682	
		2	10	0,8	37,925	22638,584	28944,243			
		3	10	0,8	36,948	-	28568,920			
3.	SCC-2	1	10	1,0	35,583	21707,981	28036,296	23646,747	27166,187	
		2	10	1,0	33,968	25585,513	27392,423			
		3	10	1,0	30,767	-	26069,842			
4.	SCC-3	1	10	1,2	30,645	-	26018,094	25853,026	27998,449	
		2	10	1,2	37,100	26299,369	28627,731			
		3	10	1,2	38,995	25853,026	29349,521			
5.	SCC-4	1	10	1,4	40,163	30918,185	29785,806	28765,469	28376,055	
		2	10	1,4	36,824	28765,469	28520,857			
		3	10	1,4	32,566	-	26821,501			
6.	SCC-5	1	10	1,6	25,229	-	23607,368	22880,187	23222,183	
		2	10	1,6	25,600	23862,477	23780,507			
		3	10	1,6	22,469	21897,897	22278,673			

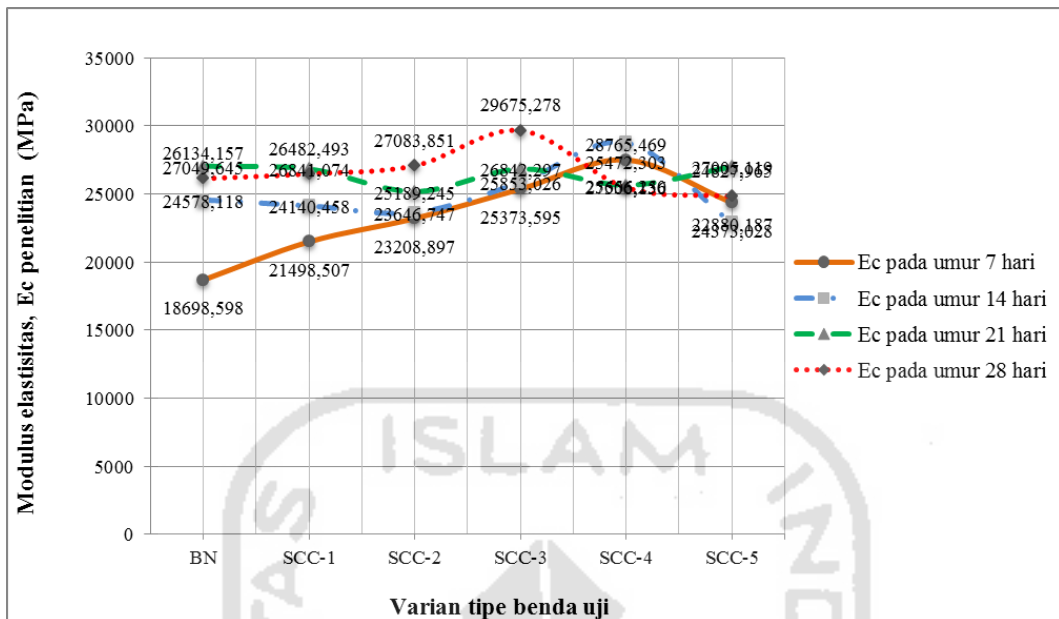
Tabel 5.20 Hasil analisis modulus elastisitas dari kuat tekan beton pada umur 21 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Kuat tekan f'_c (MPa)	Modulus elastisitas (MPa)				Keterangan
			<i>Silica fume</i>	<i>superplasticizer</i>		Unit	Empiris	Rerata unit	Rerata empiris	
1.	BN	1	0	0	25,325	-	23652,107	27049,645	27060,345	Silinder beton dalam kondisi baik atau tidak kerosok
		2	0	0	36,680	26900,015	28465,185			
		3	0	0	38,239	27199,274	29063,742			
2.	SCC-1	1	10	0,8	37,869	-	28922,674	26841,074	29409,115	
		2	10	0,8	41,145	26224,930	30147,910			
		3	10	0,8	38,484	27457,217	29156,763			
3.	SCC-2	1	10	1,0	36,024	-	28209,398	25189,245	29087,078	
		2	10	1,0	40,716	26099,161	29990,120			
		3	10	1,0	38,234	24279,328	29061,715			
4.	SCC-3	1	10	1,2	36,451	28021,024	28375,987	26842,297	30013,935	
		2	10	1,2	46,547	-	32066,058			
		3	10	1,2	39,663	25663,570	29599,760			
5.	SCC-4	1	10	1,4	39,187	-	29421,882	25656,250	28814,951	
		2	10	1,4	40,513	25516,623	29915,446			
		3	10	1,4	33,265	25795,877	27107,526			
6.	SCC-5	1	10	1,6	30,010	-	25747,306	27005,119	26019,849	
		2	10	1,6	32,913	26846,306	26963,924			
		3	10	1,6	29,087	27163,931	25348,317			

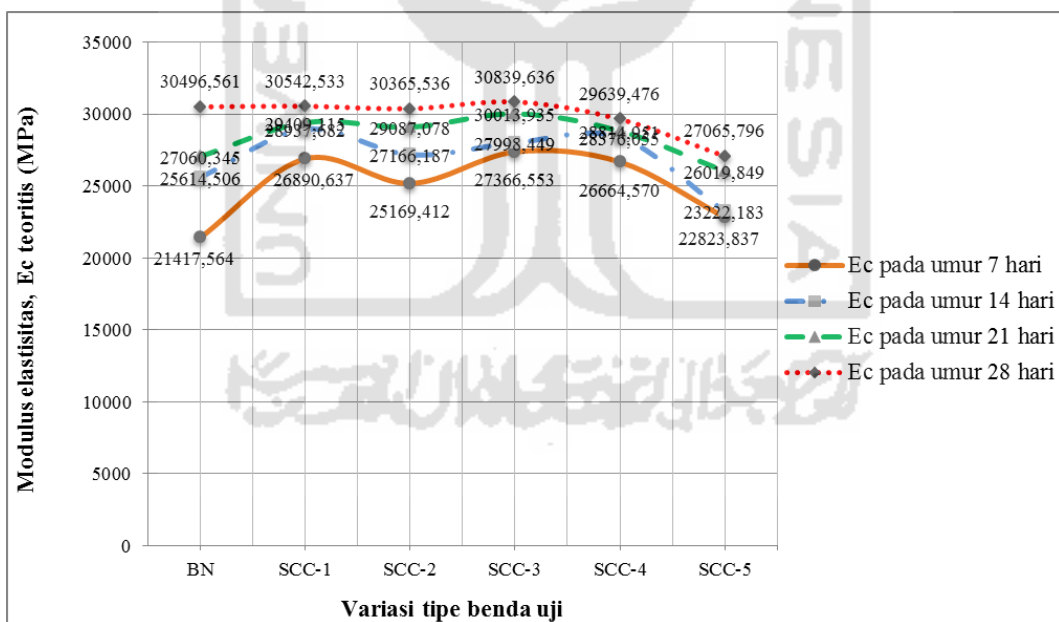
Tabel 5.21 Hasil analisis modulus elastisitas dari kuat tekan beton pada umur 28 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Kuat tekan f_c (MPa)	Modulus elastisitas (MPa)				Keterangan
			<i>Silica fume</i>	<i>superplasticizer</i>		Unit	Empiris	Rerata unit	Rerata empiris	
1.	BN	1	0	0	43,913	27494,318	31145,346	26134,157	30496,561	Silinder beton dalam kondisi baik atau tidak kropos
		2	0	0	41,334	24552,016	30216,899			
		3	0	0	41,089	26356,138	30127,437			
2.	SCC-1	1	10	0,8	42,850	25276,353	30766,033	26482,493	30542,533	
		2	10	0,8	44,322	26975,947	31290,312			
		3	10	0,8	39,586	27195,180	29571,255			
3.	SCC-2	1	10	1,0	44,167	27632,671	31235,315	27083,851	30365,536	
		2	10	1,0	43,205	26535,031	30893,424			
		3	10	1,0	37,987	-	28967,870			
4.	SCC-3	1	10	1,2	41,531	30358,820	30288,881	29675,278	30839,636	
		2	10	1,2	44,295	28991,736	31280,620			
		3	10	1,2	43,362	-	30949,406			
5.	SCC-4	1	10	1,4	41,816	21491,076	30392,542	25472,303	29639,476	
		2	10	1,4	37,756	29453,529	28879,453			
		3	10	1,4	39,788	-	29646,432			
6.	SCC-5	1	10	1,6	29,439	-	25501,044	24827,965	27065,796	
		2	10	1,6	36,868	-	28537,841			
		3	10	1,6	33,390	24827,965	27158,502			

Analisa dari Tabel 5.18-5.21 dapat digambarkan grafik komparasi hubungan modulus elastisitas beton dan variasi tipe benda uji pada hasil analisa penelitian dengan hasil analisa teoritis yang disajikan pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22.



Gambar 5.21 Komparasi grafik hubungan modulus elastisitas beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari



Gambar 5.22 Komparasi grafik hubungan modulus elastisitas beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari (empiris)

Dari Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 untuk hasil analisa modulus elastisitas beton yang memiliki nilai paling besar yaitu pada variasi tipe benda uji SCC-3

dari umur pengujian 28 hari. Nilai modulus elastisitas beton yang tinggi menandakan bahwa beton tersebut memiliki sifat kaku dan kurang elastis (*ductile*). Jika dilihat antara ke-2 Gambar tersebut, hasil dari Gambar 5.21 memiliki nilai modulus elastisitas yang tidak beraturan, hal ini disebabkan pada saat melakukan pengambilan data bisa terjadi suatu kesalahan dari tim peneliti yang membaca *dial* atau yang mencatat hasil pembacaan dan bisa dibilang *human error*, karena pada saat melakukan pengambilan data masih menggunakan cara manual yaitu dengan meninjau modulus elastisitas dari kuat tekan beton dengan pembacaan *dial*. Sedangkan hasil dari Gambar 5.22 memiliki nilai modulus elastisitas beton yang beraturan, ini disebabkan karena peninjauan hasil modulus elastisitas beton berdasarkan dengan hasil kuat tekan yang didapatkan, apabila nilai kuat tekan beton besar, maka nilai modulus elastisitas beton juga akan besar. atau sebaliknya, apabila nilai kuat tekan beton kecil, maka nilai modulus elastisitas beton juga akan kecil. Untuk hasil modulus elastisitas beton pada setiap sampel benda uji dapat dilihat pada Lampiran 1-48.

Dalam proses pengujian kuat tekan dan analisis modulus elastisitas beton (analisis tegangan regangan), maka perlu melakukan pengecekan kondisi permukaan penampang pada benda uji. apabila permukaan penampang tidak rata, maka bisa diratakan dengan memberikan belerang pada permukaan yang tidak rata tersebut yang biasa disebut dengan proses kaping. semakin rata permukaan penampang benda uji, maka semakin baik hasilnya. permukaan penampang yang rata akan menghasilkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang besar karena pada saat proses pengujian, beban yang diberikan pada benda uji akan didistribusikan atau tersebar secara merata ke seluruh permukaan penampang benda benda uji.

5.4.5 Kuat Tarik/Belah Beton

Pengujian kuat tarik/belah silinder beton pada penelitian ini yaitu menguji silinder beton sampai terbelah sehingga menghasilkan kekuatan maksimum dengan menggunakan alat mesin uji desak. Melalui pengujian ini dapat diketahui seberapa besar perkembangan kekuatan kuat tarik/belah dari variasi tipe benda uji.

Perhitungan untuk mencari kuat tarik/belah silinder beton dapat dianalisis dengan menggunakan Persamaan 3.30, salah satu contoh perhitungan kuat tarik/belah pada silinder beton dengan kode BN no. 3 pada umur pengujian 28 hari.

diameter = 150,5 mm

tinggi = 298 mm

P = 232 kN = 232000 N

$$f_{ct} = \frac{2.232000}{150,5.298} = 10,346 \text{ MPa}$$

Perhitungan tersebut juga digunakan pada analisis semua hasil pengujian silinder beton. Analisis perhitungan kuat tarik/belah untuk semua sampel benda uji beton disajikan pada Tabel 5.22 – 5.25.

Tabel 5.22 Hasil analisis kuat tarik/belah beton pada umur 7 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Beban P (N)	Kuat tarik/belah f_{ct} (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Unit	Rerata	
1.	BN	1	0	0	300,43	149,75	111000	4,934	5,543	Kondisi baik
		2	0	0	304,13	150,25	138000	6,040		Kondisi baik
		3	0	0	301,77	151,20	129000	5,655		Kondisi baik
2.	SCC-1	1	10	0,8	300,07	150,20	167000	7,411	7,087	Kondisi baik
		2	10	0,8	301,97	150,80	154000	6,764		Kondisi baik
		3	10	0,8	-	-	-	-		Rusak/kropos
3.	SCC-2	1	10	1,0	304,10	151,15	140000	6,092	6,605	Kondisi baik
		2	10	1,0	302,80	150,30	162000	7,119		Kondisi baik
		3	10	1,0	-	-	-	-		Rusak/kropos
4.	SCC-3	1	10	1,2	304,43	150,95	191000	8,313	8,131	Kondisi baik
		2	10	1,2	302,33	151,45	182000	7,950		Kondisi baik
		3	10	1,2	-	-	-	-		Rusak/kropos
5.	SCC-4	1	10	1,4	301,43	150,40	170000	7,500	7,375	Kondisi baik
		2	10	1,4	301,43	150,10	164000	7,249		Kondisi baik
		3	10	1,4	-	-	-	-		Rusak/kropos
6.	SCC-5	1	10	1,6	297,40	151,65	143000	6,341	6,599	Kondisi baik
		2	10	1,6	301,13	151,10	156000	6,857		Kondisi baik
		3	10	1,6	-	-	-	-		Rusak/kropos

Tabel 5.23 Hasil analisis kuat tarik/belah beton pada umur 14 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Beban P (N)	Kuat tarik/belah f_{ct} (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Unit	Rerata	
1.	BN	1	0	0	300,70	151,30	150100	6,598	7,163	Kondisi baik
		2	0	0	299,68	150,20	175000	7,776		Kondisi baik
		3	0	0	302,23	150,70	162000	7,114		Kondisi baik
2.	SCC-1	1	10	0,8	302,85	150,25	190000	8,351	8,554	Kondisi baik
		2	10	0,8	300,03	150,80	178000	7,868		Kondisi baik
		3	10	0,8	300,90	150,65	214000	9,442		Kondisi baik
3.	SCC-2	1	10	1,0	302,48	150,55	194000	8,520	8,291	Kondisi baik
		2	10	1,0	302,15	150,75	182000	7,991		Kondisi baik
		3	10	1,0	300,95	150,20	189000	8,362		Kondisi baik
4.	SCC-3	1	10	1,2	302,00	151,60	192000	8,387	8,632	Kondisi baik
		2	10	1,2	300,70	152,10	203000	8,877		Kondisi baik
		3	10	1,2	-	-	-	-		Rusak/kropos
5.	SCC-4	1	10	1,4	300,93	150,40	160000	7,070	8,310	Kondisi baik
		2	10	1,4	301,43	151,45	218000	9,550		Kondisi baik
		3	10	1,4	-	-	-	-		Rusak/kropos
6.	SCC-5	1	10	1,6	299,17	151,00	160000	7,084	7,034	Kondisi baik
		2	10	1,6	301,10	152,15	160000	6,985		Kondisi baik
		3	10	1,6	-	-	-	-		Rusak/kropos

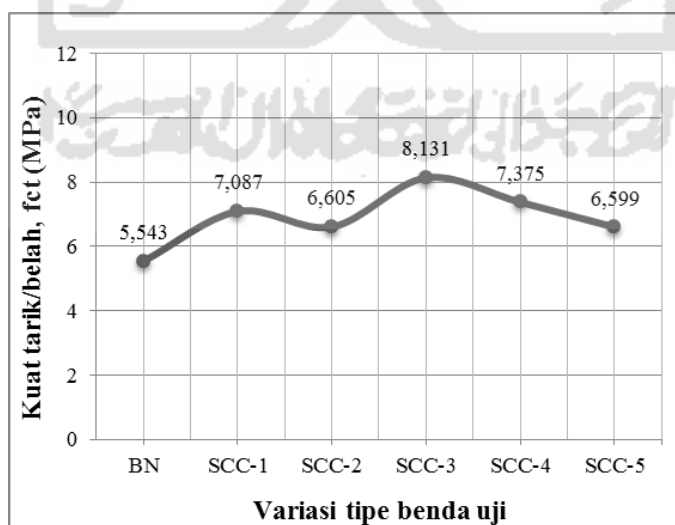
Tabel 5.24 Hasil analisis kuat tarik/belah beton pada umur 21 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Beban P (N)	Kuat tarik/belah f_{ct} (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Unit	Rerata	
1.	BN	1	0	0	302,97	150,60	210000	9,205	8,954	Kondisi baik
		2	0	0	299,30	150,50	196000	8,702		Kondisi baik
		3	0	0	-	-	-	-		Rusak/kropos
2.	SCC-1	1	10	0,8	304,47	149,65	200000	8,779	9,344	Kondisi baik
		2	10	0,8	303,40	147,45	212000	9,478		Kondisi baik
		3	10	0,8	304,73	151,05	225000	9,776		Kondisi baik
3.	SCC-2	1	10	1,0	303,17	150,25	209800	9,212	9,086	Kondisi baik
		2	10	1,0	303,00	150,90	218000	9,536		Kondisi baik
		3	10	1,0	304,77	151,15	196000	8,510		Kondisi baik
4.	SCC-3	1	10	1,2	299,00	152,50	224100	9,829	9,745	Kondisi baik
		2	10	1,2	302,00	151,50	233300	10,198		Kondisi baik
		3	10	1,2	302,67	151,49	211100	9,208		Kondisi baik
5.	SCC-4	1	10	1,4	301,25	150,50	185000	8,161	8,574	Kondisi baik
		2	10	1,4	300,00	150,50	203000	8,992		Kondisi baik
		3	10	1,4	302,00	151,50	196000	8,568		Kondisi baik
6.	SCC-5	1	10	1,6	296,00	150,00	173000	7,793	7,469	Kondisi baik
		2	10	1,6	296,75	150,50	152000	6,807		Kondisi baik
		3	10	1,6	297,17	150,00	174000	7,807		Kondisi baik

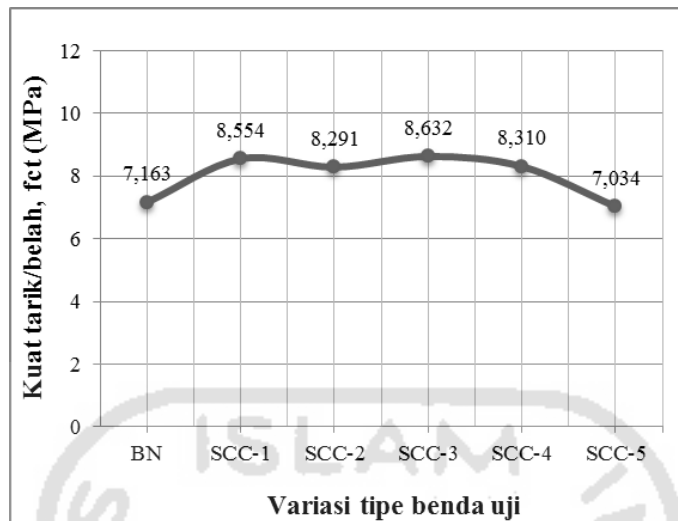
Tabel 5.25 Hasil analisis kuat tarik/belah beton pada umur 28 hari

No.	Tipe benda uji	No. Benda uji	Variasi campuran (%)		Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Beban P (N)	Kuat tarik/belah f_{ct} (MPa)		Keterangan
			Silica fume	Superplasticizer				Hasil lab.	Rerata	
1.	BN	1	0	0	293,67	151,00	186000	8,389	9,520	Kondisi baik
		2	0	0	303,33	151,00	225000	9,825		Kondisi baik
		3	0	0	298,00	150,50	232000	10,346		Kondisi baik
2.	SCC-1	1	10	0,8	306,00	150,45	213000	9,253	10,797	Kondisi baik
		2	10	0,8	303,90	149,90	281100	12,341		Kondisi baik
		3	10	0,8	-	-	-	-		Rusak/kropos
3.	SCC-2	1	10	1,0	302,57	150,70	256000	11,229	10,149	Kondisi baik
		2	10	1,0	301,27	150,05	170000	7,521		Kondisi baik
		3	10	1,0	301,77	151,30	267000	11,696		Kondisi baik
4.	SCC-3	1	10	1,2	303,00	150,40	218000	9,567	11,172	Kondisi baik
		2	10	1,2	302,83	150,75	271000	11,872		Kondisi baik
		3	10	1,2	303,20	151,85	278000	12,076		Kondisi baik
5.	SCC-4	1	10	1,4	302,67	150,20	231000	10,163	9,036	Kondisi baik
		2	10	1,4	305,27	152,15	240000	10,335		Kondisi baik
		3	10	1,4	301,43	150,55	150000	6,611		Kondisi baik
6.	SCC-5	1	10	1,6	302,2	150,6	208000	9,141	8,143	Kondisi baik
		2	10	1,6	302,8	148,8	183000	8,123		Kondisi baik
		3	10	1,6	295,2	151,3	160000	7,165		Kondisi baik

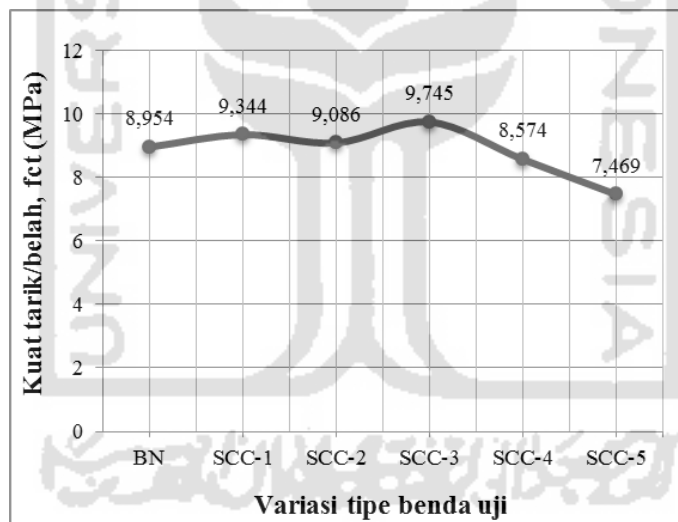
Hasil analisa pada Tabel 5.22-5.25 tersebut dapat digambarkan hubungan kuat tarik/belah beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari disajikan pada Gambar 5.23-5.26.



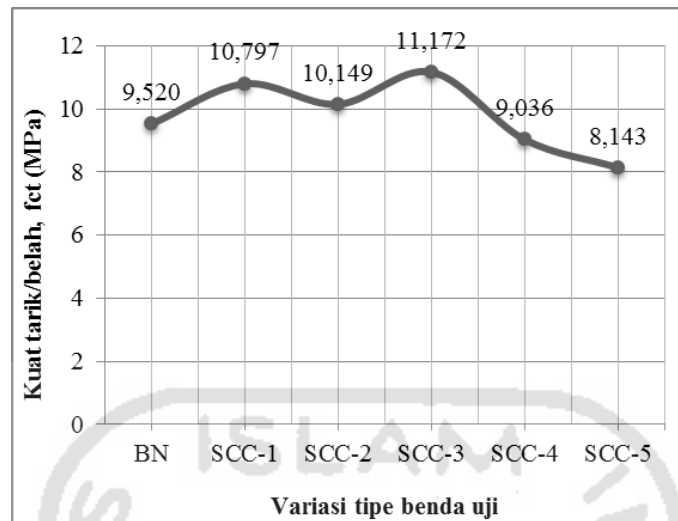
Gambar 5.23 Grafik hubungan kuat tarik/belah beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7 hari



Gambar 5.24 Grafik hubungan kuat tarik/belah beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 14 hari

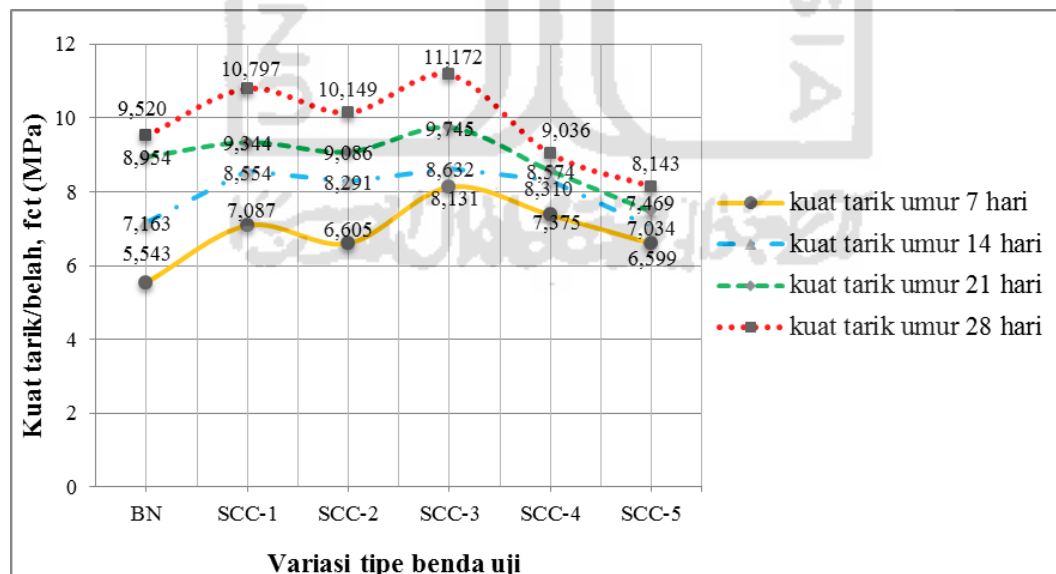


Gambar 5.25 Grafik hubungan kuat tarik/belah beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 21 hari



Gambar 5.26 Grafik hubungan kuat tarik/belah beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 21 hari

Gambar komparasi hasil hubungan kuat tarik/belah beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari dari Gambar 5.23-5.26 dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Komparasi grafik hubungan kuat tarik/belah beton dan variasi tipe benda uji pada umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari

Dari Gambar 5.27 dapat dilihat hasil analisa kuat tarik/belah beton mengalami peningkatan dengan adanya zat-tambah yaitu *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian dari semen dan zat-tambah *superplasticizer* untuk membuat kelecakan pada material campuran beton. Jika dilihat hasil analisa pada pengujian 28 hari, peningkatan terjadi pada variasi tipe benda uji SCC-1 sampai SCC-3, sedangkan variasi tipe benda uji SCC-3 dan SCC-4 mengalami hasil kuat/tarik belah yang menurun bahkan nilainya berada dibawah variasi benda uji pada beton non SCC (BN) yang diakibatkan karena zat-tambah *superplasticizer* yang berlebihan. Dari Gambar 5.27 tersebut juga dapat dilihat pada variasi benda uji non SCC (BN) hasil perkembangan kekuatan kuat tarik/belah dari umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari mengalami kenaikan kekuatan yang signifikan dengan rerata persentase kenaikan sekitar 16,188%. dan jika dibandingkan dengan variasi tipe benda uji SCC-5, maka pada variasi tersebut perkembangan kekuatan kuat tarik/belah mengalami perlambatan dengan persentase kenaikan sekitar 6,676%. Untuk lebih jelasnya bentuk perbedaan benda uji yang tidak berpori dan benda uji yang berpori dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Perbedaan beton padat dengan beton yang berpori

Dari Gambar 5.28 dapat dilihat pada beton yang di sebelah kiri merupakan beton yang padat dan tidak berpori, karena terlihat pada beton tersebut tidak ada air yang masuk ke dalamnya, sedangkan beton yang disebelah kanan merupakan beton yang berpori karena dapat dilihat adanya air di dalam beton. Adanya pori-pori didalam beton akan mengurangi kekuatan beton itu sendiri dalam menahan beban yang bekerja di atasnya, baik dalam melakukan pengujian kuat tekan beton maupun pengujian kuat tarik/belah beton. Pada penelitian ini, *silica fume* yang digunakan pada campuran SCC ternyata juga berfungsi sebagai *filler* dan perekat yang baik sehingga mampu menahan kuat tarik/belah yang lebih baik dari beton non SCC (BN). Hanya saja fungsi *silica fume* sebagai *filler* tidak berpengaruh terhadap variasi tipe benda uji SCC-4 dan SCC-5, hal ini disebabkan karena pada variasi tersebut memiliki bentuk campuran material yang lebih encer jika dibandingkan dengan variasi tipe benda uji non SCC (BN) dan SCC-1 sampai SCC-3. Campuran material beton yang encer bisa mengakibatkan terjadinya *bleeding* dan *segregasi*.