
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dipaparkan hasil pembuatan agregat kasar dari limbah botol plastik (*PET*) serta hasil pengujian material dan analisa dari agregat kasar ringan plastik, agregat halus normal dan sifat mekanis beton yang beragregat kasar dari bahan *PET* tersebut.

Prosedur pengujian material yang dilakukan terhadap agregat kasar ringan plastik dan agregat halus normal, dan beton ringan yang meliputi pengujian terhadap beton segar dan beton yang telah mengeras (*hardened concrete*) telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Hasil pengujian ini akan dianalisa dalam bentuk tabel dan grafik yang disertai dengan analisa.

4.1 HASIL DAN PEMBAHASAN PEMBUATAN AGREGAT

Hasil pembuatan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik (*PET*) yang didapat mempunyai karakteristik geometrik yang dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Karakteristik Geometrik Agregat Kasar Ringan Plastik *PET*

Karakteristik Agregat	Agregat Shinta	Agregat Sony [22]
Bentuk	Tidak beraturan, bersudut	Tidak beraturan, bersudut
Tekstur Permukaan	Licin (halus)	Licin (halus)
Ukuran maksimum agregat	25 – 30 mm	25 – 30 mm
Warna	Abu-abu dan Hijau	Cokelat
Tebal maksimum agregat	3 cm	3 cm

Dari tabel 4.1 dapat terlihat bahwa agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik *PET* mempunyai karakteristik geometrik yang sama dengan agregat kasar pada umumnya dimana mempunyai bentuk yang tidak beraturan dan bersudut. Bentuk yang tidak beraturan ini didapat karena pemecahan agregat yang dilakukan secara manual. Namun yang patut menjadi perhatian adalah tekstur permukaan dari agregat kasar ringan plastik yang cenderung halus (*smooth*) hal ini dikhawatirkan akan dapat mengurangi ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan buatan. Warna abu-abu dan hijau dari agregat dikarenakan dalam proses pembakaran dilakukan pemisahan antara badan botol plastik dengan tutupnya dimana warna coklat dan abu-abu didapat dari pembakaran badan botol plastik dan warna hijau didapat dari pembakaran tutup botol plastik. Perbedaan warna antara agregat Sony dan Shinta dapat disebabkan oleh perbedaan kandungan oktan pada minyak tanah serta botol plastik yang digunakan.

4.2 HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN AGREGAT

4.2.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan mengambil sampel bahan baku secara acak dan kemudian dilakukan penelitian sesuai standar ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur*”, didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil Pengujian pada Agregat Kasar Ringan Plastik

Pengujian	Hasil Shinta	Hasil Sony [22]	Perbedaan
Apperent Spesific Gravity	1,346	1,322	1,78 %
Bulk Spesific Gravity	1,321	1,316	0,38 %
Absorpsi (%)	1,420	1,140	19,72 %
Berat Isi Kering (kg/m ³)	753	820	8,17 %
Abrasi (%)	28,40	28,40	-
Kadar Air (%)	0	0	-

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran B

Nilai absorpsi agregat kasar *PET* yang terdapat pada tabel 4.2 menunjukkan perbedaan yang cukup besar. Hal ini menandakan bahwa kemampuan menyerap air dari agregat yang dihasilkan Sony dan Shinta berbeda dimana kemampuan menyerap air dari agregat Shinta lebih besar.

Dari tabel 4.2 dapat disimpulkan, berdasarkan pada standar mutu dan syarat pengujian ASTM C300-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur”, yang dilakukan terhadap agregat ringan kasar buatan dari limbah botol plastik *PET* bahwa agregat ringan kasar buatan dari limbah plastik dapat digunakan sebagai agregat ringan dalam campuran beton ringan. Pada tabel 4.2 juga dapat simpulkan bahwa sifat fisik yang dihasilkan oleh agregat Sony dan Shinta tidak terlalu jauh berbeda.

Syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh ASTM C.300-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur”, untuk agregat ringan yang digunakan dalam campuran beton ringan, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Berat jenis agregat ringan 1,0 – 1,8 : dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik didapat berat jenis sebesar 1,321.
- Penyerapan air maksimum 20% : dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik didapat penyerapan air (absorpsi) sebesar 1,420 %.
- Berat isi maksimum kering 900 kg/m^3 : dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik didapat berat isi kering sebesar 753 kg/m^3 .

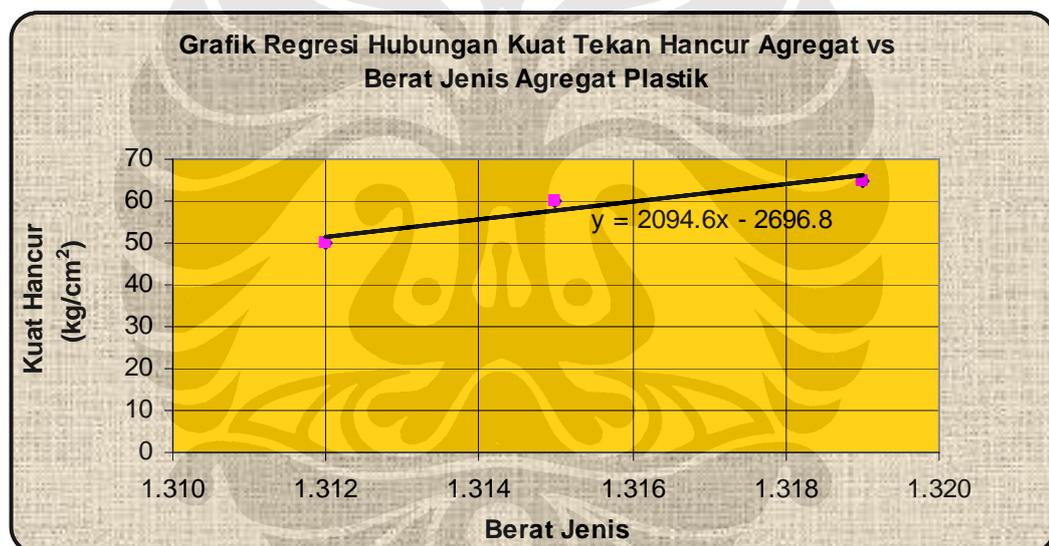
4.2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat

Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk memperoleh data kuat tekan hancur agregat yang akan digunakan sebagai pembanding dengan data kuat tekan hancur agregat pada penelitian sebelumnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah kuat tekan hancur agregat yang digunakan pada pengujian ini sama dengan kuat tekan hancur agregat yang digunakan pada skripsi terdahulu. Kuat tekan hancur agregat ini akan digunakan dalam perhitungan rancang campur, sehingga apabila diperoleh kuat tekan hancur agregat yang berbeda secara

signifikan maka akan mengubah rancang campur yang telah ditetapkan sebelumnya.

Kekuatan tekan hancur agregat diperoleh berdasarkan pengujian di laboratorium untuk kuat tekan hancur pada kubus agregat plastik dengan ukuran $(5 \times 5 \times 5)$ cm sebanyak 3 buah. Pada pengujian kuat tekan hancur agregat ini tidak dibuat sampel kubus dengan ukuran $(15 \times 15 \times 15)$ cm karena keterbatasan pengumpulan limbah botol plastik *PET*. Sehingga untuk kuat tekan hancur agregat plastik untuk kubus yang berukuran $(15 \times 15 \times 15)$ cm, akan digunakan data pengujian kuat tekan hancur yang dimuat pada skripsi sebelumnya (Sony).

Hasil pengujian kuat tekan hancur agregat untuk kedua ukuran kubus plastik disajikan dalam bentuk grafik regresi antara berat jenis kubus agregat plastik dengan kuat tekan hancur agregat, berikut:



Gambar 4.1 Grafik Regresi Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat vs Berat Jenis Kubus Agregat Plastik Ukuran $(5 \times 5 \times 5)$ cm

Dari grafik 4.1 dengan menggunakan metode regresi linier didapat tekan hancur kubus agregat plastik dengan persamaan regresi yang digunakan :

$$y = ax + b$$

$$f'_{CA} = (\text{konstan} \times \rho_A) + \text{konstan}$$

Dimana :

$$f'_{CA} = \text{Kuat tekan hancur agregat}$$

$$\rho_A = \text{Berat jenis agregat plastik}$$

Dari pengujian sifat fisik agregat kasar ringan di Laboratorium didapat berat jenis agregat ringan plastic (Bulk specific gravity) sebesar 1,321. Sehingga bila disubstitusi ke persamaan regresi di atas, didapat kuat tekan hancur agregat (f'_{CA}) untuk agregat dengan kubus ukuran ($5 \times 5 \times 5$) cm, sebesar $70,167 \text{ kg/cm}^2$.

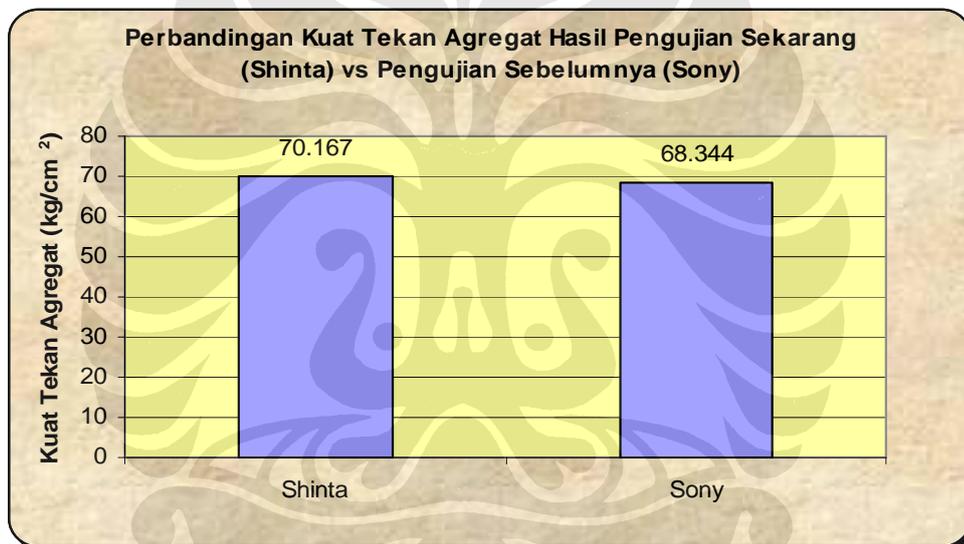
$$f'_{CA} = (\text{konstan} \times \rho_A) + \text{konstan}$$

$$f'_{CA} = (2094.6 \times \rho_A) - 2696.8$$

$$f'_{CA} = (2094.6 \times 1.321) - 2696.8$$

$$f'_{CA} = 70,167 \text{ kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan agregat yang didapat pada penelitian sebelumnya untuk kubus berukuran ($5 \times 5 \times 5$) cm adalah $68,344 \text{ kg/cm}^2$. Berikut adalah grafik perbandingan nilai kuat tekan agregat yang diperoleh.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Kuat tekan Agregat Hasil Pengujian Shinta dan Sony

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan hancur agregat kubus berukuran ($5 \times 5 \times 5$) cm yang didapat pada pengujian kali ini, yaitu sebesar $70,167 \text{ kg/cm}^2$, dibandingkan dengan hasil pada pengujian sebelumnya, yaitu sebesar $68,344 \text{ kg/cm}^2$, diperoleh nilai yang tidak jauh berbeda.

Hasil yang diperoleh dari pengujian sebelumnya untuk kubus berukuran ($15 \times 15 \times 15$) cm adalah $64,456 \text{ kg/cm}^2$. Sehingga diperoleh hubungan antara kuat tekan hancur agregat kubus berukuran ($5 \times 5 \times 5$) cm dan ($15 \times 15 \times 15$) cm,

dimana kuat tekan hancur agregat untuk kubus ($5 \times 5 \times 5$) cm lebih besar dibandingkan kubus ($15 \times 15 \times 15$) cm dengan faktor konversi dari kubus ukuran ($5 \times 5 \times 5$) cm menjadi ($15 \times 15 \times 15$) cm adalah sebesar 0,919. Berikut adalah grafik persentase kuat tekan hancur agregat ringan plastik berdasarkan pada perbedaan ukuran spesimen yang digunakan.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat vs Berat Jenis Kubus Agregat Plastik Ukuran ($5 \times 5 \times 5$) cm

Dalam perhitungan rancang campur digunakan kuat tekan hancur agregat berukuran kubus ($15 \times 15 \times 15$) cm. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan kubus berukuran ($15 \times 15 \times 15$) cm dilakukan konversi dari kuat tekan kubus berukuran ($5 \times 5 \times 5$) cm dengan mengalikan terhadap nilai konversi yang didapat dari penelitian sebelumnya yaitu sebesar 0,919. Sehingga nilai kuat tekan kubus berukuran ($15 \times 15 \times 15$) cm yang diperoleh adalah $66,178 \text{ kg/cm}^2$. Nilai tersebut akan digunakan dalam perhitungan rancang campur sebagai nilai kuat tekan hancur agregat.

4.2.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Agregat

Pengujian kuat tarik agregat ini atau disebut dengan *direct tensile* dilakukan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas tarik serta kuat tarik dari ikatan agregat dari bahan plastik jenis *PET* ini. Semakin besar ikatan antara

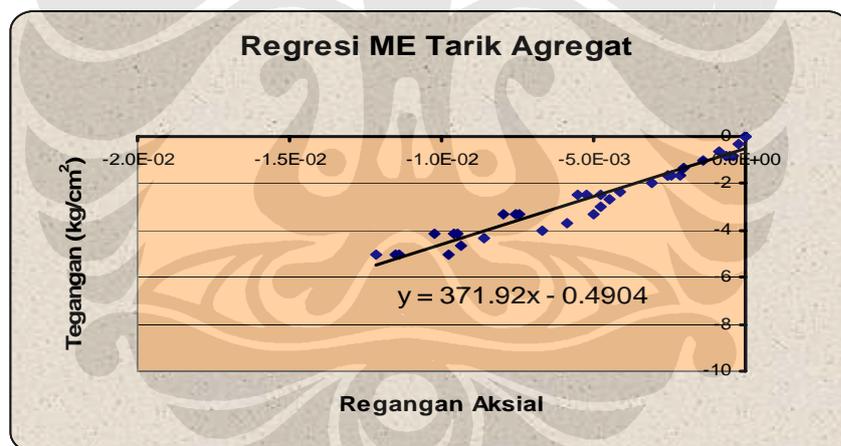
senyawa pada agregat plastik maka kuat tariknya pun akan semakin besar. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tarik dari agregat plastik.

Tabel 4.3 Data Kuat Tarik Agregat Kasar Ringan Plastik

No	Kode	Kuat Tarik Agregat (kg/cm ²)	Rata-rata (kg/cm ²)
1	BU ₈ -1	7.745	7.478
2	BU ₈ -2	7.445	
3	BU ₈ -3	7.278	
4	BU ₈ -4	7.445	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Selain mendapatkan nilai kuat tarik, percobaan ini juga menghasilkan modulus elastisitas tarik agregat. Berikut adalah grafik regresi modulus elastisitas tarik dari agregat.



Gambar 4.4 Grafik Regresi Modulus Elastisitas Tarik Agregat

Gambar 4.4 merupakan grafik regresi modulus elastisitas tarik dari semua benda uji. Pada grafik tersebut diperoleh persamaan garis yang linier. Hal tersebut menandakan bahwa material plastik *PET* mempunyai sifat yang getas (*brittle*). Salah satu sifat dari material getas adalah pada saat mengalami tarik, material tersebut tidak sempat berdeformasi terlebih dahulu. Penambahan tegangan akan mengakibatkan material tersebut putus seketika.

Untuk nilai modulus elastisitas tarik yang dihasilkan dari tiga buah benda uji dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.4 Data Modulus Elastisitas Agregat Kasar Ringan Plastik

Kode	Modulus Elastisitas (E_c) (MPa)	Rata-rata (MPa)
BU ₈ -1	35.1800	37.0788
BU ₈ -2	37.8040	
BU ₈ -3	37.8040	
BU ₈ -4	37.5270	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik agregat plastik ini cukup besar. Hal ini dapat disebabkan karena plastik dapat dikategorikan ke dalam bahan yang *ductile*, sehingga mampu menahan beban yang besar dan mampu untuk berdeformasi terlebih dahulu sebelum putus. Oleh karena itu, agregat dari bahan dasar plastik jenis *PET* ini memiliki sifat kohesif yang cukup besar.

Pada tabel 4.4 diperlihatkan nilai modulus elastisitas tarik dari agregat kasar *PET*, dimana nilai modulus elastisitas tarik merupakan perbandingan antara tegangan akibat beban tarik dengan regangan yang terjadi.

4.2.4 Hasil Pengujian Agregat Halus Normal

Sifat-sifat fisik agregat halus normal diperoleh dengan melakukan pengujian yang dilakukan di Laboratorium dengan mengambil sampel bahan baku secara acak dan kemudian dilakukan penelitian sesuai standar ASTM C 33-02A, “*Standard for Concrete Aggregates*”, dan SII 0052-80, “Mutu dan Cara Uji Agregat Beton”. Sifat-sifat fisik agregat halus normal yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian pada Agregat Halus

Pengujian	Hasil Shinta	Hasil Sony [22]	Perbedaan (%)
Apperent Spesific Gravity	2,806	2,672	4,78
Bulk Spesific Gravity (SSD)	2,755	2,645	3,99
Bulk Spesific Gravity	2,728	2,629	3,63
Absorpsi (%)	1,011	0,604	40,7
Fine Modulus (FM)	3,520	3,420	2,84
Berat Isi Kering (kg/m ³)	1777	1724	2,98
Kadar Material Lolos Saringan No.200 (%)	1,600	1,523	4,81
Kadar Organik (Sesuai Nomor Warna)	No.2	No.2	-
Kadar Air (%)	0,412	2,775	85,15

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran B

Nilai absorpsi dan kadar air agregat halus yang terdapat pada tabel 4.5 menunjukkan perbedaan yang cukup besar. Hal ini menandakan bahwa kemampuan menyerap air dari agregat halus yang digunakan Sony dan Shinta berbeda dimana kemampuan menyerap air dari agregat Shinta lebih besar. Namun untuk nilai kandungan air agregat halus Sony lebih besar dibanding Shinta sehingga memungkinkan agregat halus Sony dalam keadaan basah.

Dari tabel 4.5 dapat disimpulkan, berdasarkan pada standar mutu dan syarat pengujian ASTM C 33-02A, “*Standard for Concrete Aggregates*”, dan SII 0052-80, “*Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*” yang dilakukan terhadap agregat halus normal, bahwa pasir alam tersebut dapat digunakan dengan baik untuk campuran beton ringan pada penelitian ini.

Dimana syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh , “*Standard for Concrete Aggregates*”, dan SII 0052-80, “*Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*” untuk agregat halus normal yang digunakan dalam campuran beton, diantaranya adalah sebagai berikut :

-
- Modulus halus butir (*Fine Modulus*)
Syarat modulus halus butir agregat halus normal adalah 1,5 sampai 3,8. Dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat modulus halus butir sebesar 3,52.
 - Kadar lumpur pada agregat halus normal
Kandungan lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0.074 mm) maksimum 5 %. Dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat kadar material lolos saringan no.200 atau kadar lumpurnya sebesar 1,6 %.
 - Kadar zat organik
Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3 %, tidak menghasilkan warna yang lebih tua dibandingkan dengan warna standar yaitu No.3. Dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat warna yang lebih terang dan bila disesuaikan dengan nomor warna tergolong No.2.

4.3 HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN BETON RINGAN SEGAR

Berbeda dengan skripsi sebelumnya dimana terdapat empat tipe campuran untuk benda-benda uji, pada skripsi ini hanya terdapat satu tipe campuran yang digunakan untuk membuat benda uji. Tipe campuran tersebut adalah campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (25,4 - 9,5) mm dan agregat halus normal dengan gradasi normal (4,75 – 0,075) mm. Pemilihan tipe campuran ini berdasarkan hasil kuat tekan yang terbaik dari empat tipe campuran tersebut.

Pengujian yang dilakukan pada beton ringan segar adalah pengujian nilai slump dan pengujian berat isi beton segar. Berikut akan dibahas hasil dari pengujian-pengujian tersebut.

4.3.1 Hasil Pengujian Slump

Pada saat proses pengecoran dengan menggunakan rancang campur yang telah ditetapkan, campuran yang diperoleh dapat dikatakan belum menyatu. Hal ini disebabkan oleh kurangnya jumlah air yang digunakan pada pengecoran

sehingga butiran-butiran pasir belum menyatu menjadi pasta beton. Penambahan air yang dilakukan berdasarkan nilai slump yang ditargetkan dan sesuai dengan slump yang dihasilkan pada percobaan Sony yaitu berkisar 8 - 8,5 cm. Perbandingan proporsi campuran sebelum penambahan air dan setelah penambahan air adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6 Perbandingan Rancang Campur Awal, Setelah Penambahan air dan Rancang Campur Sony

	Rancang Campur Awal	Setelah Penambahan Air	Rancang Campur Sony [22]
Semen	375 kg	375 kg	375 kg
Air pencampur	94,84 kg	168 kg	88,5 kg
Agregat halus	745,51 kg	745,51 kg	750 kg
Agregat kasar	648,66 kg	648,66 kg	650,5 kg
FAS (w/c)	0,253	0,448	0,236

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran A

Pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai Faktor Air Semen (FAS) yang didapat pada rancang campur awal yaitu sebesar 0,253. Nilai tersebut tidak jauh berbeda jika dibanding FAS yang digunakan pada percobaan Sony yaitu 0,236. FAS dengan nilai tersebut tidak dapat digunakan pada campuran beton untuk mendapatkan *workability* yang baik karena campuran yang diperoleh cenderung terlalu kaku bahkan belum menyatu secara sempurna. Proses pemadatan yang dilakukan dengan FAS sebesar 0,2 tidak dapat dilakukan dengan pemadatan oleh tangan karena akan menimbulkan rongga udara pada benda uji dan slump yang dihasilkan sangat kecil. Sedangkan nilai slump yang diperoleh pada percobaan Sony adalah 8 cm, sehingga untuk menyetarakan nilai slump yang diperoleh dilakukan penambahan air. Fas yang diperoleh setelah dilakukan penambahan air adalah 0,448 dimana nilai FAS tersebut merupakan nilai yang cukup baik untuk kategori pemadatan tanpa vibrator.

Besarnya nilai slump yang diperoleh pada setiap pengecoran benda uji berkisar antara 8 – 8,5 cm. Pengukuran nilai slump dilakukan pada setiap adukan

beton yang dibuat. Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai slump sebagai berikut.

Tabel 4.7 Data Campuran Material dan Hasil Pengujian Slump

Tipe	Proporsi Campuran (kg/m ³)					Slump (cm)
	Semen	Agr.Halus	Agr.Kasar	Air	Total	
Pengecoran I	375	745,51	648,66	168	1937,17	8
Pengecoran II	375	745,51	648,66	168	1937,17	8,5
Pengecoran III	375	745,51	648,66	168	1937,17	8

Dari tabel 4.7 terlihat bahwa slump yang dihasilkan dapat mempunyai nilai yang berbeda meskipun proporsi campuran pengadukannya sama. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi dari material pencampurnya. Misalnya kandungan air yang ada dalam agregat halus pada pengecoran II lebih banyak dari pada saat pengecoran pertama. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kandungan air dalam agregat halus adalah kondisi kelembapan lingkungan.

4.3.2 Hasil Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pengujian berat isi beton segar dilakukan dengan cara menimbang berat beton segar yang dihasilkan. Pengujian dilakukan pada setiap pengadukan dengan volume besar, sehingga dapat dilakukan penimbangan berat isi beton segar.

Tabel 4.8 Data Berat Isi Beton Segar

Tipe	Berat Beton segar + Wadah (kg)	Berat Wadah (kg)	Berat Beton Segar (kg)	Volume Wadah (m ³)	Berat Isi Beton Segar (kg/m ³)
Pengadukan I	15,640	2,467	13,173	0,007092	1858
Pengadukan II	15,660	2,467	13,193	0,007092	1860
Pengadukan III	15,640	2,467	13,173	0,007092	1858

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa berat beton segar yang dihasilkan lebih rendah dari total berat material yang dimasukkan dalam campuran. Hal ini dapat disebabkan oleh menguapnya air karena panas hidrasi yang dihasilkan pada saat bereaksi dengan semen.

4.4 HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN BETON RINGAN MENERAS

Pada beton yang telah mengeras dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui sifat-sifat mekanis beton ringan yang dibuat dengan menggunakan agregat kasar dari limbah botol jenis *PET*. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis beton ringan antara lain adalah pengujian berat isi kering udara beton, kuat tekan beton, modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson, kuat lentur balok, kuat tarik belah, kuat tarik beton, kuat geser, susut dan rangkai beton.

Pengujian kuat tekan beton ringan dilakukan dengan tujuan sebagai pembandingan dengan hasil kuat tekan beton ringan yang dihasilkan pada pengujian skripsi terdahulu. Adapun hasil pengujian sifat-sifat mekanis beton ringan akan dibahas berikut ini.

4.4.1 Hasil Pengujian Berat Isi Kering Udara Beton

Pengujian berat isi kering beton ringan dilakukan pada umur beton 28 hari dengan benda uji silinder. Benda uji mengalami curing selama 27 hari dan dikeringkan udara selama 1 hari kemudian dilakukan pengujian. Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh berat isi kering udara sebagai berikut :

Tabel 4.9 Data Berat Isi kering Udara Rata-rata Beton Ringan

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
SB ₁₅ -1	9,607	15	30	0,00530	1812,64
SB ₁₅ -2	9,345	15	30	0,00530	1763,21
SB ₁₅ -3	9,323	15	30	0,00530	1759,06
SB ₁₅ -4	9,519	15	30	0,00530	1796,04
SB ₁₅ -5	9,332	15	30	0,00530	1760,75
SB ₁₅ -6	9,322	15	30	0,00530	1758,87
SB ₁₅ -7	9,342	15	30	0,00530	1772,38
Rata-rata					1774,71

Berat isi beton ringan rata-rata yang dihasilkan pada tabel 4.9 memperlihatkan bahwa berat isi kering udara beton yang dihasilkan termasuk dalam kategori berat beton ringan struktural yang disyaratkan SNI 03-3449-2002, yaitu beton yang mempunyai berat isi kering udara antara 1400-1850 kg/m³.

4.4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan pada benda uji beton ringan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Tujuan pengujian kuat tekan beton ringan ini selain untuk mengetahui nilai kekuatan tekan beton juga sebagai pembandingan dengan nilai kuat tekan beton pada pengujian skripsi sebelumnya (Sony). Hasil pengujian kuat tekan beton ringan dengan benda uji berbentuk silinder (15 × 30) cm berjumlah 2 buah dengan kode penamaan SB₁₅ dan silinder (10 × 20) cm berjumlah 3 buah dengan kode penamaan SK₁₀ dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.10 Data Kuat Tekan Beton Ringan

No	Kode	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata-rata (kg/cm ²)
1	SB ₁₅ -1	131.6348	129.5117
2	SB ₁₅ -2	127.3885	
3	SK ₁₀ -1	184.7134	181.5287
4	SK ₁₀ -2	178.3439	
5	SK ₁₀ -3	181.5287	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Dari tabel 4.10 dapat dilihat bahwa hasil kuat tekan yang diperoleh untuk setiap benda uji sangat kecil. Berikut adalah hubungan antara kuat tekan beton silinder berukuran (10 × 20) cm dengan silinder berukuran (15 × 30) cm.



Gambar 4.5 Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan dengan Ukuran Spesimen

Berdasarkan pengujian tersebut diperoleh faktor konversi kuat tekan dari silinder berukuran (10 × 20) cm menjadi kuat tekan silinder berukuran (15 × 30) cm yaitu 0,7135.

Nilai kuat tekan beton ringan umur 28 hari yang diperoleh pada penelitian sebelumnya, untuk tipe campuran yang sama dengan tipe campuran pada pengujian kali ini, adalah sebesar 270,757 kg/cm² atau 27,0757 MPa. Benda uji yang digunakan dalam pengujian sebelumnya adalah kubus berukuran (15 × 15 × 15) cm. Oleh karena itu, nilai tersebut harus dikonversi ke dalam nilai kuat tekan beton ringan untuk benda uji silinder berukuran (15 × 30) cm agar dapat dibandingkan nilai kuat tekannya. Rumus konversi yang digunakan [Wahyudi, Laurentius & Rahim, Syahril.A.,1999][19], yaitu :

$$f_c' = [0,76 + 0,2^{10} \log(f_{ck}'/15)] f_{ck}'$$

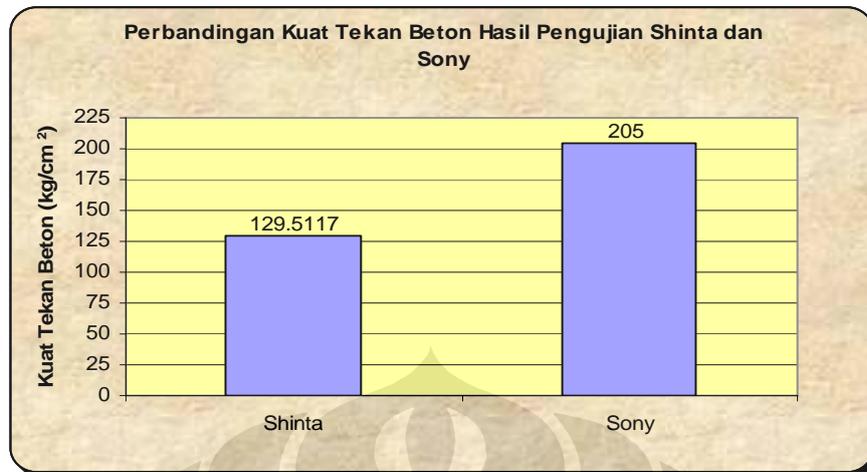
Dimana :

f_c' = Kuat tekan silinder ukuran (15 × 30) cm dalam MPa.

f_{ck}' = Kuat tekan kubus ukuran (15 × 15 × 15) cm dalam MPa.

Dengan memasukkan nilai kuat tekan kubus (f_{ck}') sebesar 27,0757 MPa ke dalam persamaan, didapat nilai kuat tekan silinder (f_c') sebesar 20,5 MPa atau 205 kg/cm². Nilai tersebut mempunyai perbedaan yang signifikan terhadap kuat tekan

yang dihasilkan pada pengujian kali ini, yang bernilai 129,5117 kg/cm². Berikut adalah grafik yang menyatakan perbandingan kuat tekan yang dihasilkan.



Gambar 4.6 Perbandingan Kuat Tekan Beton Hasil Pengujian Shinta dan Sony

Perbedaan yang sangat besar ini dapat disebabkan oleh perbedaan kehalusan permukaan agregat yang dihasilkan. Agregat yang digunakan pada penelitian kali ini mempunyai permukaan yang lebih halus dibanding agregat kasar ringan yang digunakan pada percobaan sebelumnya. Hal ini menyebabkan semakin lemahnya ikatan yang terjadi antara pasta semen dan agregat. Sehingga walaupun menggunakan rancang campuran yang sama diperoleh hasil uji tekan yang berbeda.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi kekuatan beton adalah bentuk dan gradasi agregat. Agregat yang berbentuk pipih mempunyai kekuatan yang lebih rendah dari pada agregat yang tidak pipih, sehingga apabila dalam agregat kasar yang digunakan pada campuran beton memiliki jumlah agregat pipih cukup banyak maka kekuatan beton tersebut lebih rendah dibanding jumlah agregat pipih yang sedikit. Apabila melihat karakteristik geometrik dari agregat *PET* pada percobaan kali ini dimana dihasilkan agregat berbentuk pipih dengan jumlah yang lebih banyak dari pada percobaan sebelumnya, sehingga kuat tekan yang dihasilkan juga lebih rendah.

Gradasi agregat kasar yang digunakan pada percobaan ini yaitu 25,4 -9,5 mm. Gradasi agregat ini merupakan gradasi yang digunakan juga pada percobaan sebelumnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan dari beton adalah

gradasi agregat. Kemungkinan besar gradasi agregat kasar yang digunakan pada campuran beton lebih dominan mendekati batas range terendah. Dengan kata lain terdapat kemungkinan bahwa pada penelitian kali ini jumlah agregat yang berukuran besar lebih sedikit dibanding pada penelitian sebelumnya. Sehingga didapat kuat tekan yang lebih rendah.

Selain berdasarkan perbedaan kehalusan permukaan, bentuk dan gradasi agregat yang dihasilkan, bentuk benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan antara percobaan kali ini dan percobaan sebelumnya juga berbeda. Pada percobaan kali ini, bentuk benda uji yang digunakan untuk uji kuat tekan adalah silinder sedangkan pada percobaan sebelumnya adalah kubus. Meskipun telah dikonversi bentuk dari kubus ke bentuk silinder, namun hasil yang diperoleh tetap jauh. Sehingga untuk mengetahui apakah perbedaan nilai kuat tekan yang besar antara dua nilai tersebut dipengaruhi oleh faktor bentuk, maka akan dilakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji kubus dengan menggunakan rancang campur yang sama.

Apabila hasil kuat tekan yang diperoleh dari pengujian ini dibandingkan dengan target kuat rencana, maka kuat tekan beton ringan yang diperoleh berdasarkan pengujian jauh lebih kecil. Kuat tekan rencana untuk beton ringan umur 28 hari adalah $287,2 \text{ kg/cm}^2$.

4.4.3 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dan Angka Perbandingan Poisson

Dasar yang digunakan untuk menghitung harga modulus elastisitas beton normal maupun beton ringan adalah mengacu pada rumus hooke [Nawy, Edward. G.,1990][13], yaitu:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

atau

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan pada saat beban kerja

ε = Regangan pada saat beban kerja

Dengan mengacu kepada rumus yang diberikan ASTM, maka rumus di atas diubah ke dalam bentuk:

$$E = \frac{(\sigma_n - \sigma_d)}{(\varepsilon_n - \varepsilon_d)}$$

Dimana:

E = modulus elastisitas

σ_n = tegangan pada saat beban n

σ_d = tegangan pada saat beban d

ε_n = regangan pada saat beban n

ε_d = regangan pada saat beban d

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas, maka dapat dibuat kerangka untuk menganalisa pengujian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson sebagai berikut :

- Dengan rumus di atas maka secara singkat dapat dikatakan bahwa modulus elastisitas dihitung dengan jalan membagi selisih tegangan dengan selisih regangan.
- Tegangan/regangan pada saat beban n diartikan sebagai tegangan/regangan pada suatu beban, misalnya pada saat beban mencapai 10 ton, 11 ton dan seterusnya.
- Tegangan/regangan pada saat beban d diartikan sebagai tegangan/regangan dasar yang diambil sebagai acuan dimulainya perhitungan modulus elastisitas, misalnya pada saat beban mencapai 5 ton. Hal ini dilakukan untuk menghindari kesalahan yang dapat terjadi. Kesalahan mungkin saja terjadi pada saat awal diman beban mulai diberikan, mungkin karena beban yang diberikan tidak sesuai dengan angka pada jarum penunjuk mesin karena terjadi slip pada mesin penekan, disamping itu penggunaan tegangan/regangan d juga dilakukan untuk menghindari terjadinya kesalahan pembacaan regangan akibat slip pada jarum penunjuk regangan pada saat awal jarum ini bergerak.
- Berdasarkan prosedur percobaan dari ASTM, maka pembacaan regangan pada siklus pertama tidak dimasukkan ke dalam perhitungan modulus elastisitas, sehingga perhitungan ini baru dilakukan pada siklus kedua sampai ke empat.

Hal ini dilakukan karena pada pembebanan siklus pertama terjadi regangan plastis, sedangkan pada siklus selanjutnya regangan plastis yang terjadi sudah sangat kecil sehingga dapat diabaikan, namun pembacaan regangan pada siklus pertama tetap dipakai untuk membuat grafik tegangan regangan. Berdasarkan pada metode di atas maka dilakukan perhitungan modulus elastisitas seperti yang terdapat pada lampiran.

Penentuan modulus elastisitas rata-rata untuk satu siklus dilakukan dengan metode regresi linier, sedangkan modulus elastisitas untuk satu benda uji benda uji didapat dengan merata-ratakan semua nilai modulus elastisitas dari setiap siklus. Pemakaian metode regresi linier dilakukan dengan anggapan bahwa hubungan antara regangan dengan tegangan yang terjadi masih dalam batas linier, yaitu dibawah 40% dari beban hancur.

Persamaan regresi linier yang digunakan adalah:

$$y = a.x + b$$

$$\sigma = E.\varepsilon + \text{regangan plastis pada siklus pertama/sebelumnya.}$$

Nilai koreksi untuk pembacaan dial deformasi horizontal :

$$e_r = 8,6 \text{ cm}$$

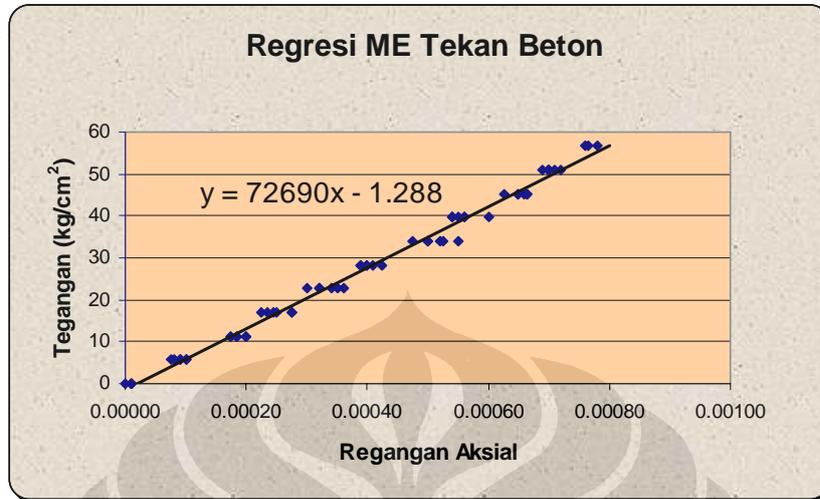
$$e_g = 17 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{nilai koreksi} &= e_r / (e_r + e_g) \\ &= 8,6 \text{ cm} / (8,6 \text{ cm} + 17 \text{ cm}) \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

Sehingga untuk perubahan lateral, nilai pembacaan harus dikalikan 0,33.

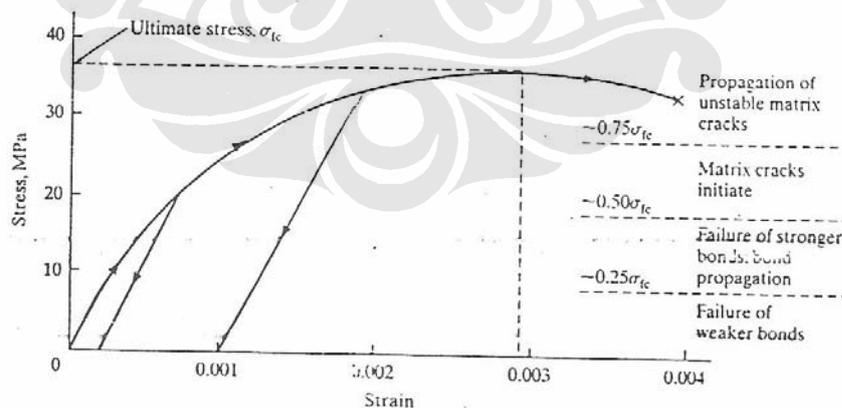
Untuk pembacaan perubahan aksial, nilai panjang awal (L_0) yang digunakan adalah sebesar 200 mm. Nilai tersebut merupakan panjang pengukur regangan aksial pada alat uji modulus elastisitas.

Nilai Modulus elastisitas diperoleh berdasarkan regresi antara tegangan dan regangan dimana batas yang diambil dalam pengujian adalah 40 % dari kuat tekan beton. Berikut adalah grafik regresi modulus elastisitas tekan beton.



Gambar 4.7 Grafik Regresi Modulus Elastisitas Tekan Beton Ringan

Gambar 4.7 memperlihatkan grafik regresi modulus elastisitas tekan beton ringan. Persamaan garis yang diperoleh merupakan persamaan garis linier. Hal ini disebabkan pengujian modulus elastisitas dilakukan dalam batas elastis sehingga perbandingan regangan dan tegangan masih konstan. Apabila pengujian dilakukan samapai beton hancur maka akan diperoleh grafik seperti berikut ini.



Sumber: J.F Young, The Science and Technology of Civil Engineering Material, 1993 [23]

Gambar 4.8 Grafik Tegangan Regangan Tekan Beton

Gambar 4.8 merupakan grafik tegangan regangan untuk beton normal. Grafik tersebut menggambarkan perilaku beton akibat tekan yang dilakukan sampai benda uji hancur. Apabila dibandingkan dengan gambar 4.7, maka terlihat bahwa pola perilaku beton ringan yang diperoleh pada gambar 4.7 mendekati pola perilaku pada gambar 4.8 selama fase elastis.

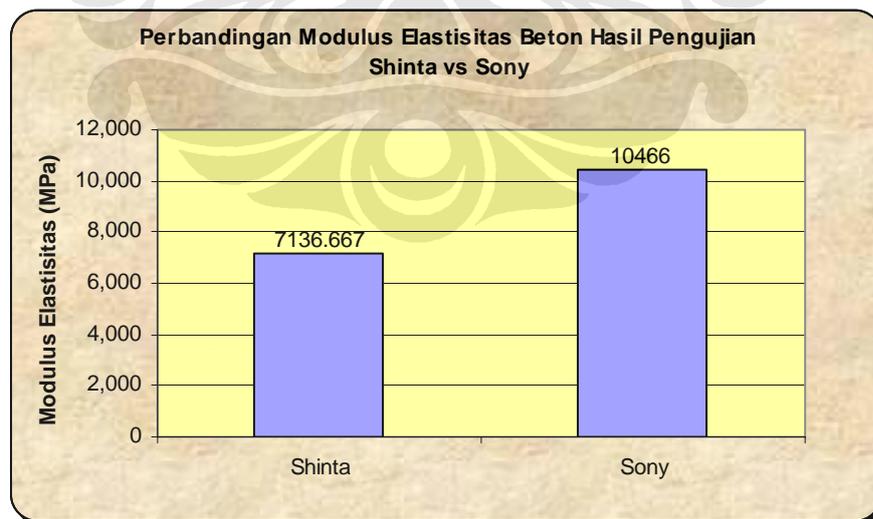
Untuk nilai modulus elastisitas tekan yang dihasilkan dari tiga buah benda uji dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.11 Data Modulus Elastisitas Beton Ringan

Jenis Beton	Modulus Elastisitas (Ec) (MPa)	Rata-rata (MPa)
SB ₁₅₋₃	6961.2667	7136.6667
SB ₁₅₋₄	7264.8333	
SB ₁₅₋₅	7183.9000	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Berdasarkan tabel 4.11 nilai modulus elastisitas yang diperoleh dari pengujian ini, yaitu sebesar 7136,67 MPa. Modulus elastisitas yang diperoleh pada penelitian sebelumnya yaitu sebesar 10466 MPa. Perbandingan nilai tersebut dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4.9 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Beton Hasil Pengujian Shinta dan Sony

Apabila kedua nilai tersebut dibandingkan, maka dapat dikatakan nilai modulus elastisitas dari dua kali pengujian berbeda cukup jauh. Hal ini dapat disebabkan oleh kekakuan benda uji dari dua kali pengujian berbeda. Kekakuan benda uji Sony lebih besar dari pada kekakuan benda uji pada percobaan kali ini.

Modulus Elastisitas untuk beton normal dapat dihitung secara teori berdasarkan rumus yang mengacu kepada standar ACI Codes 318-83, yaitu :

$$E_c = 0,043 \times w^{1,5} \times \sqrt{f_c'}$$

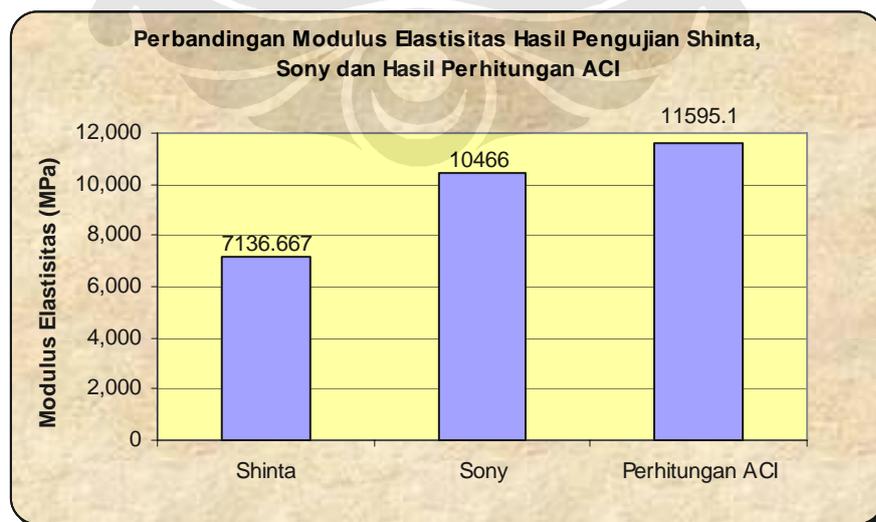
Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

w = Berat isi beton (kg/m^3)

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

Dengan memasukkan nilai berat isi beton dan kuat tekan dari benda uji, maka didapat nilai modulus elastisitas secara teori. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh berdasarkan rumus di atas adalah sebesar 11595,10 MPa. Namun nilai tersebut adalah nilai yang diperoleh untuk beton normal. Apabila nilai modulus elastisitas tersebut dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas dari hasil pengujian, maka nilai modulus elastisitas pengujian dapat dikatakan mendekati nilai modulus elastisitas secara teori. Perbandingan nilai modulus elastisitas terhadap hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.10 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Beton Hasil Pengujian Shinta, Sony dan Hasil Perhitungan ACI

Berdasarkan hasil yang tertera pada gambar 4.10, dapat dilihat bahwa hasil modulus elastisitas pada pengujian Shinta lebih kecil dibanding pengujian Sony. Hal tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan kekakuan yang dihasilkan. Perbedaan kuat tekan yang dihasilkan pada pengujian Shinta dan Sony dapat memberikan gambaran mengenai kekuatan dari benda uji tersebut dimana kuat tekan Sony lebih besar dari Shinta sehingga modulus elastisitas yang dihasilkan juga lebih besar. Selain itu, pada pengolahan data modulus elastisitas pada percobaan Sony belum dilakukan koreksi terhadap nilai regangan lateral dan aksial. Sehingga hasil yang diperoleh pada percobaan Sony belum merupakan hasil akhir dari nilai modulus elastisitasnya.

Apabila kedua hasil percobaan dibandingkan terhadap rumus empiris ACI untuk beton normal yaitu sebesar 11595,1 MPa maka modulus elastisitas yang diperoleh dari percobaan mempunyai nilai yang lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh rumus empiris yang digunakan merupakan rumus untuk beton normal dimana modulus elastisitas beton normal jauh lebih besar dibanding beton ringan.

Angka perbandingan Poisson adalah angka yang menyatakan perbandingan dari perubahan lateral terhadap aksial. Untuk menghitung angka perbandingan Poisson, digunakan rumus dasar yaitu:

$$\nu = \frac{\epsilon_{\text{lateral}}}{\epsilon_{\text{aksial}}}$$

Dengan mengacu kepada rumus yang diberikan oleh ASTM, maka seperti pada perhitungan modulus elastisitas rumus tersebut diubah ke dalam bentuk:

$$\nu = \frac{(\epsilon_{\text{lat}_n} - \epsilon_{\text{lat}_d})}{(\epsilon_{\text{aks}_n} - \epsilon_{\text{aks}_d})}$$

Dimana:

ν = angka perbandingan poisson

ϵ_{lat_n} = regangan lateral pada saat beban n

ϵ_{lat_d} = regangan lateral acuan pada saat beban d

ϵ_{aks_n} = regangan aksial pada saat beban n

ϵ_{aks_d} = regangan aksial acuan pada saat beban d

Persamaan regresi linier yang digunakan untuk menghitung, angka perbandingan Poisson adalah

$$Y = ax + b$$

Persamaan Regresi Linier tersebut dapat dianalogikan, menjadi :

$$\varepsilon_{\text{lateral}} = \nu \cdot \varepsilon_{\text{aksial}} + \text{konstant}$$

Dimana :

$\varepsilon_{\text{lateral}}$ = Deformasi total pada arah melintang dibagi diameter benda uji

$\varepsilon_{\text{aksial}}$ = Deformasi total pada arah memanjang dibagi panjang ukur benda uji

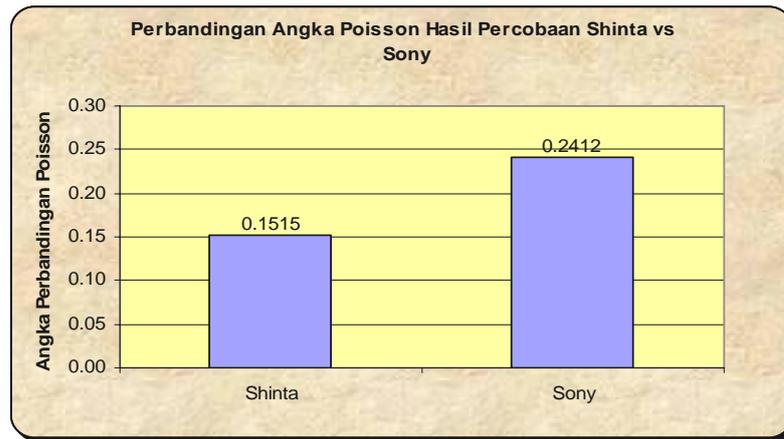
Hasil penelitian angka perbandingan Poisson beton ringan dengan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik *PET* disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4.12 Data Angka Perbandingan Poisson Beton Ringan

Jenis Beton	Poisson' s Ratio (ν)	Rata-rata (ν)
SB15-3	0.1563	0.1515
SB15-4	0.1567	
SB15-5	0.1416	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Angka perbandingan Poisson (koefisien kontraksi) untuk material beton normal pada umumnya adalah 0,15 hingga 0,20. Nilai angka perbandingan Poisson yang dihasilkan yaitu sebesar 0,1515 termasuk dalam range nilai Poisson beton. Dengan membandingkan terhadap penelitian sebelumnya, maka angka perbandingan Poisson yang dihasilkan pada percobaan ini memiliki perbedaan yang cukup jauh dengan angka Poisson sebelumnya yaitu 0,2412. Sehingga dapat dikatakan perbandingan angka Poisson dari dua kali percobaan mengalami perbedaan yang signifikan. Perbedaan angka perbandingan Poisson dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 4.11 Perbandingan Angka Poisson Hasil Pengujian Shinta dan Sony

Sama halnya seperti pada nilai modulus elastisitas Sony, nilai angka perbandingan Poisson yang dihasilkan pada percobaan Sony juga belum merupakan nilai akhir, karena pada percobaan Sony belum dilakukan koreksi terhadap regangan aksial dan lateral.

4.4.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengetesan kuat lentur pada benda uji menghasilkan patahan yang terletak 1/3 bentang tengah. Nilai maksimum yang terjadi pada saat benda uji patah menjadi 2 bagian dimasukkan ke dalam rumus:

$$f'_r = \frac{PL}{bd^2}$$

Dimana:

P = beban maksimum pada saat benda uji patah

L = Panjang bentang/ jarak perletakan, yaitu 45 cm

B = lebar rata-rata benda uji, yaitu 15 cm

D = tinggi rata-rata benda uji, yaitu 15 cm

Tabel 4.13 Data Kuat Tekan Lentur Beton Ringan

No	Kode	Tegangan Lentur (kg/cm ²)	Tegangan Rata-rata (kg/cm ²)
1	BL-1	12.2324	12.4136
2	BL-2	12.9119	
3	BL-3	12.0965	

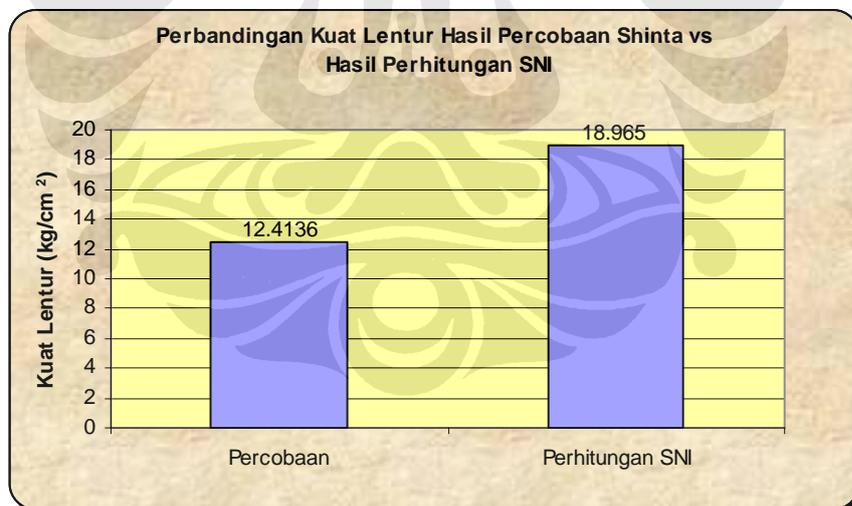
Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Hubungan kuat lentur dengan kuat tekan oleh ACI dirumuskan sebagai berikut :

$$f_r = 7.5\sqrt{f_c'} \text{ (Psi) atau } f_r = 0.62\sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

Rumus tersebut digunakan untuk beton berbobot normal, sedangkan untuk beton ringan berpasir nilai yang diperoleh dari persamaan tersebut dikalikan dengan faktor 0,85 untuk beton ringan berpasir.

Sehingga berdasarkan hubungan dengan nilai tekan yang dihasilkan oleh beton ringan dapat dihitung nilai kuat lentur dengan memasukkan kedalam rumus di atas. Nilai kuat lentur yang diperoleh dengan memasukkan kuat tekan yang didapat adalah $18,965 \text{ kg/cm}^2$. Apabila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pengujian yaitu sebesar $12,4136 \text{ kg/cm}^2$, maka nilai kuat lentur tersebut mendekati nilai kuat lentur yang didapat dengan memasukkan kuat tekannya namun berada di bawah nilai tersebut. Sehingga berdasarkan hubungan dengan nilai kuat tekannya, nilai kuat lentur beton ringan tersebut tidak mencapai nilai kuat lentur secara teori. Grafik berikut menyatakan perbedaan kedua nilai yang diperoleh.



Gambar 4.12 Perbandingan Kuat Lentur Hasil Percobaan dan Perhitungan

Koefisien pengali pada rumus empiris yang diturunkan berdasarkan hubungan antara kuat tekan beton ringan yang dihasilkan ($12,95117 \text{ MPa}$) dengan kuat lentur pada penelitian kali ini ($1,24136 \text{ MPa}$), yaitu :

$$f_r = 0,35\sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

Rumus empiris tersebut mungkin tidak representatif, karena jumlah sampel yang digunakan untuk pengujian sedikit. Namun rumus tersebut dapat memberikan gambaran mengenai hubungan kuat tekan beton ringan beragregat kasar *PET* dengan kuat lentur yang dihasilkan.

4.4.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Nilai kuat tarik belah diperoleh dengan memasukkan harga maksimum pada saat benda uji mengalami kehancuran dan terbelah menjadi 2 bagian dimasukkan ke dalam rumus:

$$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi DL}$$

Dengan:

P = Beban maksimum pada saat benda uji terbelah

D = diameter benda uji sebelum pengetesan

L = Panjang benda uji sebelum pengetesan

Tabel 4.14 Data Kuat Tarik Belah Beton Ringan

No	Kode	Kuat Tarik Belah (kg/cm ²)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (kg/cm ²)
1	SB ₁₅ -3	14.7148	14.6959
2	SB ₁₅ -4	14.7499	
3	SB ₁₅ -5	14.6230	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Data yang diperoleh pada pengujian kuat tarik belah beton berupa beban maksimum yang digunakan pada sampel beton sampai sampel mengalami keruntuhan.

Dalam SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 ditetapkan bahwa besarnya nilai kuat tarik memiliki hubungan dengan nilai kuat tekan beton, yaitu sebagai berikut :

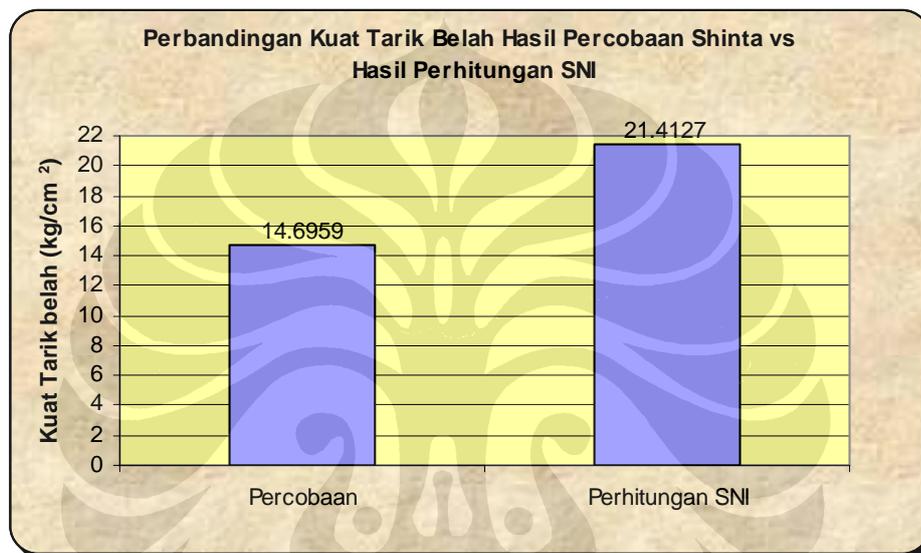
$$f_r = 0,70\sqrt{f'_c} \quad \text{untuk beton normal}$$

Dimana :

f_r = Nilai kuat tarik belah balok beton (MPa)

f'_c = Nilai kuat tekan beton (MPa)

Dengan f_r dan f_c' dalam MPa. Harga f_r ini harus dikalikan faktor 0,85 untuk beton ringan berpasir. Sehingga berdasarkan hubungannya dengan kuat tekan beton, dapat diperoleh nilai kuat tarik belah yaitu sebesar 21,4127 kg/cm². Dari tabel 4.14 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik belah dari hasil percobaan yaitu sebesar 14,6959 kg/cm². Nilai ini mempunyai perbedaan yang cukup jauh terhadap nilai dari kuat tarik belah yang merupakan hasil dari perhitungan terhadap kuat tekannya. Berikut ini adalah grafik yang menyatakan perbedaan dari kedua nilai tersebut.



Gambar 4.13 Perbandingan Kuat Tarik Belah Hasil Percobaan dan Perhitungan

Koefisien pengali pada rumus empiris yang diturunkan berdasarkan hubungan antara kuat tekan beton ringan yang dihasilkan (12,95117 MPa) dengan kuat tarik belah pada penelitian kali ini (1,46959MPa), yaitu :

$$f_r = 0,41\sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

Rumus empiris tersebut mungkin tidak representatif, karena jumlah sampel yang digunakan untuk pengujian sedikit. Namun rumus tersebut dapat memberikan gambaran mengenai hubungan kuat tekan beton ringan beragregat kasar *PET* dengan kuat tarik belah yang dihasilkan.

4.4.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik

Nilai kuat tarik beton (*direct tensile*) diperoleh dengan membagi beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah dengan luas bidang patahnya. Berdasarkan pengujian kuat tarik beton yang dilakukan didapat hasil sebagai berikut.

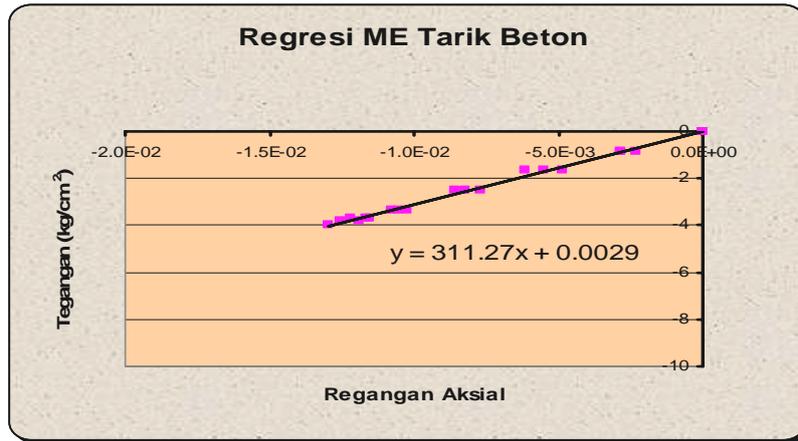
Tabel 4.15 Data Kuat Tarik Beton Ringan

No	Kode	Kuat Tarik Beton (kg/cm ²)	Rata-rata (kg/cm ²)
1	BUB ₈ -1	3.945	3.945
2	BUB ₈ -2	3.778	
3	BUB ₈ -3	4.111	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

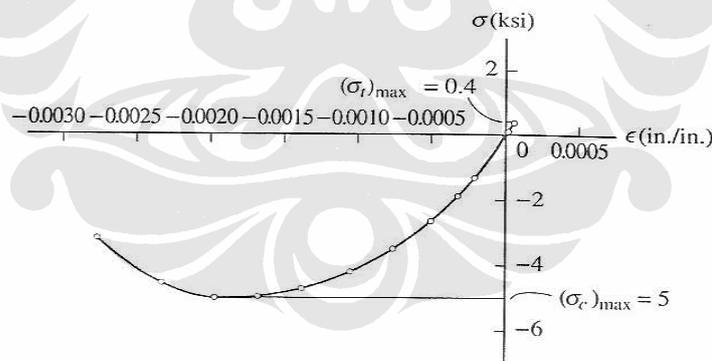
Pengujian kuat tarik ini adalah untuk mengetahui ikatan antara agregat dan pasta semen. Dari tabel 4.15 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik beton lebih kecil dibanding kuat tarik agregat itu sendiri yaitu sebesar 7,478 kg/cm². Hal ini ini dapat disebabkan oleh sifat adhesif antara agregat dan pasta semen lebih kecil dibanding sifat kohesif agregat itu sendiri. Permukaan agregat yang licin dan sulit mengikat pasta semen menjadi salah satu alasan lemahnya ikatan pada beton tersebut. Selain itu beton bersifat getas sehingga kuat tarik beton lebih kecil dibandingkan dengan kuat tarik agregat kasar ringan itu sendiri.

Sama halnya seperti uji tarik pada agregat, maka uji tarik beton ini selain menghasilkan nilai kuat tarik juga dapat menghasilkan modulus elastisitas tarik beton. Tabel berikut memaparkan hasil regresi dari modulus elastisitas tarik beton.



Gambar 4.14 Grafik Regresi Modulus Elastisitas Tarik Beton Ringan

Gambar 4.14 merupakan grafik regresi modulus elastisitas tarik beton dari semua benda uji. Pada grafik tersebut diperoleh persamaan garis yang linier. Hal tersebut menandakan bahwa beton ringan mempunyai sifat yang getas (*brittle*). Salah satu sifat dari material getas adalah pada saat mengalami tarik, beton tersebut tidak sempat berdeformasi terlebih dahulu. Penambahan tegangan akan mengakibatkan material tersebut putus seketika. Berikut ini merupakan kurva tegangan regangan tarik beton normal.



Sumber: R.C Hibbeler, Mechanics of Material, 2003 [24]

Gambar 4.15 Grafik Regangan Tegangan Tarik Beton Normal

Apabila dilakukan perbandingan antara kedua kurva tersebut maka diperoleh perilaku yang hampir sama antara beton ringan *PET* dan beton normal. Untuk nilai modulus elastisitas tarik yang dihasilkan dari tiga buah benda uji dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.16 Data Modulus Elastisitas Tarik Beton Ringan

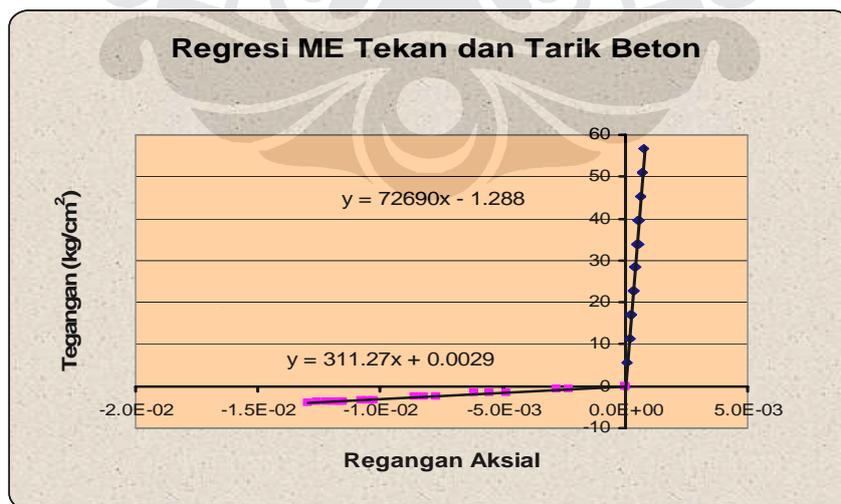
Kode	Modulus Elastisitas (Ec) (MPa)	Rata-rata (MPa)
BUB _g -1	31.9940	31.0930
BUB _g -2	30.8190	
BUB _g -3	30.4660	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Nilai modulus elastisitas tarik yang dihasilkan adalah 31,0930 MPa. Apabila dibandingkan terhadap modulus elastisitas tekan beton ringan, maka nilai tersebut sangat jauh. Hal ini disebabkan beton ringan lebih kuat menerima beban tekan dibandingkan dengan beban tarik. Sehingga nilai modulus elastisitas tarik yang didapat akan lebih kecil dari modulus elastisitas tekannya.

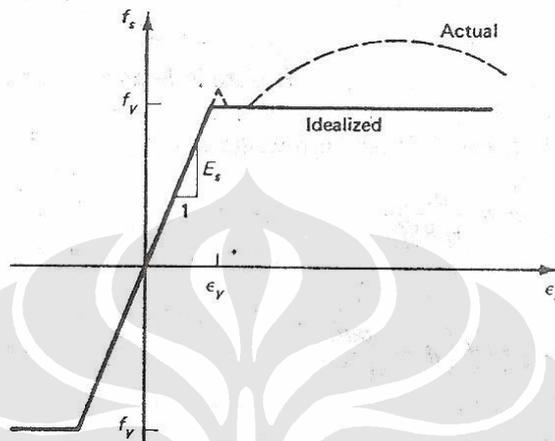
Hasil nilai modulus tarik beton ringan yang diperoleh yaitu sebesar 31,0930 MPa lebih kecil bila dibandingkan dengan modulus elastisitas agregat sebesar 37.0788 MPa. Sehingga untuk regangan yang sama agregat PET mempunyai kuat tarik lebih besar dibandingkan beton ringan.

Apabila kita menggabungkan grafik tegangan regangan tekan dan tarik beton ringan yang didapat dari hasil pengujian, maka akan diperoleh grafik sebagai berikut.



Gambar 4.16 Grafik Regresi Modulus Elastisitas Tekan dan Tarik Beton Ringan

Grafik tersebut menggambarkan perilaku beton ringan *PET* dalam menerima tarik dan tekan. Untuk bagian kurva tegangan regangan tekan tidak menggambarkan perilaku beton ringan hingga hancur karena pengujian dilakukan dalam batas elastis. Berikut ini adalah gambaran kurva tegangan regangan beton normal.



Sumber: Edward Nawy, Reinforced Concrete A-Fundamental Approach, 1990 [13]

Gambar 4.17 Kurva Tegangan Regangan Tekan dan Tarik Beton Normal

Apabila gambar gambar 4.17 dibandingkan terhadap gambar 4.16, dapat dikatakan bahwa grafik 4.16 mendekati grafik 4.17. Ini menandakan bahwa pola perilaku beton ringan *PET* mendekati pola perilaku beton normal. Namun regangan tarik pada beton ringan memiliki nilai regangan yang lebih besar dibandingkan beton normal.

4.4.7 Hasil Pengujian Kuat Geser

Pada pengujian ini diperoleh data berupa beban maksimum yang digunakan pada sample beton sampai sampel mengalami kehancuran akibat geser. Data yang didapat kemudian diolah sehingga diperoleh tegangan geser beton pada umur yang bersangkutan.

Tabel 4.17 Data Kuat Geser Beton Ringan

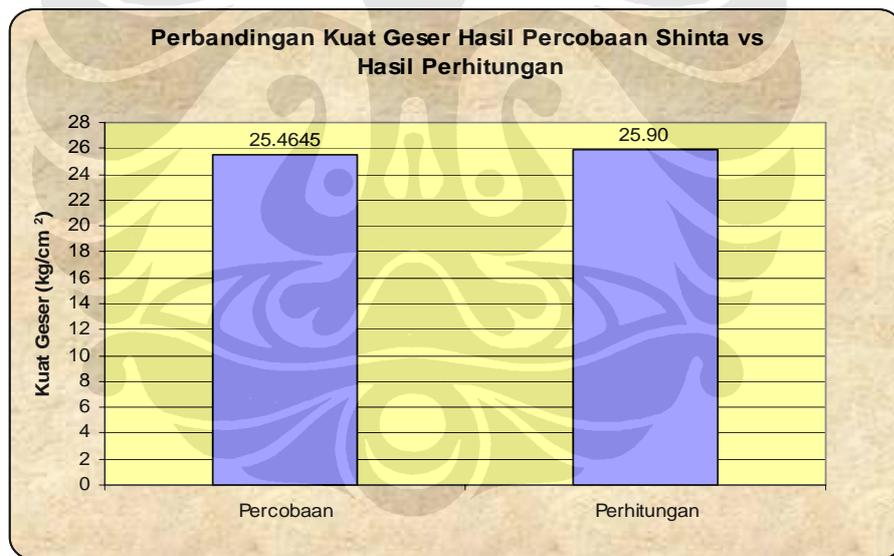
NO	KODE	TEGANGAN GESER (kg/cm ²)	TEG. RATA-RATA (kg/cm ²)
1	SK ₁₀ -4	27.5000	25.4645
2	SK ₁₀ -5	23.7685	
3	SK ₁₀ -6	25.1250	

Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran C

Kekuatan geser beton memiliki hubungan dengan kekuatan tekan beton untuk beton normal (Nawy, Edward. G., 1990) [13], yaitu:

$$\sigma_{\text{geser}} = 20\% \cdot \sigma_{\text{tekan}}$$

Dengan memasukkan nilai kuat tekan beton ringan beton ringan diperoleh nilai kuat geser sebesar 25,90 kg/cm². Nilai tersebut sangat mendekati nilai yang diperoleh dari hasil percobaan yaitu sebesar 25,4645 kg/cm².

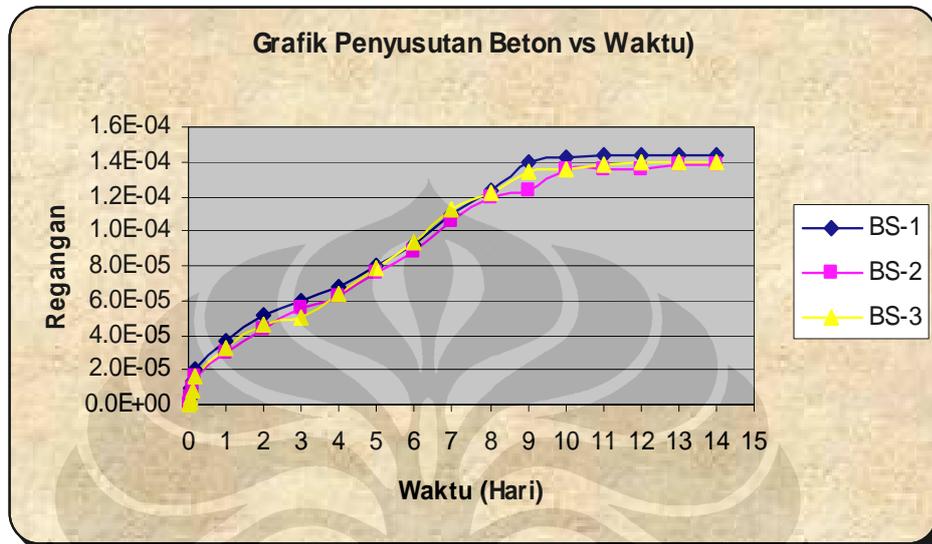


Gambar 4.11 Perbandingan Kuat Geser Hasil Percobaan dan Hasil Perhitungan

4.4.8 Hasil Pengujian Susut

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui susut beton akibat terjadinya proses hidrasi selama beton mengeras. Panas ini dapat mengurangi volume air pada beton dan dapat mengakibatkan keretakan. Pada penelitian ini, susut beton

yang terbaca pada dial tidak terlalu spesifik. Hal ini disebabkan karena range ukur dari dial yang terlalu besar sehingga tingkat ketelitiannya rendah. Berikut adalah grafik yang dihasilkan oleh 3 buah benda uji susut. Dimana semakin lama waktunya semakin kecil susut beton yang terjadi. Ini menandakan proses hidrasi beton akan selesai.

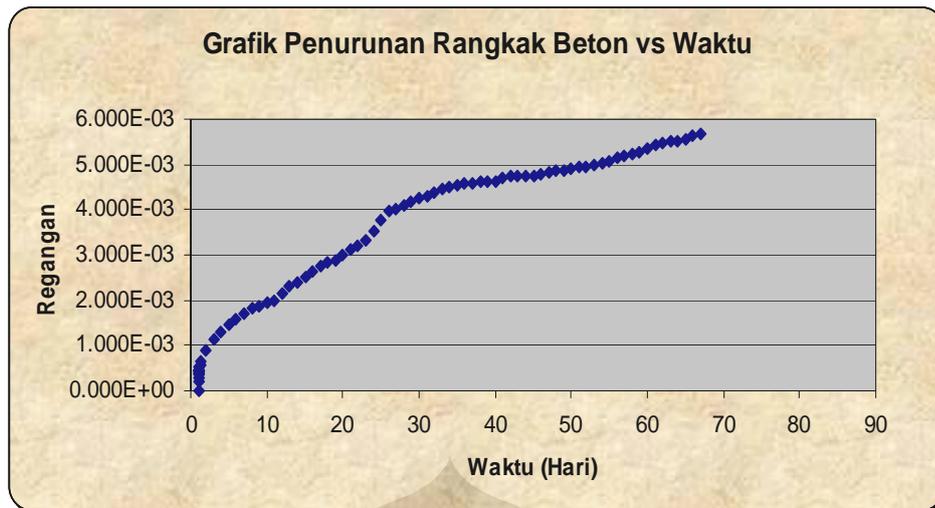


Gambar 4.12 Hubungan Regangan Susut Beton Ringan dengan waktu

Pada gambar 4.12 dapat dilihat bahwa susut yang terjadi pada benda uji menghasilkan data yang tidak jauh berbeda. Namun susut yang terjadi mulai hari ke-10 sangat kecil sehingga tidak terbaca oleh dial. Hal ini disebabkan oleh dial yang digunakan merupakan dial dengan ketelitian 0,01 mm sedangkan untuk pengujian susut sebaiknya digunakan dial mikron; Sehingga perubahan benda uji tetap dapat terbaca walaupun perubahan yang terjadi kecil.

4.4.9 Hasil Pengujian Rangkak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui rangkak beton akibat pembebanan dalam waktu yang lama. Beban yang diberikan pada benda uji rangkak ini sebesar 5 ton, ini disebabkan oleh kuat tekan beton yang rendah. Berikut adalah grafik antara waktu terhadap regangan yang terjadi.



Gambar 4.13 Hubungan Regangan Rangkak Beton Ringan dengan Waktu

Agregat dari bahan PET merupakan agregat yang cukup elastis sehingga rangkak yang terjadi pada benda uji ini cukup besar bila dibandingkan dengan rangkak beton normal. Untuk membandingkan hasil rangkak beton ringan dengan beton normal dapat menggunakan persamaan Branson sebagai pembandingnya. Persamaan branson yang digunakan, yaitu :

$$C_t = \frac{t^c}{d + t^c} C_u \times f_k$$

Dimana :

C_t = Koefisien rangkak, yaitu perbandingan antara regangan rangkak pada umur t dengan regangan rangkak awal

t = Waktu setelah pembebanan (hari)

d = Konstanta (digunakan nilai 10)

c = Konstanta (digunakan nilai 0.6)

C_u = Koefisien rangkak batas : 1.30 untuk batas bawah

2.35 untuk nilai rata-rata

4.15 untuk batas atas

f_k = Faktor koreksi untuk berbagai kondisi

umur pembebanan 28 hari : 0.84

nilai slump : $0.82 + 0.067 \times \text{slump (inci)}$

%pasir /agregat : $0.88 + 0.0024 \times (\% \text{pasir})$

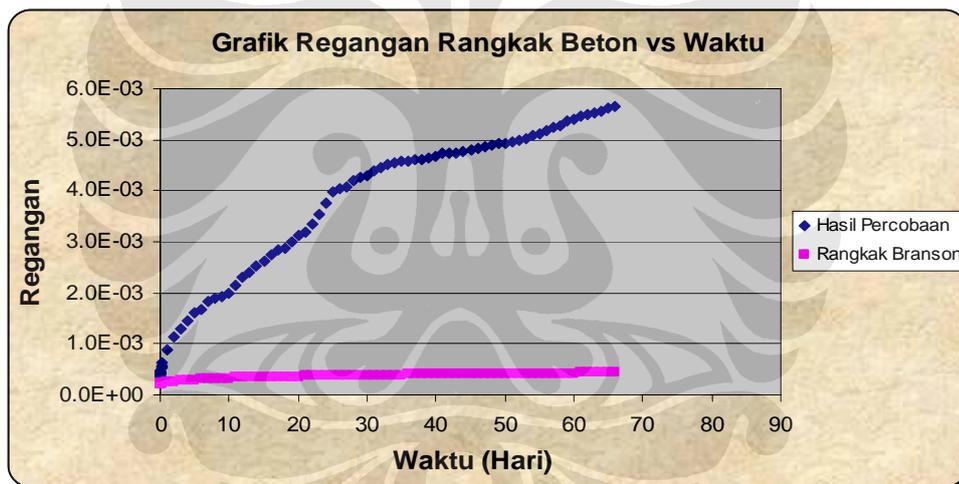
Contoh perhitungan:

Pada $t = 7$ hari, $C_u = 2,35$ untuk nilai rata-rata, beton ringan dengan slump 8 cm = 3,15 inci, dan % pasir = 40 %

- Regangan awal = $2,17 \times 10^{-4}$
- $C_t = \frac{7^{0,6}}{10 + 7^{0,6}} \times 2,35 \times (0,84 \times 1,031 \times 0,881) = 0,4361$
- Rangkak 7 hari = $0,4361 \times 2,17 \times 10^{-4} = 0,9463 \times 10^{-4}$
- Regangan setelah 7 hari = $2,17 \times 10^{-4} + 0,9463 \times 10^{-4} = 3,1163 \times 10^{-4}$

Untuk pengolahan data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran C.

Berikut ini adalah grafik perbandingan antara regangan akibat rangkakan yang terjadi pada beton ringan dengan regangan yang dihasilkan dari persamaan branson.



Gambar 4.14 Hubungan Regangan Rangkakan Beton Ringan dengan Persamaan Branson untuk Beton Normal

Pada gambar 4.14 dapat dilihat bahwa regangan rangkakan yang dihasilkan dari percobaan jauh lebih besar dari regangan rangkakan yang dihasilkan pada persamaan Branson. Hal ini disebabkan oleh persamaan branson adalah persamaan yang digunakan untuk beton normal dan regangan yang dihasilkan pada beton ringan akan lebih besar dari regangan beton normal. Karena kekakuan pada beton ringan lebih rendah dari kekakuan beton normal. Hal ini dapat terlihat dari modulus elastisitas yang dihasilkan.

Apabila dilakukan rekapitulasi perbandingan antara hasil Sony dan Shinta untuk sifat mekanis beton secara keseluruhan didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.18 Perbandingan Hasil Penelitian Sony dan Shinta

Jenis Pengujian		Sony [22]	Shinta	Perbedaan
Kuat tekan agregat		68,344 kg/cm ²	70,167 kg/cm ²	9,72 %
Kuat tekan beton		205 kg/cm ²	129,51 kg/cm ²	36,82 %
Modulus	Tanpa koreksi	10466 MPa	-	-
Elastisitas	Dengan koreksi	6915,19	7136,67 MPa	3,10 %
Poisson's ratio	Tanpa koreksi	0,2412	-	-
	Dengan koreksi	0,1653	0,1515	8,35 %

Untuk pengujian sifat mekanis lainnya dimana tidak dilakukan pengujian pada skripsi sebelumnya, maka hasil yang diperoleh dibandingkan terhadap hasil secara teoritis. Perbandingan tersebut dinyatakan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.19 Perbandingan Hasil Penelitian Shinta dan Hasil Teoritis

Jenis Pengujian	Teoritis	Shinta	Perbedaan
Kuat lentur balok	18,97 kg/cm ²	12,41 kg/cm ²	34,58 %
Kuat tarik belah	21,41 kg/cm ²	14,70 kg/cm ²	31,34 %
Kuat geser	25,46 kg/cm ²	25,90 kg/cm ²	1,70 %

4.5 ANALISA BIAYA

Berdasarkan perhitungan rancang campur yang dilakukan dengan metode SNI 03-3449-2002, diperoleh proporsi campuran beton ringan setiap 1 m³ adalah sebagai berikut :

- Semen = 375 kg
- Air Pencampur = 168 kg
- Agregat halus = 745,51 kg
- Agregat kasar ringan = 648,66 kg

Mengacu pada proporsi campuran tersebut maka perhitungan biaya per Juli 2007 yang dikeluarkan untuk pembuatan beton ringan setiap 1 m³ adalah :

- Semen

Kebutuhan semen sebesar 375 kg	= ± 8 zak semen	
1 zak semen		= Rp.48.000
Perhitungan harga semen	= 8 × Rp.48.000	= Rp.384.000
- Air Pencampur

Kebutuhan air pencampur	= 168 kg	
-------------------------	----------	--
- Agregat halus

Kebutuhan pasir sebesar 745,51 kg	= ± 0,5 m ³	
1 m ³ agregat halus		= Rp.140.000
Perhitungan harga agregat halus	= 0,5 × Rp.140.000	= Rp.70.000
- Agregat kasar ringan

Kebutuhan agregat kasar	= 648,66 kg	
Kebutuhan botol plastik	= 648,66 kg : 0,8 = 811 kg	
1 kg botol plastik		= Rp.3.000
Perhitungan harga agregat kasar	= 811 kg × Rp.3.000	= Rp.2.433.000
- Minyak tanah

Penggunaan minyak tanah	= 1 liter/5 kg botol plastik	
1 liter minyak tanah		= Rp.2500
Perhitungan harga minyak tanah	= 811 kg × 1/5 kg × Rp.2500	= Rp.405.500

Total harga per m³ campuran beton ringan = Rp.3.292.500

Harga campuran beton ringan setiap 1 m³ yang diperoleh berdasarkan perhitungan di atas yaitu sebesar Rp.3.292.500. Nilai tersebut merupakan nilai yang cukup mahal untuk pembuatan rancang campur per m³. Biaya terbesar dalam pembuatan beton ringan adalah pada saat penyediaan bahan baku botol plastik *PET*. Proses penyediaan agregat kasar dilakukan dengan membeli botol plastik pada pengumpul, ini menjadi salah satu faktor yang menjadikan besarnya biaya penyediaan agregat. Pada umumnya, harga yang harus dikeluarkan untuk 1 m³ beton normal K350 adalah Rp.425.000. Apabila dilakukan perbandingan antara harga beton normal per m³ dengan harga beton ringan per m³ akan diperoleh harga beton normal yang jauh lebih murah dari pada beton ringan.