

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil pembuatan benda uji berupa beton ringan silinder dengan tambahan serat kaleng minuman yang ada di pasaran dan hasil pengujian beton ringan silinder dengan tambahan serat kaleng yang terdiri dari kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

4.1 Kaleng Minuman

1. Karakteristik Kaleng

Jenis Kaleng : Botol kaleng minuman yang ada di pasaran
 Material : Alumunium
 Dimensi Serat Kaleng : 2 mm x 40 mm

2. Berat Isi Kaleng

Kaleng yang digunakan dalam penelitian ini dipotong dengan pajang kaleng sepanjang 40 mm dan lebar 2 mm dan tanpa *interlocking*. Sedangkan variasi fraksi serat kaleng yang dicampurkan ke dalam adukan mortar adalah 10% ; 15% dan 20% dari volume silinder. Agar mudah dalam pengerjaannya, perhitungan presentase terhadap volume beton dikonversi ke dalam satuan berat (gram). Hasil pemeriksaan berat isi kaleng dijelaskan pada tabel 4.1.

Data pemeriksaan berat isi kaleng :

1. Berat cawan : 3,2 gr
2. Berat cawan + air : 221,2 gr
3. Berat jenis air : 1 gr/cm³
4. Volume silinder : 5298,75 m³

Tabel 4.1
Hasil Pemeriksaan Berat Isi Serat Kaleng

No	Berat Fiber		Volume Air (cm ³)	Berat isi fiber	
	<i>Loose</i> (gr)	<i>Dense</i> (gr)		<i>Loose</i> (gr/cm ³)	<i>Dense</i> (gr/cm ³)
1	17.2	26.4	218	0.0789	0.1211
2	18	26.4	218	0.0826	0.1211

3	20.6	22	218	0.0945	0.1009
4	18.2	23.2	218	0.0835	0.1064
5	17	28.4	218	0.0780	0.1303
6	16.4	23	218	0.0752	0.1055
7	16.6	24.2	218	0.0761	0.1110
8	17.6	24.4	218	0.0807	0.1119
9	17.6	26.8	218	0.0807	0.1229
10	17	27.6	218	0.0780	0.1266
11	16	25.6	218	0.0734	0.1174
12	14.8	25.2	218	0.0679	0.1156
13	15.8	24.4	218	0.0725	0.1119
14	18	24.2	218	0.0826	0.1110
15	15.8	26.4	218	0.0725	0.1211
16	15.8	24.8	218	0.0725	0.1138
17	16	25.6	218	0.0734	0.1174
18	15.8	25.4	218	0.0725	0.1165
19	15.8	25.4	218	0.0725	0.1165
20	16.4	25.8	218	0.0752	0.1183
21	16.4	26.2	218	0.0752	0.1202
22	15.8	25	218	0.0725	0.1147
23	16.4	28.8	218	0.0752	0.1321
24	16.2	26.8	218	0.0743	0.1229
25	16.4	27	218	0.0752	0.1239
26	16	29.2	218	0.0734	0.1339
27	17.8	24.4	218	0.0817	0.1119
28	16.6	27.8	218	0.0761	0.1275
29	15.2	26.4	218	0.0697	0.1211
30	16	24.4	218	0.0734	0.1119
Nilai Rata-Rata				0.0763	0.1179
Nilai Max				0.0945	0.1339
Nilai Min				0.0679	0.1009

Sumber : Hasil Penelitian

Berat isi air = 1 gr/cm³

a. Perhitungan Berat Isi untuk Cawan A

$$\begin{aligned} \text{Volume Air} &= \frac{\text{berat air}}{\text{berat isi air}} \\ &= \frac{218 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3} \\ &= 218 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi kaleng} &= \frac{\text{berat fiber}}{\text{volume air}} \\ &= \frac{18 \text{ gr}}{218 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

$$= 0,0789 \text{ gr/cm}^3$$

Dari hasil perhitungan berat jenis kaleng di atas, berat isi kaleng dirata-rata pada tabel 4.1 dan diperoleh berat isi kaleng sebesar $0,0763 \text{ gr/cm}^3$ untuk *loose* dan $0,1179 \text{ gr/cm}^3$ untuk *dense*.

Setelah mengetahui nilai berat jenis kaleng, maka selanjutnya menghitung berat serat kaleng yang dibutuhkan untuk setiap fraksi 10%; 15% dan 20% pada masing-masing benda uji. Diketahui bahwa tinggi silinder adalah 30 cm sedangkan diameternya adalah 15 cm, sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{silinder}} &= \pi r^2 t \\ &= \left(\frac{22}{7}\right)(7.5)^2(30) \\ &= 5298.75 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Berat kaleng yang dibutuhkan untuk satu benda uji dengan variasi fraksi 10% adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{kawat}} &= 10\% \text{fraksi} \times V_{\text{silinder}} \times \text{Berat isi}_{\text{serat kaleng}} \\ &= 10\% \times 5298,75 \text{ cm}^3 \times 0,0763 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 40,445 \text{ gr} \end{aligned}$$

Berat tersebut hanya untuk satu benda uji, dalam pelaksanaannya, peneliti membuat enam buah benda uji dalam sekali pengecoran agar benda uji memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda. Sehingga untuk sekali pengecoran dibutuhkan sekitar:

$$\begin{aligned} W_{\text{kawat}} &= 40,445 \text{ gr} \times 6 \\ &= 242,673 \text{ gr} \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya mengenai kebutuhan presentase fraksi serat kaleng dan berat serat kaleng yang ditambahkan pada benda uji dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2
Kebutuhan Berat Serat Kaleng

Fraksi kaleng	W_{kawat} (gram)	
	1 benda uji	6 benda uji
10 %	40,445	242,445
15 %	60,668	364,009
20 %	80,891	485,346

Sumber : Hasil Penelitian

4.2 Perencanaan *Mix Design*

Perencanaan *mix design* yang digunakan dalam percobaan ini merupakan perbandingan berat komposisi semen : pasir : batu pecah 25% : batu apung 75%. Pembuatan benda uji bertujuan untuk mempersiapkan benda uji untuk pengujian kuat tarik belah, kuat tekan dan modulus elastisitas. cetakan yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perencanaan *mix design* pada penelitian ini dilakukan dengan berpedoman pada SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Berdasarkan hasil perencanaan *mix design* yang telah dilakukan (lampiran 11) dengan perbandingan antara semen, air, pasir, batu pecah dan batu apung adalah 1 : 2 : 3. Hasil perhitungan *mix design* dijelaskan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3

Jumlah Bahan Penyusun Beton

Variasi/Tipe Beton	Jumlah Benda Uji	Rasio (1 : 2 : 3) setelah ditambah 20%					Berat Serat Kaleng Sesuai Tabel 4.1 ditambah 20% (gr)
		Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	<i>Pumice</i> (kg)	
Berat Komposisi 1 Silinder		3.02	1.51	4.53	4.53	0.36	-
Normal							
<i>Pumice</i> 25%	6	18.13	9.07	27.20	27.20	2.13	-
Beton Fiber 10%	6	18.13	9.07	27.20	27.20	2.13	0.29
Beton Fiber 15%	6	18.13	9.07	27.20	27.20	2.13	0.44
Beton Fiber 20%	6	18.13	9.07	27.20	27.20	2.13	0.58
Total	24	72.52	36.26	108.79	108.79	8.54	1.31

Sumber: Hasil Perhitungan

Campuran balok menggunakan nilai FAS sebesar 0,5 dari berat semen. Faktor air semen didapatkan dari ketentuan yang berlaku pada SNI 03-3449-2002.

4.3 Hasil Pengujian Benda Uji

4.3.1 Berat Isi Beton

Berat isi beton merupakan perbandingan berat beton (W_c) dengan volume beton silinder (V_c). Diketahui bahwa volume beton silinder (V_c) adalah sebesar 0.00529 m³.

$$\text{Berat isi} = \frac{W_c}{V_c} \dots\dots\dots (4 - 1)$$

dimana :

$$W_c = \text{Berat beton (kg)}$$

$$V_c = \text{Volume beton (m}^3\text{)}$$

Contoh perhitungan :

Diketahui :

- Menghitung Berat isi benda uji D.N.P.4
- Berat beton (m_c) = 12.25 kg
- Dimensi silinder: H (tinggi) = 30 cm = 0.30 m
D (diameter) = 15 cm = 0.15 m
- Volume silinder = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times L$
= $\frac{1}{4} \times \pi \times 0.15^2 \times 0.3$
= 0.0053 m³

$$\text{Maka, } W_c = \frac{12,25}{0,0053} = 2309.58 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan berat isi beton dilakukan pada semua benda uji dan dapat dilihat hasil lebih lengkapnya pada lampiran 5. Rekap hasil uji berat isi beton dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4
Berat Isi Rata-rata Beton

No	Jenis Benda Uji Beton silinder	Berat Beton Rata-rata (kg)	Berat Isi Beton Rata-rata (kg/m ³)
1	Beton Normal <i>Pumice</i>	11.88	2240.45
2	Variasi fraksi kaleng 10 %	11.93	2248.3
3	Variasi fraksi kaleng 15 %	11.58	2183.88
4	Variasi fraksi kaleng 20 %	11.75	2215.3

Sumber : Hasil Pengujian

Sesuai dengan SNI 03-2834-2000 bahwa berat isi beton pada umumnya berkisar antara 2200 – 2500 kg/m³. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berat isi benda uji beton normal pumice, beton variasi fraksi kaleng 10% dan beton variasi fraksi kaleng 20% pada penelitian ini telah memenuhi syarat yang ditetapkan. Perbandingan berat isi beton dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perbandingan berat isi beton

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan gambar 4.1 perbandingan berat isi beton, berat isi beton *pumice* fraksi *fiber* 10% lebih tinggi dibandingkan beton normal dan beton dengan fraksi yang lain. Nilai berat isi yang tidak konsisten ini terjadi dikarenakan *workability* beton yang ditambahkan berserat memang lebih rendah sehingga bisa terjadi kesalahan ketika pemadatan mortar saat dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Selain itu, kesalahan pada saat pemadatan mortar dimasukkan ke dalam cetakan silinder juga menjadi alasan menurunnya berat isi beton. Pemukulan pada bekisting silinder bertujuan untuk mengurangi pori-pori yang ada pada beton. Namun karena terjadi kesalahan seperti yang telah dijelaskan tersebut, hal ini menimbulkan banyaknya pori-pori kecil pada benda uji, yang berakibat berat beton juga berkurang. Pori – pori pada benda uji beton dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pori-pori pada benda uji beton

Sumber : Dokumentasi Penelitian

4.3.2 Uji Slump

Nilai uji *slump* menentukan tingkat kelecakan (*workability*) dari beton. Untuk mencapai mutu beton $f'c = 17$ Mpa, tentunya kelecakan adonan beton perlu diperhatikan. Nilai *slump* tidak boleh di bawah batas ataupun di atas batas syarat yang telah ditentukan. Setiap pembuatan benda uji, nilai *slump* harus diperiksa dan dikontrol yang dilakukan maksimal 3 menit setelah pengadukan serta harus dipastikan dalam setiap pembuatannya, benda uji memiliki nilai *slump* yang konstan atau tidak memiliki selisih yang jauh. Berikut pada tabel 4.5 akan dipaparkan nilai *slump* untuk setiap benda uji.

Tabel 4.5
Nilai Uji *Slump* Beton Silinder (Data Asli)

Tipe Beton		Kode Beton	Nilai Slump Normal (cm)	Nilai Slump Normal + Pumice (cm)	Nilai Slump Normal + Pumice + Fiber (cm)
Normal	Kuat Tarik	D.N.P.1	26	24.5	-
	Belah	D.N.P.2	26	24.5	-
		D.N.P.3	26	24.5	-
	Kuat Tekan	D.N.P.4	26	24.5	-
	dan Modulus	D.N.P.5	26	24.5	-
	Elastisitas	D.N.P.6	26	24.5	-
Variasi Fraksi Serat 10 %	Kuat Tarik	D. P. 10%. 1	27	27	24.5
		D. P. 10%. 2	27	27	24.5
	Belah	D. P. 10%. 3	27	27	24.5
		D. P. 10%. 4	27	27	24.5
	Kuat Tekan dan Modulus	D. P. 10%. 5	27	27	24.5
		D. P. 10%. 6	27	27	24.5
Variasi Fraksi Serat 15 %	Kuat Tarik	D. P. 15%. 1	25	22	12
		D. P. 15%. 2	25	22	12
	Belah	D. P. 15%. 3	25	22	12
		D. P. 15%. 4	25	22	12
	Kuat Tekan dan Modulus	D. P. 15%. 5	25	22	12
		D. P. 15%. 6	25	22	12
Variasi Fraksi Serat 20 %	Kuat Tarik	D. P. 20%. 1	24	23	8
	Belah	D. P. 20%. 2	24	23	8

Serat 20 %		D. P. 20%. 3	24	23	8
		D. P. 20%. 4	24	23	8
	Kuat Tekan	D. P. 20%. 5	24	23	8
	dan Modulus	D. P. 20%. 6	24	23	8
	Elastisitas	D. P. 20%. 7	24	23	8

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil uji *slump* pada tabel di atas, diperoleh nilai *slump* rata-rata sebesar 17,25 cm dengan nilai terkecil 8 cm dan nilai terbesar 24,5 cm. Nilai *slump* tertinggi pada fraksi 10% dengan nilai 24,5 cm. Sedangkan nilai *slump* terkecil terdapat pada beton *pumice* variasi fraksi 20% dengan nilai rata – rata 8 cm.

Nilai *slump* yang tidak konsisten seiring dengan meningkatnya fraksi dikarenakan pada saat pelaksanaan pengujian, terjadi beberapa kesalahan yaitu kurang cepatnya mengangkat cetakan kerucut dan kerucut diangkat dalam keadaan tidak tegak lurus. Selain itu, dalam beberapa kali pengecoran terkadang mortar dibiarkan terlalu lama (lebih dari 3 menit). Namun, sesuai dengan syarat yang telah dijelaskan pada Bab 3 mengenai Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 mengenai “nilai-nilai *slump* untuk berbagai pekerjaan beton” bahwa syarat yang ditetapkan untuk pekerjaan beton pelat, balok, kolom dan dinding adalah 7.5 cm – 15 cm. Sehingga dapat dinyatakan bahwa nilai uji *slump* untuk benda uji variasi fraksi 15% dan untuk benda uji variasi fraksi 20% memenuhi syarat yang ditetapkan. Untuk lebih jelasnya uji *slump* dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Uji *slump*

Sumber : Dokumentasi Penelitian

4.3.3 Uji Kuat Tarik Belah

Benda uji kuat tarik belah ini berupa beton silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm yang berumur 28 hari. Benda uji diletakkan pada posisi horizontal di antara dua

pelat landasan mesin uji tekan. Apabila beban diberikan sepanjang sumbu, maka elemen pada diameter vertikal akan mengalami tegangan tekan vertikal dan tegangan tarik horizontal. Perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$f_t = \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D} \dots\dots\dots(4-2)$$

dimana :

f_t = Kuat tarik belah beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Tinggi silinder beton (mm)

D = Diameter benda ujii silinder (mm)

Contoh perhitungan :

Misal menghitung nilai kuat tarik belah D.N.P.2

Diketahui: P = 124000 N

L = 300 mm

D = 150 mm

$$f_t = \frac{2 \times 124000}{\pi \times 300 \times 150} = 1.754 \text{ MPa}$$

Hasil pengujian kuat tarik belah dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.6

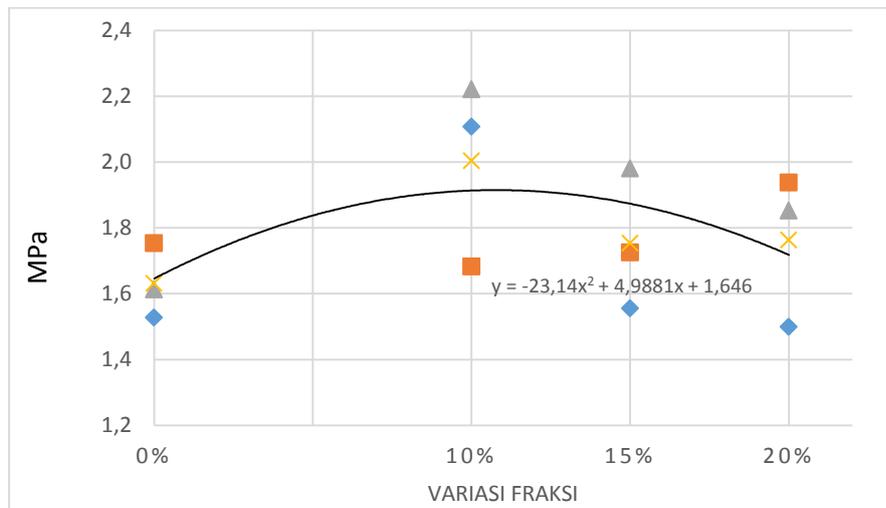
Tabel 4.6

Hasil Pengujian Uji Kuat Tarik Belah (Data Asli)

No	Kode Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Tarik Belah rata – rata (Mpa)
1	D.N.P.1	108000	1.527	
2	Normal D.N.P.2	124000	1.754	1.631
3	D.N.P.3	114000	1.612	
4	Fraksi D.P.10%.1	149000	2.107	
5	10 % D.P.10%.2	119000	1.683	2.003
6	D.P.10%.3	157000	2.220	
7	Fraksi D.P.15%.1	110000	1.556	
8	15 % D.P.15%.2	122000	1.725	1.754
9	D.P.15%.3	140000	1.980	
10	Fraksi D.P.20%.1	106000	1.499	
11	20 % D.P.20%.2	137000	1.937	1.763
12	D.P.20%.3	131000	1.853	

Sumber : Hasil Penelitian

Hubungan variasi fraksi serat dengan kuat tarik belah beton serat dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik hubungan variasi fraksi serat dengan kuat tarik belah beton serat

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan perbandingan hasil pengujian pada tabel dan grafik kuat tarik belah, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kuat tarik belah pada fraksi 10%, 15% dan 20% jika dibandingkan dengan beton normal *pumice*. Pada grafik hubungan variasi fraksi serat dengan kuat tarik belah beton serat dapat disimpulkan bahwa fraksi 10% merupakan variasi serat kaleng yang optimum untuk mencapai nilai kuat tarik yang maksimum. Hal ini dikarenakan kaleng memiliki tekstur licin sehingga kaleng tidak homogen terhadap campuran beton. Karena tidak homogen, kaleng tidak bekerja dengan baik dan memberikan pengaruh yang sedikit bahkan tidak memberikan pengaruh terhadap kuat tarik beton. Dapat dilihat pada gambar 4.5 ketika beton telah diuji kuat tarik belah maka yang terlihat adalah ujung kaleng yang tidak putus, artinya kaleng tidak mengikat campuran mortar dengan baik saat pengecoran sampai beton berumur 28 hari karena pengaruh lapisan pada kaleng yang memiliki tekstur permukaan licin. Selain itu saat pekerjaan pengecoran, penyebaran kaleng juga tidak beraturan (*random*) sehingga kaleng tidak bekerja maksimal saat diberi gaya tekan. Dokumentasi kondisi ujung serat kaleng setelah di uji tarik belah dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Ujung serat kaleng terlihat masih utuh setelah diuji kuat tarik belah
Sumber : Hasil Penelitian

Di lihat dari model kehancuran beton, pada beton normal *pumice* hancurnya benda uji terjadi secara tiba-tiba dan disertai bunyi letusan. Benda uji pecah terbelah dua dalam arah diameternya di mana beban P bekerja. Sedangkan untuk beton yang ditambah serat kaleng, hancurnya benda uji diawali dengan retak-retak terlebih dahulu. Begitu jarum penunjuk gaya pada alat uji berhenti (berbalik) yang menandakan gaya sudah mencapai maksimum, benda uji masih menyatu dan tidak ada bunyi letusan. Model kehancuran beton setelah pengujian tarik belah dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Model kehancuran tarik belah beton normal dan beton serat fraksi 10%
Sumber : Hasil Penelitian

4.3.4 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beton dapat dikatakan sebagai kemampuan silinder beton menahan beban tekan maksimum. Sama halnya dengan uji kuat tarik belah, beton yang diuji berupa beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta telah berumur 28 hari.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4 - 3)$$

dimana :

f_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang silinder (mm^2) = 0,25

Contoh perhitungan:

Misal menghitung nilai kuat tekan D.N.P.4

Diketahui: $P = 192000 \text{ N}$

$$A = 0.25 \times \pi \times (150)^2 = 17678.57 \text{ mm}^2$$

$$f_c = \frac{192000}{17678.57} = 10.861 \text{ MPa}$$

Berikut hasil uji kuat tekan beton untuk semua variasi benda uji yang dapat dilihat pada tabel 4.7

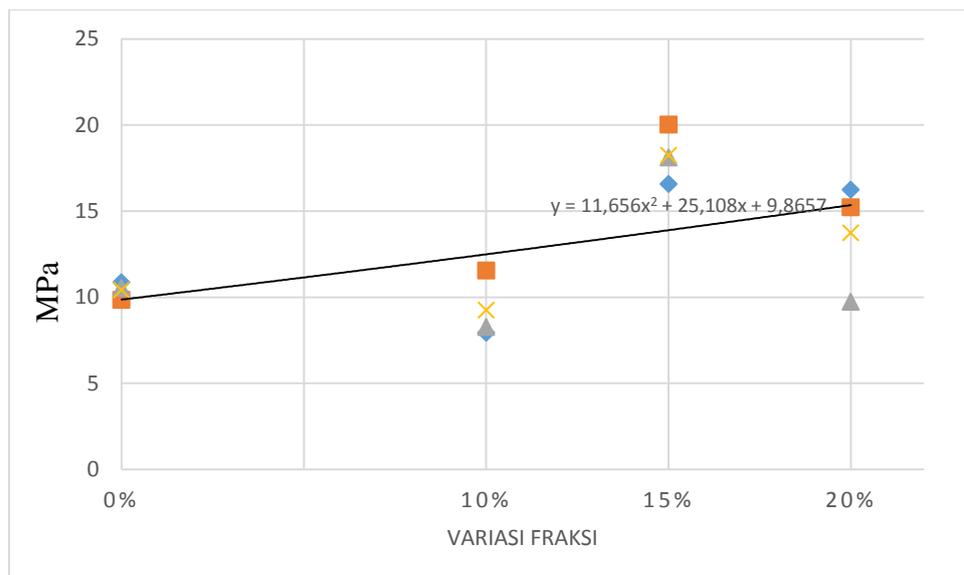
Tabel 4.7

Hasil Pengujian Uji Kuat Tekan (Data Asli)

No	Kode Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)	
1	D.N.P.4	192000	10.861		
2	Normal	D.N.P.5	174000	10.4	
3		D.N.P.6	186000		
4		D.P.10%.4	140000		7.919
5	Fraksi 10 %	D.P.10%.5	204000	9.24	
6		D.P.10%.6	146000		8.259
7		D.P.15%.4	293000		16.574
8	Fraksi 15 %	D.P.15%.5	354000	18.23	
9		D.P.15%.6	320000		18.101
10		D.P.20%.4	287000		16.234
11	Fraksi 20 %	D.P.20%.5	269000	13.73	
12		D.P.20%.6	172000		9.729

Sumber: Hasil Penelitian

Hubungan kuat tekan dengan variasi fraksi dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi fraksi
Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan perbandingan hasil pengujian kuat tekan pada tabel 4.6 dan grafik 4.3 mengenai hubungan kuat tekan dengan variasi fraksi serat kaleng dapat disimpulkan bahwa fraksi 15% merupakan variasi fraksi serat kaleng yang dapat mencapai nilai optimum pada uji kuat tekan. Dari tabel 4.6 dapat diketahui peningkatan nilai kuat tekan beton normal ke beton yang ditambahkan serat sebesar 15% dari berat beton silinder mempunyai nilai 75%.

Kuat tekan beton pada beton sangat tergantung pada mutu beton, mutu beton yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang baik pula. Mutu beton dapat dilihat dari nilai slump beton tersebut, semakin tinggi nilai slump maka kelecakan beton akan semakin tinggi yang membuat beton semakin mudah dikerjakan tetapi hal tersebut akan membuat mutu beton semakin turun. Hubungan antara kuat tekan dan slump dapat dilihat pada gambar 4.8.

Berikut tabel 4.8 yang menunjukkan hasil pengujian kuat tekan dan nilai *slump* benda uji.

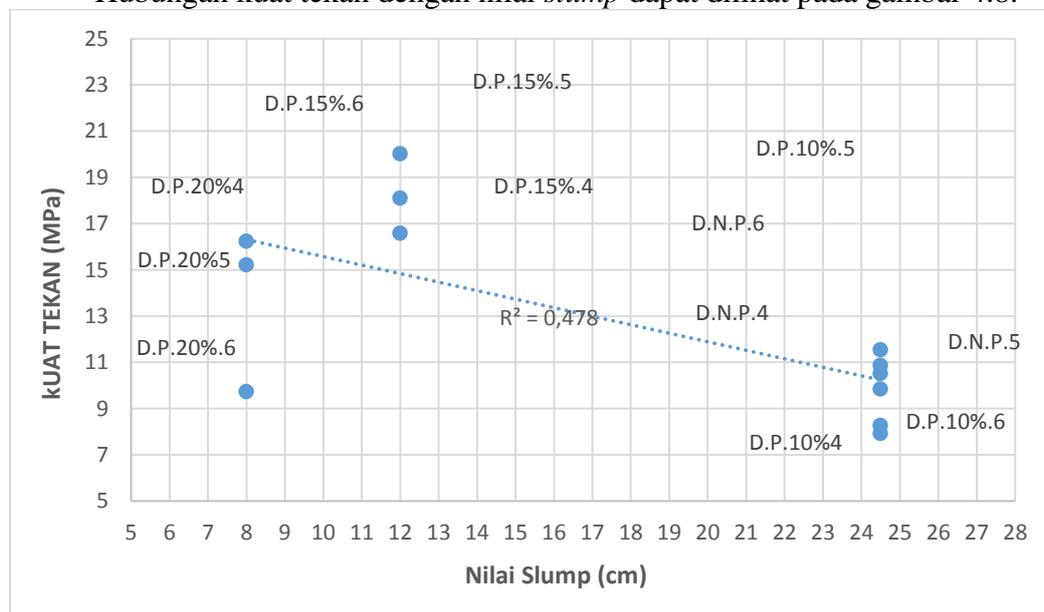
Tabel 4.8
Hasil Pengujian Uji Kuat Tekan dan Nilai *Slump*

No	Kode Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
1	D.N.P.4	192000	24.5	10.861	10.4
2	D.N.P.5	174000	24.5	9.842	

No	Kode Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)	
3	D.N.P.6	186000	24.5	10.521		
4	Fraksi 10 %	D.P.10%.4	24.5	7.919	9.24	
5		D.P.10%.5	204000	11.539		
6		D.P.10%.6	146000	24.5		8.259
7	Fraksi 15 %	D.P.15%.4	12	16.574	18.23	
8		D.P.15%.5	354000	12		20.024
9		D.P.15%.6	320000	12		18.101
10		D.P.20%.4	8	16.234		
11	Fraksi 20 %	D.P.20%.5	8	15.216	13.73	
12		D.P.20%.6	172000	8		9.729

Sumber: Hasil Penelitian

Hubungan kuat tekan dengan nilai *slump* dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hubungan kuat tekan dengan nilai *slump*

Sumber : hasil penelitian

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara kuat tekan dengan nilai *slump*. Seiring dengan meningkatnya nilai *slump* maka dapat dipastikan *workability* (keleccakan) beton semakin tinggi sehingga mengakibatkan mutu beton menurun. Akan tetapi pada penelitian

kali ini telah terjadi beberapa kesalahan pada saat pengecoran sehingga nilai *slump* tidak berpengaruh besar terhadap kuat tekan beton. Hal ini dapat dilihat pada grafik diatas terjadi penurunan nilai kuat tekan beton pada beton *pumice* fraksi 20%.

Apabila dilihat dari model kehancuran beton, pecahnya benda uji beton normal terjadi secara tiba-tiba tidak diawali tanda-tanda akan hancur. Benda uji pecah dengan diiringi bunyi retak yang keras dan hancur berkeping-keping. Hal itu sangat berbeda dengan model kehancuran beton yang diberi tambahan serat kaleng. Sebelum mencapai gaya maksimum atau sebelum hancur benda uji mengalami retak-retak terlebih dahulu (disertai dengan bunyi retakan) tapi tidak ada bunyi retak yang keras. Benda uji tidak hancur (berkeping-keping), tapi hanya retak-retak dan kondisinya masih menyatu. Hal ini bisa disimpulkan bahwa penambahan serat kaleng bekas kemasan selain mampu meningkatkan kuat tekan beton juga mengakibatkan mekanisme kehancuran tekan beton bersifat *ductile*. Model kehancuran setelah uji tekan dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Model kehancuran kuat tekan beton normal *pumice* dan beton serat fraksi 20%
Sumber : Hasil Penelitian

Apabila dilihat dari hubungan gaya tekan dan defleksi antara beton normal *pumice* dengan beton serat kaleng untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Nilai kekakuan pada suatu struktur beton merupakan bagian yang penting dan perlu diperhatikan. Nilai kekakuan struktur diambil dari sudut kemiringan hubungan antara beban dan defleksi.

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(4 -$$

4)

dimana :

k = kekakuan struktur (kN/mm)

P = beban maksimum (N)

Δ = defleksi (mm)

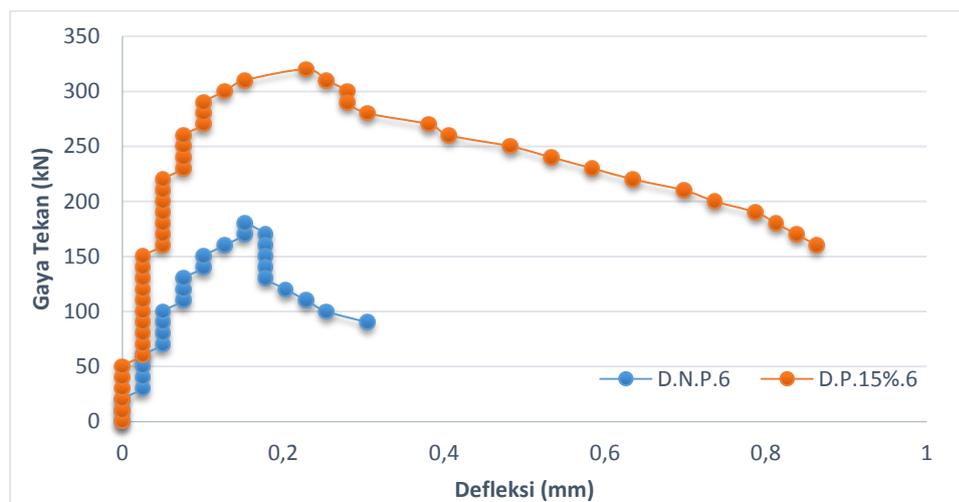
Berikut tabel 4.9 yang menunjukkan hasil perhitungan kekauan benda uji.

Tabel 4.9
kekauan benda uji rata - rata

No	Kode Benda Uji	Gaya Tekan Maksimum (N)	75% Gaya Tekan Maksimum (kN)	Rata - Rata 75% Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi (mm)	Rata - Rata Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)
						Pada saat P Maks		
1	D.N.P.4	192000	144		0.18			
2	Normal	D.N.P.5	174000	130.5	138	0.1016	0.144667	953.92
3		D.N.P.6	186000	139.5		0.1524		
4		D.P.10%.4	140000	105		0.1524		
5	Fraksi 10 %	D.P.10%.5	204000	153	122.5	0.1016	0.143933	851.09
6		D.P.10%.6	146000	109.5		0.1778		
7		D.P.15%.4	293000	219.75		0.3556		
8	Fraksi 15%	D.P.15%.5	354000	265.5	241.75	0.3302	0.304800	793.14
9		D.P.15%.6	320000	240		0.2286		
10		D.P.20%.4	287000	215.25		0.3048		
11	Fraksi 20 %	D.P.20%.5	269000	201.75	182	0.254	0.304800	597.11
12		D.P.20%.6	172000	129		0.3556		

Sumber : Hasil Penelitian

Dapat dilihat pada tabel 4.9 data kekakuan didapat dari rata – rata gabungan gaya tekan dan defleksi. Sehingga dapat disimpulkan penambahan variasi serat kaleng pada beton *pumice* mengurangi nilai kekakuan, semakin tinggi persentasi serat kaleng yang ditambahkan maka semakin berkurang nilai kekakuan beton tersebut. Berikut adalah perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi beton normal *pumice* dengan beton variasi fraksi kaleng 15%. Dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi beton normal *pumice* dengan beton variasi fraksi kaleng 15%.

Sumber : hasil penelitian

Dapat dilihat pada grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi beton normal *pumice* dengan beton variasi fraksi kaleng 15%. terjadi peningkatan nilai kekakuan pada beton yang diberikan fiber sebanyak 15% dari volume beton dibandingkan dengan beton normal *pumice*. Apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan pada kekakuan beton D.P.15%.6 sebesar 14% dari nilai kekakuan beton normal *pumice*.

4.3.5 Uji Modulus Elastisitas (*Extensometer*)

Uji modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan uji kuat tekan dengan tambahan alat pembaca regangan yang disebut *extensometer*. Perubahan yang terjadi pada *dial* dibaca seiring dengan bertambahnya beban hingga benda uji mengalami keruntuhan yang artinya benda uji tidak mampu lagi menahan beban tekan yang diberikan dan saat itulah pembacaan *dial* pada *extensometer* dihentikan.

Modulus Elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Beberapa faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas adalah kelembaban udara dan agregat penyusun beton. Dalam menghitung modulus elastisitas, peneliti mengacu pada empat jenis perhitungan modulus elastisitas, antara lain sebagai berikut :

1. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan rumus Eurocode 2 (1992) atau Wang dan Salmon

Menurut Wang dan Salmon digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai beton sebagai berikut :

$$E_c = \frac{0.4 \times f_{max}}{\varepsilon} \dots\dots\dots(4 - 5)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

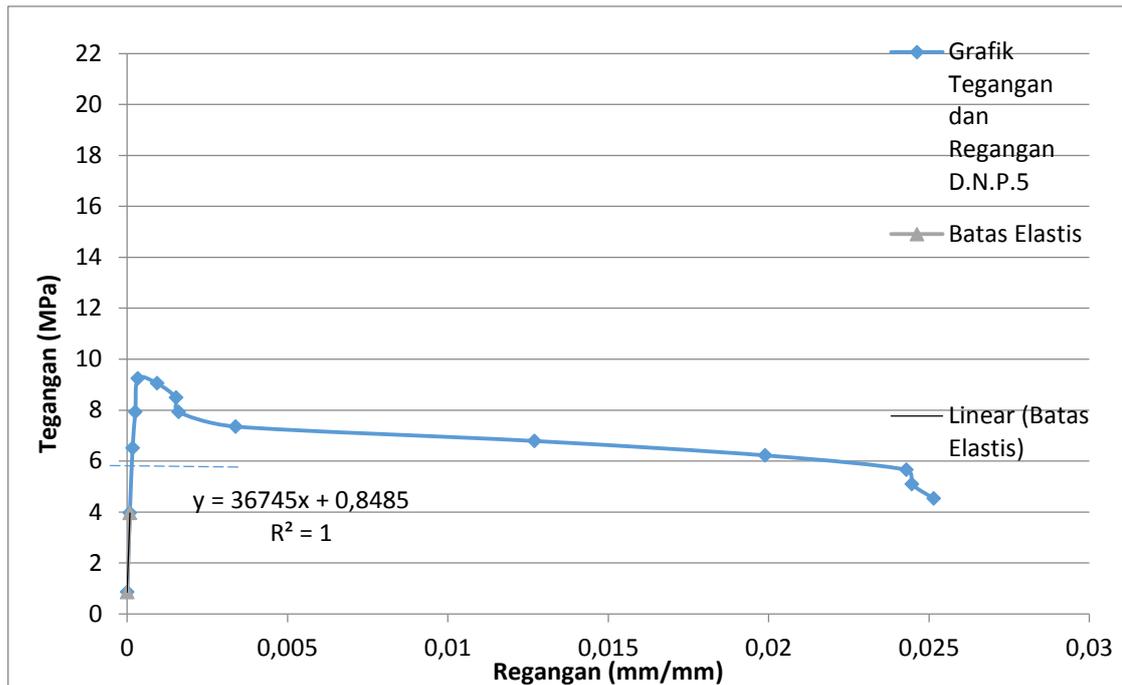
f_{max} = Tegangan beton maksimum (MPa)

ε = Regangan beton

Contoh perhitungan :

- Misal menghitung nilai modulus elastisitas pada benda uji D.N.P.5
- Lihat data pembacaan *extensometer* terdapat pada lampiran
- Plot grafik hasil pembacaan data *extensometer* pada gambar 4.11

Dapat dilihat hubungan tegangan dan regangan D.N.P.5 (Beton Normal *pumice*) terdapat pda gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik hubungan tegangan dan regangan D.N.P.5 (Beton Normal pumice)

Sumber: Hasil Penelitian

- Dari grafik hubungan tegangan dan regangan di atas, dibuat garis bantu linier yang bersinggungan dengan grafik tersebut sehingga diperoleh batas elastis yang terletak pada tegangan sebesar 7,92 MPa dan regangan sebesar 0,00002

- Menghitung nilai $0.4f_c = 0.4 \times 9.62 = 3,8465$ MPa
- Menghitung nilai regangan (ϵ) saat 13.1 MPa dengan menggunakan persamaan garis yang terdapat pada gambar 4.6

$$y = 36745x + 0,8485$$

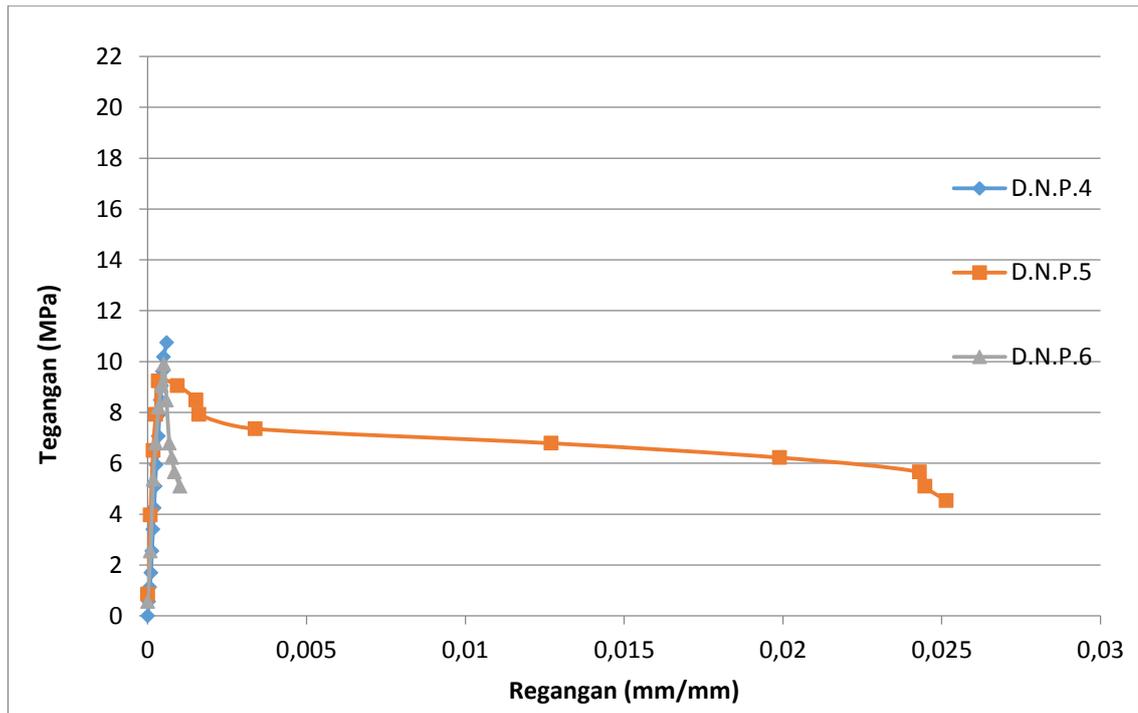
$$3,8465 = 36745x + 0,8485$$

$$x = 0.00008 \rightarrow \text{nilai regangan saat } 0.4f_c$$

- Menghitung nilai elastisitas dengan menggunakan rumus Eurocode 2 :

$$E_c = \frac{3,8465}{0.00008} = 47144,766 \text{ MPa}$$

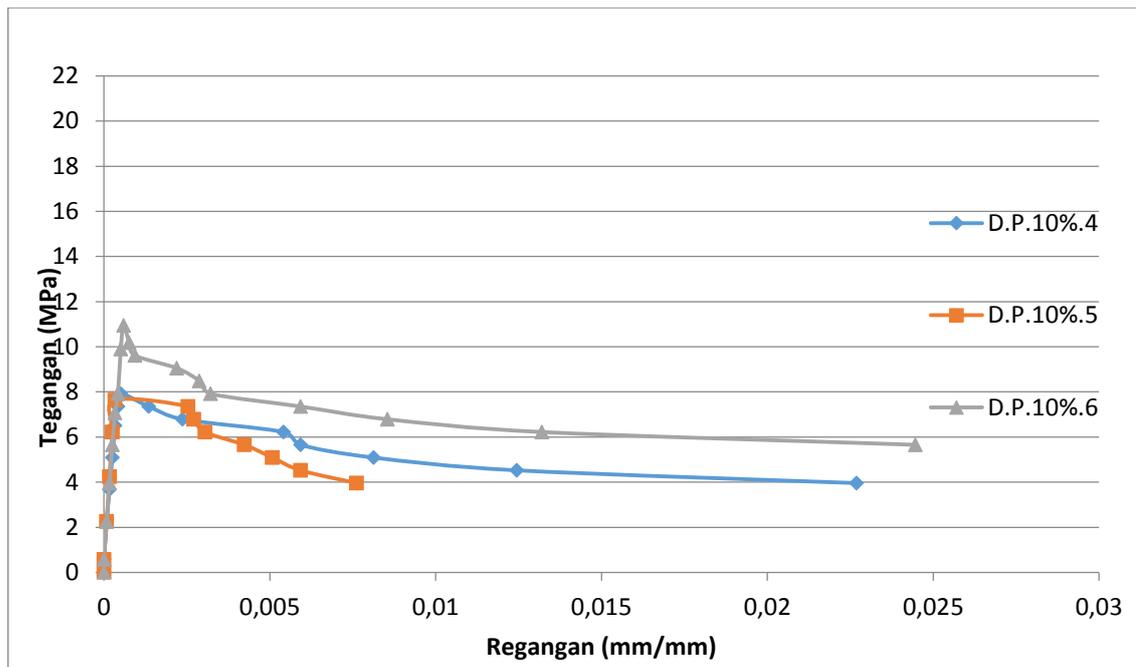
Berikut gambar grafik hubungan tegangan dan regangan pada beton normal dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik hubungan tegangan dan regangan beton normal
Sumber : Hasil Penelitian

Grafik di atas adalah grafik gabungan dari grafik hubungan tegangan dan regangan beton normal. Masing-masing grafik mempunyai batas elastis yang diambil dari garis lurus yang bersinggungan dengan grafik. Beton D.N.P.4 mempunyai batas elastis pada regangan 0,00027 dan pada tegangan 5,94 MPa. Sedangkan beton D.N.P.5 mempunyai batas elastis pada regangan sebesar 0,00008 dengan tegangan pada 3,96 MPa dan beton D.N.P.6 mempunyai regangan dan tegangan secara berturut-turut sebesar 0,00017 dan 5,37 MPa. Jadi, dari ketiga beton tersebut beton D.N.P.5 mempunyai nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 47144,767 MPa sedangkan beton D.N.P.4 dan D.N.P.6 mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 24219,210 Mpa dan 31695,259 MPa.

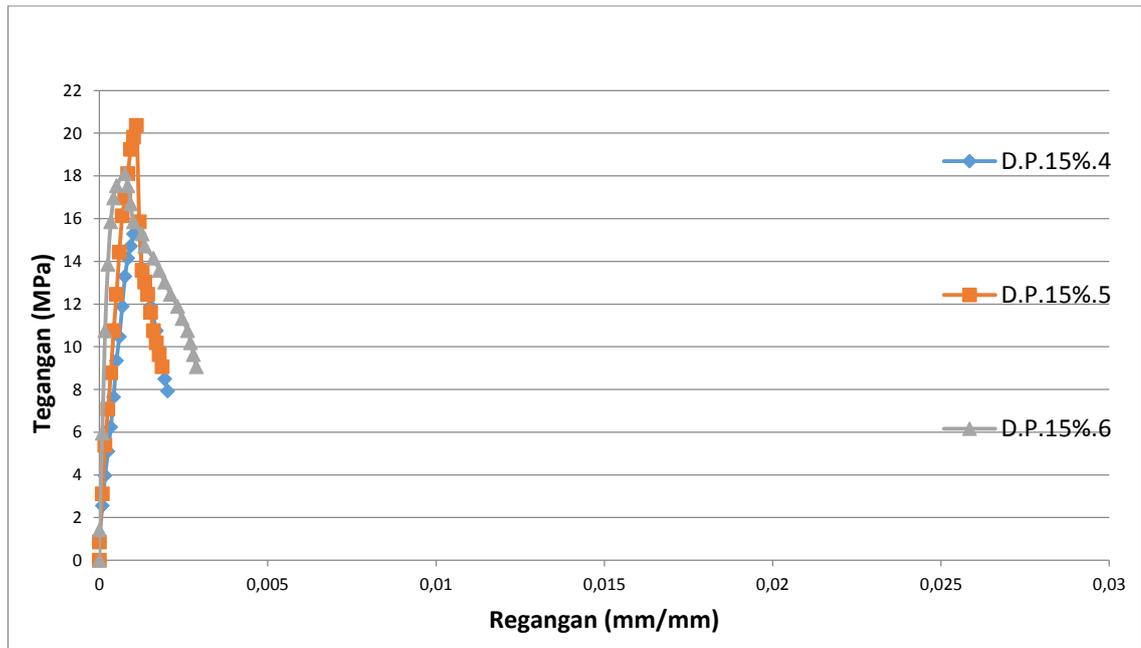
Berikut gambar grafik hubungan tegangan dan regangan pada beton fraksi 10% dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik hubungan tegangan dan regangan beton fraksi 10%.
Sumber : Hasil Penelitian

Grafik diatas adalah grafik gabungan dari grafik hubungan tegangan dan regangan beton fraksi 10%. Masing-masing grafik mempunyai batas elastis yang diambil dari garis lurus yang bersinggungan dengan grafik. Beton D.P.10%.4 mempunyai batas elastis pada regangan 0,000169 dan pada tegangan 3,68 MPa. Sedangkan beton D.P.10%.5 mempunyai batas elastis pada regangan sebesar 0,000254 dengan tegangan pada 6,22 MPa dan beton D.P.10%.6 mempunyai regangan dan tegangan secara berturut-turut sebesar 0,000339 dan 7,07 MPa. Jadi, dari ketiga beton tersebut beton D.P.10%.5 mempunyai nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 25675,199 MPa sedangkan beton D.P.10%.4 dan D.P.10%.6 mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 22747,670 Mpa dan 22919,238 MPa.

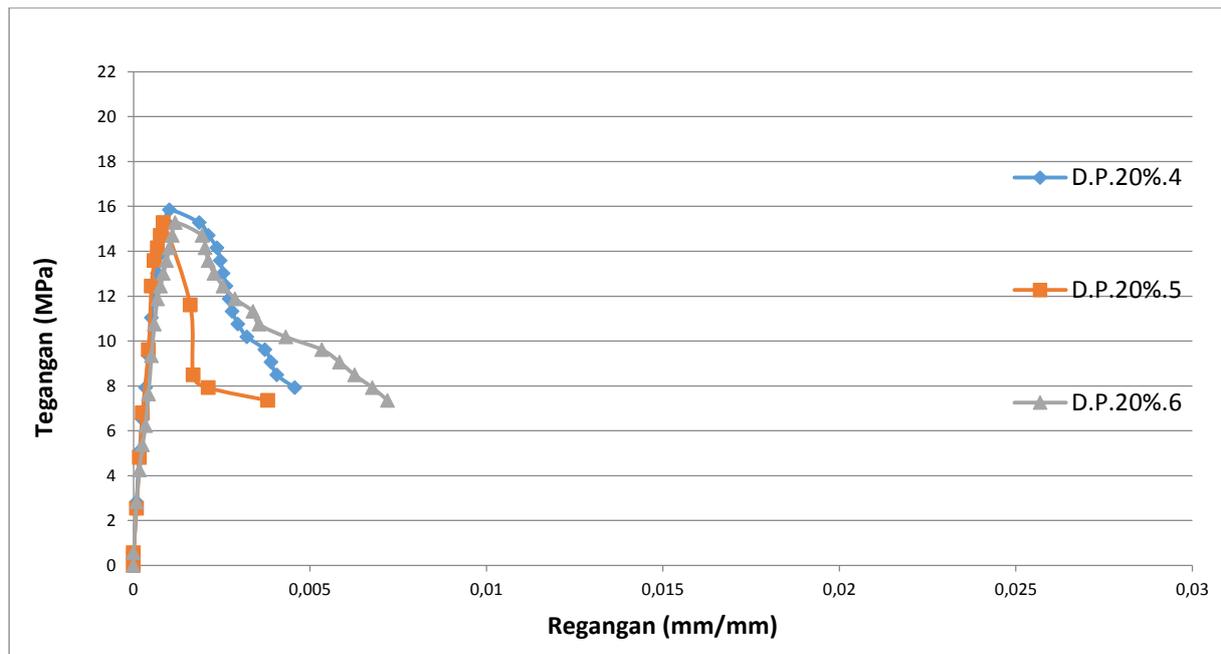
Berikut gambar grafik hubungan tegangan dan regangan pada beton fraksi 15% dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik hubungan tegangan dan regangan beton fraksi 15%
Sumber : Hasil Penelitian

Grafik diatas adalah grafik gabungan dari grafik hubungan tegangan dan regangan beton fraksi 15%. Masing-masing grafik mempunyai batas elastis yang diambil dari garis lurus yang bersinggungan dengan grafik. Beton D.P.15%.4 mempunyai batas elastis pada regangan 0,000254 dan pada tegangan 5,09 MPa. Sedangkan beton D.P.15%.5 mempunyai batas elastis pada regangan sebesar 0,000254 dengan tegangan pada 7,07 MPa dan beton D.P.15%.6 mempunyai regangan dan tegangan secara berturut-turut sebesar 0,000254 dan 13,86 MPa. Jadi, dari ketiga beton tersebut beton D.P.15%.6 mempunyai nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 46893,525 MPa sedangkan beton D.P.15%.4 dan D.P.15%.5 mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 22747,670 Mpa dan 17236,385 MPa.

Berikut gambar grafik hubungan tegangan dan regangan pada beton fraksi 20% dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik hubungan tegangan dan regangan beton fraksi 20%
Sumber : Hasil Penelitian

Grafik diatas adalah grafik gabungan dari grafik hubungan tegangan dan regangan beton fraksi 20%. Masing-masing grafik mempunyai batas elastis yang diambil dari garis lurus yang bersinggungan dengan grafik. Beton D.P.20%.4 mempunyai batas elastis pada regangan 0,000169 dan pada tegangan 5,09 MPa. Sedangkan beton D.P.20%.5 mempunyai batas elastis pada regangan sebesar 0,000254 dengan tegangan pada 6,79 MPa dan beton D.P.20%.6 mempunyai regangan dan tegangan secara berturut-turut sebesar 0,000085 dan 2,83 MPa. Jadi, dari ketiga beton tersebut beton D.P.20%.6 mempunyai nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 31523,264 MPa sedangkan beton D.P.20%.4 dan D.P.20%.5 mempunyai nilai modulus elastisitas sebesar 29629,384 Mpa dan 27249,984 MPa.

Berikut akumulasi hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan cara Wang dan Salmon (1986) dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.10

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut Cara Eurocode 2 atau Wang dan Salmon

No	Kode Benda Uji	$f'c$ (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
1	D.N.P.4	10.861	24219.210	0.000267	5.9394
2	Normal D.N.P.5	9.842	47144.767	0.000085	3.9596
3	D.N.P.6	10.521	31695.259	0.000169	5.3737

4		D.P.10%.4	7.919	22747.670	0.000169	3.6768
5	Fraksi 10 %	D.P.10%.5	11.539	25675.199	0.000254	6.2222
6		D.P.10%.6	8.259	22919.238	0.000339	7.0707
7		D.P.15%.4	16.574	22919.238	0.000254	5.0909
8	Fraksi 15 %	D.P.15%.5	20.024	17236.385	0.000254	7.0707
9		D.P.15%.6	18.101	46893.525	0.000254	13.8586
10		D.P.20%.4	16.234	29629.384	0.000169	5.0909
11	Fraksi 20 %	D.P.20%.5	15.216	27249.984	0.000254	6.7879
12		D.P.20%.6	9.729	31523.264	0.000085	2.8283

Sumber: Hasil Penelitian

2. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan rumus ASTM C-469

Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan rumus ASTM C-469 ini disebut juga modulus chord. Adapun perhitungan modulus elastisitas chord (*chord modul*) adalah sebagai berikut :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_c - 0.00005} \dots\dots\dots(4 - 6)$$

dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = Tegangan sebesar 0.4 f'c

S_1 = Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0.00005

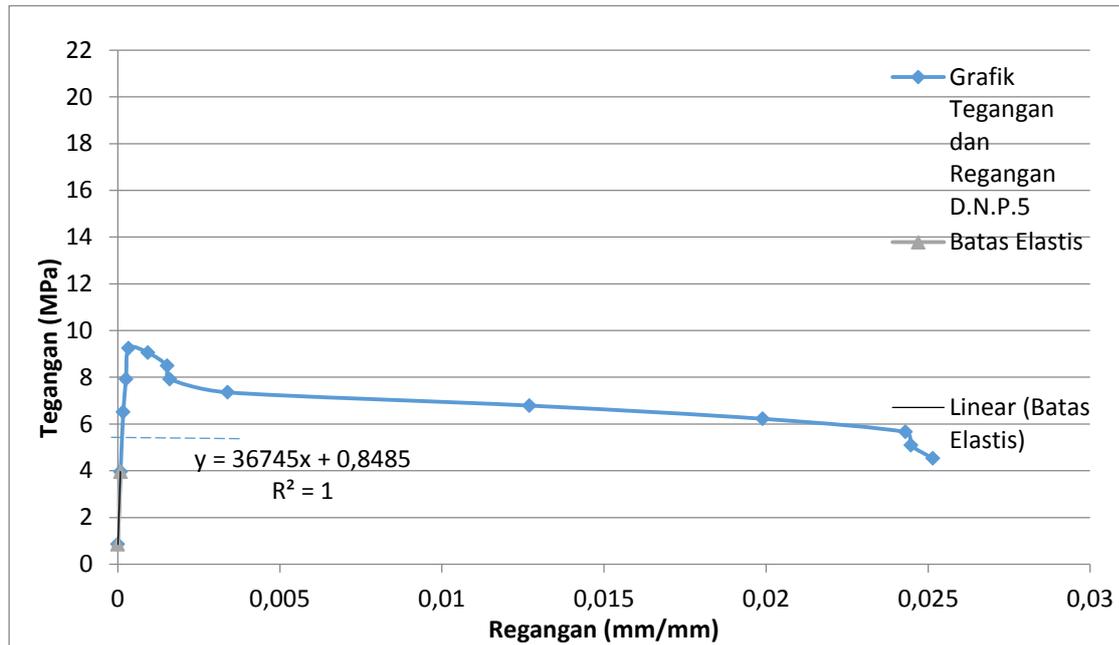
ϵ_c = Regangan longitudinal akibat Tegangan S_2

Contoh perhitungan :

- Misal menghitung nilai modulus elastisitas pada benda uji D.N.P.5
- Grafik hasil pembacaan dial extensometer dapat dilihat pada gambar 4.7
- $S_2 = 0.4f'c = 0.4 \times 9.62 = 3,8464$ MPa
- $S_1 = y = 36745x + 0.8485$
 $= 36745 (0.00005) + 0.8485$
 $= 2,6857$
- $\epsilon_c = x \rightarrow y = 36745x + 0.8485$
 $2,6857 = 36745x + 0.8485$
 $x = 0.0000818$
- Menghitung nilai elastisitas dengan menggunakan rumus ASTM C-469 :

$$E_c = \frac{3,8464 - 2,6857}{0.0000818 - 0.00005} = 36745 \text{ MPa}$$

Berikut gambar grafik hubungan tegangan dan regangan pada beton normal *pumice* untuk menghitung Modulus Elastisitas dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik hubungan tegangan dan regangan D.N.P.5 (Beton Normal)
Sumber: Hasil Penelitian

Berikut hasil pengujian moduus elastisitas dengan menggunakan rumus ASTM C-469 dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.11

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut Rumus ASTM C-469

No	Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
1	D.N.P.4	10.861	22626.0	0.000267	5.9394
2	Normal D.N.P.5	9.842	36745.0	0.000085	3.9596
3	D.N.P.6	10.521	28394.0	0.000169	5.3737
4	D.P.10%.4	7.919	20347.0	0.000169	3.6768
5	Fraksi 10 % D.P.10%.5	11.539	23383.0	0.000254	6.2222
6	D.P.10%.6	8.259	20293.0	0.000339	7.0707
7	D.P.15%.4	16.574	18766.0	0.000254	5.0909
8	Fraksi 15 % D.P.15%.5	20.024	26724.0	0.000254	7.0707
9	D.P.15%.6	18.101	53251.0	0.000254	13.8586
10	D.P.20%.4	16.234	27635.0	0.000169	5.0909
11	Fraksi 20 % D.P.20%.5	15.216	22667.0	0.000254	6.7879

No	Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
12	D.P.20%.6	9.729	30064.0	0.000085	2.8283

Sumber: Hasil Penelitian

3. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan SK SNI T-15-1991

Perhitungan Modulus Elastisitas Beton menggunakan rumus pada SK SNI – T – 15 – 1991 adalah sebagai berikut :

a. Rumus yang digunakan untuk $1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times f_c^{0.5} \dots\dots\dots(4 - 7)$$

keterangan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat satuan beton (kg/m^3)

f_c = Kuat Tekan beton silinder (MPa)

Contoh Perhitungan :

Misal menghitung modulus elastisitas benda uji D.N.P.5

Diketahui : $W_c = 2243,77 \text{ kg/m}^3$

$$f_c = 9,84 \text{ MPa}$$

Sehingga : $E_c = 0.043 \times 2243,77^{1.5} \times 9,62^{0.5}$

$$= 14172,2 \text{ MPa}$$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SK SNI T – 15 – 1991 ($1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$) dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut SK SNI T-15-1991 ($1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$)

No	Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
1	D.N.P.4	10.861	15408.170	0.000267	5.9394
2	Normal D.N.P.5	9.842	14358.737	0.000085	3.9596
3	D.N.P.6	10.521	14787.450	0.000169	5.3737
4	D.P.10%.4	7.919	13226.298	0.000169	3.6768
5	Fraksi 10 % D.P.10%.5	11.539	12987.966	0.000254	6.2222
6	D.P.10%.6	8.259	13690.519	0.000339	7.0707

No	Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
7	D.P.15%.4	16.574	19035.894	0.000254	5.0909
8	Fraksi 15 % D.P.15%.5	20.024	21209.260	0.000254	7.0707
9	D.P.15%.6	18.101	19996.2825	0.000254	13.8586
10	D.P.20%.4	16.234	18937.1763	0.000169	5.0909
11	Fraksi 20 % D.P.20%.5	15.216	18367.7583	0.000254	6.7878
12	D.P.20%.6	9.729	18367.7583	0.000085	2.8282

Sumber: Hasil Penelitian

b. Rumus yang digunakan untuk $W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$

$$E_c = 4700 \times f'_c{}^{0.5} \dots\dots\dots(4 - 8)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

f'c = kuat tekan beton berumur 28 hari (MPa)

Contoh Perhitungan :

Misal menghitung modulus elastisitas benda uji D.N.P.4

Diketahui : f'c = 10,75 MPa

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } E_c &= 4700 \times 10,75^{0.5} \\ &= 154008,17 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SK SNI T – 15 – 1991 ($W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$) dapat dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4.13

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut SK SNI T-15-1991 ($W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$)

No	Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
1	D.N.P.4	10.861	15408.2	0.0002667	5.94
2	Normal D.N.P.5	9.842	14358.7	0.0000847	3.96
3	D.N.P.6	10.521	14787.5	0.0001693	5.37
4	D.P.10%.4	7.919	9352.4	0.0001693	3.68
5	Fraksi 10 % D.P.10%.5	11.539	9998.1	0.0002540	6.22
6	D.P.10%.6	8.259	11178.3	0.0003387	7.07

No	Kode Benda Uji	f'_c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
7	D.P.15%.4	16.574	13226.3	0.0002540	5.09
8	Fraksi 15 % D.P.15%.5	20.024	14139.5	0.0002540	7.07
9	D.P.15%.6	18.101	14574.7	0.0002540	13.86
10	D.P.20%.4	16.234	13690.5	0.0001693	5.09
11	Fraksi 20 % D.P.20%.5	15.216	13226.3	0.0002540	6.79
12	D.P.20%.6	9.729	12745.2	0.0000847	2.83

Sumber: Hasil Penelitian

4. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan TS 500 (*Turkey Standart*)

Perhitungan Modulus Elastisitas Beton menggunakan rumus pada TS 500 (*Turkey Standart*) adalah sebagai berikut :

$$E_c = (3250 \times \sqrt{f'_c}) + 14000 \dots\dots\dots (4 - 9)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

f'_c = kuat tekan beton berumur 28 hari (MPa)

Contoh Perhitungan :

Misal menghitung modulus elastisitas benda uji D.N.P.6

Diketahui : $f'_c = 9,90$ MPa

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } E_c &= (3250 \times \sqrt{9,90}) + 14000 \\ &= 24225,364 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan rumus TS 500 (*Turkey Standart*) dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut Cara TS 500 (*Turkey Standart*)

No	Kode Benda Uji	f'_c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
1	D.N.P.4	10.861	14000.0	0.000267	5.9394
2	Normal D.N.P.5	9.842	23928.9	0.000085	3.9596
3	D.N.P.6	10.521	24225.4	0.000169	5.3737
4	Fraksi 10 % D.P.10%.4	7.919	20467.1	0.000169	3.6768
5	D.P.10%.5	11.539	20913.6	0.000254	6.2222

No	Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Tegangan pada batas elastis (Mpa)
6	D.P.10%.6	8.259	21729.6	0.000339	7.0707
7	D.P.15%.4	16.574	23145.8	0.000254	5.0909
8	Fraksi 15 % D.P.15%.5	20.024	23777.3	0.000254	7.0707
9	D.P.15%.6	18.101	24078.2	0.000254	13.859
10	D.P.20%.4	16.234	23466.8	0.000169	5.0909
11	Fraksi 20 % D.P.20%.5	15.216	23145.8	0.000254	6.7878
12	D.P.20%.6	9.729	22813.2	0.000085	2.8283

Sumber: Hasil Penelitian

Berikut pada tabel 4.15 merupakan rincian dari beberapa hasil perhitungan modulus elastisitas.

Tabel 4.15

Nilai Modulus Elastisitas dan Persentase Selisih Antar Metode Perhitungan

No	Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Modulus Elastisitas (MPa)					Presentase Selisih antar Metode Perhitungan			
			(1) Eurocode 2-1992 atau Wang & Salmon (1986)	(2) ASTM C469	(3) SKSNI T-15- 1991 ($0.043 \times Wc^{1.5} \times fc^{0.5}$)	(4) SKSNI T-15- 1991 ($4700 \times fc^{0.5}$)	(5) TS 500 (Turkey)	(2) dan (1)	(2) dan (3)	(2) dan (4)	(2) dan (5)
1	D.N.P.4	10.861	24219.210	22626.0	15648.5	15408.2	14000.0	7.0%	45%	31.9%	38.1%
2	D.N.P.5	9.842	47144.767	36745.0	14172.2	14358.7	23928.9	28.3%	159%	61.1%	35.0%
3	D.N.P.6	10.521	31695.259	28394.0	14675.1	14787.5	24225.4	11.6%	93%	47.9%	14.7%
4	D. P. 10%. 4	7.919	22747.670	20347.0	12138.5	9352.4	20467.1	11.8%	68%	35.0%	13.8%
5	D. P. 10%. 5	11.539	25675.199	23383.0	12538.2	9998.1	20913.6	9.8%	86%	44.5%	1.7%
6	D. P. 10%. 6	8.259	22919.238	20293.0	13904.1	11178.3	21729.6	12.9%	46%	27.1%	19.4%
7	D. P. 15%. 4	16.574	22919.238	18766.0	17014.5	13226.3	23145.8	22.1%	10%	2.1%	42.3%
8	D. P. 15%. 5	20.024	17236.385	26724.0	21145.7	14139.5	23777.3	35.5%	26%	20.6%	7.3%
9	D. P. 15%. 6	18.101	46893.525	53251.0	17280.5	14574.7	24078.2	11.9%	208%	62.4%	47.7%
10	D. P. 20%. 4	16.234	29629.384	27635.0	18188.3	13690.5	23466.8	7.7%	55%	33.5%	3.4%
11	D. P. 20%. 5	15.216	27249.984	22667.0	17078.4	13226.3	23145.8	20.2%	33%	19.0%	17.8%
12	D. P. 20%. 6	9.729	31523.264	30064.0	16759.1	12745.2	22813.2	4.9%	76%	38.9%	11.2%
Rata – Rata Presentase Selisih								15.3%	75.5%	35.3%	21%

Sumber : Hasil Penelitian

Pada tabel diatas dituliskan nilai presentase selisih untuk masing – masing metode perhitungan modulus elastisitas. Presentase selisih yang terkecil terdapat pada perbandingan Kedua metode perhitungan cara SK SNI T-15-1991 dengan rata-rata presentase selisih sebesar 4,8%. Dalam hal ini, rumus Eurocode lebih cocok digunakan untuk menghitung modulus elastisitas. Selain itu, pada rumus Eurocode juga mempertimbangkan nilai tegangan dan regangan pada batas elastis dalam perhitungannya dibandingkan dengan SK SNI T-15-1991 dan TS 500 (Turkey) yang dalam perhitungannya hanya dipengaruhi oleh kuat tekan saat benda uji hancur dan berat isi beton saja. Sedangkan yang kita tahu bahwa modulus elastisitas merupakan identitas kekakuan dari suatu bahan yang merupakan nilai perbandingan tegangan dan regangan dari bahan tersebut. Seperti yang dijelaskan pada rumus dibawah ini :

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P \times L}{A \times \Delta L} \dots\dots\dots(4 - 10)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas (mm²)

L = Panjang (mm)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

4.3.6 Uji Modulus Elastisitas (*Strain Gauge*)

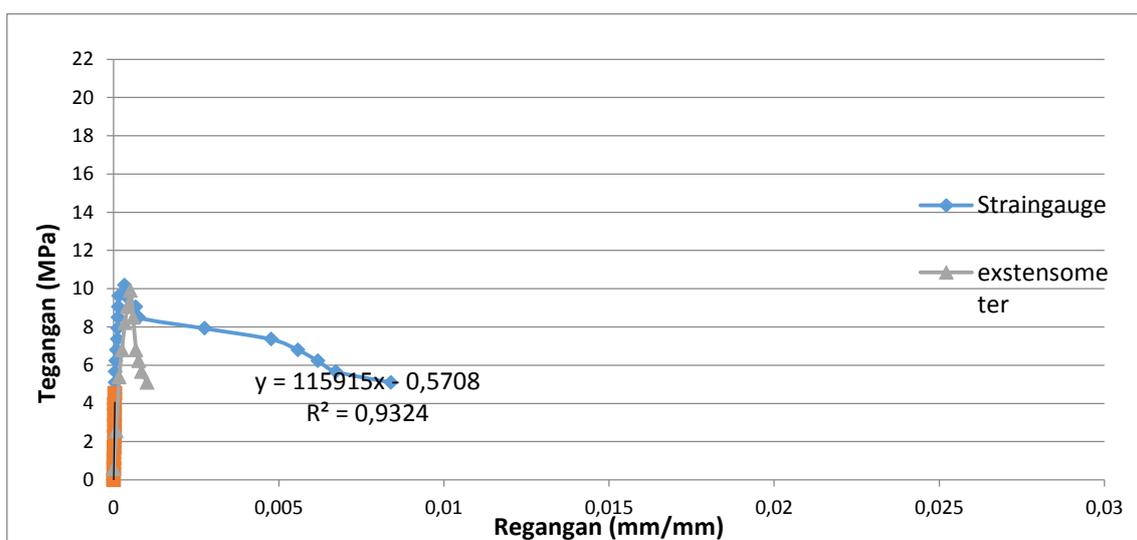
Sebagai data pendukung atau data pembanding, peneliti juga mencoba melakukan uji modulus elastisitas dengan menggunakan alat yang disebut *strain gauge*. Namun pada penelitian ini hanya satu benda uji yang diuji dengan menggunakan *strain gauge*, yaitu benda uji D.P.10%.6 (beton serat dengan fraksi 10 %). Berikut ini adalah dokumentasi *strain gauge* yang sudah dipasangkan pada beton dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.17 Uji modulus elastisitas dengan menggunakan *strain gauge*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

Pengujian modulus elastisitas dengan *strain gauge* ini dilakukan bersamaan dengan uji modulus elastisitas menggunakan *extensometer* dan uji kuat tekan dengan mesin yang sama pula yaitu *compression machine*. *Strain gauge* dipasang ke arah horizontal dan arah vertikal dari benda uji, kemudian ujung kabel dipasang ke *dial strain gauge* yang berfungsi untuk membaca regangan dari benda uji ketika menerima beban tekan.

Berikut pada gambar 4.18 dan 4.19 yang merupakan grafik hubungan tegangan dan regangan yang dihasilkan dari uji modulus elastisitas menggunakan *strain gauge*. Dan tabel 4.16 dan 4.17 yang merupakan Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Benda dengan Alat *Extensometer* dan *Strain Gauge*



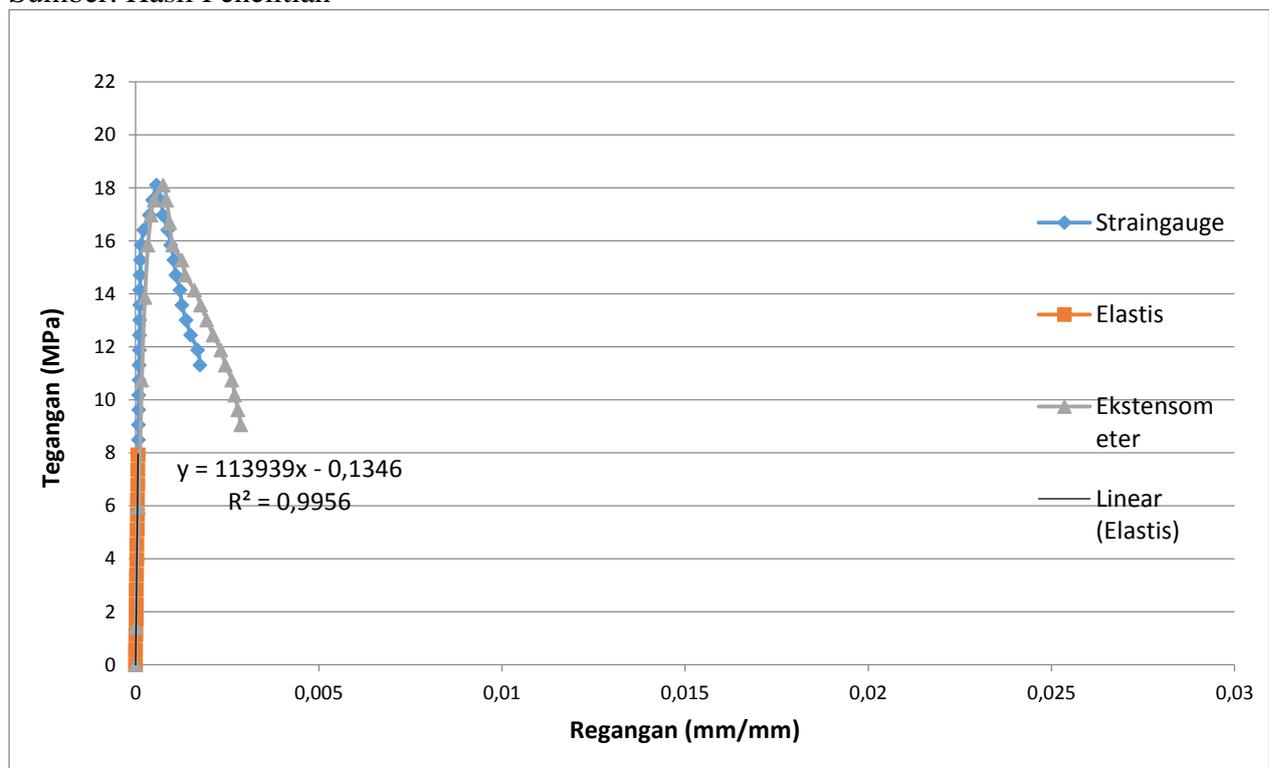
Gambar 4.18 Grafik hubungan tegangan dan regangan normal *pumice 3* (*Strain Gauge* dan *Extensometer*) pada benda uji D.N.P.6
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.16

Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Benda Uji D.N.P.6 dengan Alat *Extensometer* dan *Strain Gauge*

Metode Perhitungan	Nilai Modulus Elastisitas (Mpa)		Presentase
	<i>Extensometer</i>	<i>Strain gauge</i>	Selisih
Eurocode 2-1992 atau Wang & Salmon (1986)	31695.26	117270.6839	270%
ASTM C469	28394.0	46479.34517	64%
SKSNI T-15-1991 (0.043 x $Wc^{1.5}$ x $fc^{0.5}$)	14675.1	14675.07565	0%

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.19 Grafik hubungan tegangan dan regangan D.P.15%.6 (*Strain Gauge* dan *Extensometer*)

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.17

Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas benda uji D.P.15%.6 dengan Alat *Extensometer* dan *Strain Gauge*

Metode Perhitungan	Nilai Modulus Elastisitas (Mpa)		Presentase
	<i>Extensometer</i>	<i>Strain gauge</i>	Selisih
Eurocode 2-1992 atau Wang & Salmon (1986)	46893.5	126163.5519	169%

ASTM C469	53251.0	33036	38%
SKSNI T-15-1991 ($0.043 \times W_c^{1.5} \times f_c^{0.5}$)	1728049.8%	17280.49804	0%

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan perbandingan nilai modulus elastisitas untuk benda uji D.P.15%.6 dan D.N.P.6 yang dihasilkan dengan menggunakan alat *extensometer* memiliki selisih yang sangat jauh dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dengan menggunakan alat *strain gauge*. Nilainya melebihi 100% untuk metode perhitungan berdasarkan cara Eurocode 2, sedangkan untuk metode perhitungan berdasarkan cara ASTM C-469 nilainya dibawah 100%, hal ini dikarenakan grafik hubungan tegangan dan regangan yang dihasilkan juga berbeda karena pada *extensometer* data yang didapat kemudian dipilih dengan dirata-rata apabila sama dalam pembacaan *dial extensometer*, sedangkan dalam pembacaan *strain gauge* bacaan yang dibaca ketika nilai 10 dan jarang setiap bacaannya memiliki nilai yang sama sehingga tidak bias dipilih dan dirata-rata. Berbeda halnya dengan cara SKSNI T-15-1991 yang menghasilkan nilai yang sama karena hanya dipengaruhi oleh berat isi dan kuat tekannya saja.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)