

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan memuat hasil dan analisa dari prosedur pengujian material yang dilakukan terhadap agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik HDPE (high-density polyethylene), agregat halus dan pengujian terhadap 10 tipe campuran beton ringan yang menggunakan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik HDPE yaitu : BR_A - K₁₅, BR_B - K₁₅, BR_A - S₁₅, BR_B - S₁₅, BR_C - K₅, BR_D - K₅, BR_E - K₅, BR_F - K₅, BR_G - K₅ dan BR_H - K₅. Penjelasan lebih lengkap mengenai tipe campuran beton ringan tersebut terdapat pada bab sebelumnya (BAB III halaman 55).

Pengujian yang dilakukan terhadap campuran beton ringan meliputi pengujian terhadap beton segar dan beton yang telah mengeras pada umur 7 hari serta 28 hari. Hasil pengujian yang didapat akan dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan terdahulu terhadap limbah botol plastik (PET) oleh [Sony Aria Wiryawan, 2007][20] dan dijabarkan dalam bentuk uraian, tabel dan grafik.

4.1. KARAKTERISTIK GEOMETRIK AGREGAT BUATAN

Karakteristik yang terlihat dari pembuatan agregat kasar ringan limbah botol plastik HDPE dapat dilihat pada lampiran B dan bila dibandingkan dengan PET dalam bentuk tabel adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Karakteristik Geometik Agregat Kasar Ringan Plastik

Karakteristik Agregat	HDPE	PET*
Bentuk	Tidak beraturan, pipih, dan bersudut	Tidak beraturan, bersudut
Tekstur Permukaan	Licin (halus) dan mengkilap	Licin (halus)
Ukuran maksimum agregat	25 mm	25 mm
Warna	Abu-abu, coklat dan hijau	Coklat dan hijau

Tebal maksimum agregat	30 mm	30 mm
------------------------	-------	-------

*Sumber : Sony Aria Wiryawan, 2007 [20]

Dari tabel 4.1 dapat terlihat bahwa agregat kasar ringan buatan dari limbah plastik HDPE mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan PET dan agregat kasar pada umumnya yaitu mempunyai bentuk yang tidak beraturan dan bersudut, bentuk ini didapatkan dari pemecahan agregat secara manual dengan menggunakan palu karet maupun palu besi.

Perbedaan yang terlihat mencolok terdapat pada warna agregat kasar ringan plastik. Untuk tipe HDPE memiliki warna abu-abu coklat dan hijau sedangkan PET berwarna hijau dan coklat, warna yang dihasilkan agregat HDPE tergantung dari warna asal dari botol plastiknya, dapat dilihat di tabel 4.2.

Tabel 4.2 Warna Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE

Jenis Botol Pelumas	Warna Botol	Warna Agregat
Castrol	Coklat	Coklat
Federal	Merah	Coklat
Pertamina	Merah, Silver	Abu-abu
Repsol	Biru	Hijau
Shell	Biru, Hijau dan Kuning	Hijau

Sedangkan hal yang sangat menjadi perhatian dari agregat kasar ringan plastik adalah tekstur dari permukaan agregat tersebut, dimana pada tipe HDPE mempunyai tekstur yang lebih halus, lebih licin serta mengkilap (*polished*) bila terkena sinar, tekstur seperti ini dihasilkan karena kurang bersihnya bahan HDPE yang dibakar, dari sisa-sisa oli pelumas sehingga oli tersebut menempel pada permukaan agregat walaupun oli tersebut telah mengalami pembakaran namun tetap tidak menguap selama proses pembakaran.

Hal ini dkuatirkan dapat mempengaruhi ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan buatan dan dapat menurunkan mutu beton yang dihasilkan. Akan tetapi tekstur permukaan agregat bukanlah suatu kondisi kritis yang dapat

mempengaruhi kualitas dari beton ringan yang dihasilkan [Popovics Sandor, 1979][19], namun merupakan sesuatu yang penting untuk diperhatikan.

4.2. HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN AGREGAT

4.2.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar Ringan Buatan Dari Limbah Botol Plastik (HDPE)

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

Tabel 4.3. Perbandingan Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Dengan PET

Pengujian	HDPE	PET*	Selisih (%)
Apparent Spesific Gravity	0,952	1,322	27,98
Bulk Spesific Gravity	0,954	1,316	27,51
Absorpsi (%)			
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-1	0,817	1,140	28,33
Berat Isi Kering (kg/m ³)			
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-2	545	820	33,54
Abrasi (%)			
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-4	29,64	28,40	4,37

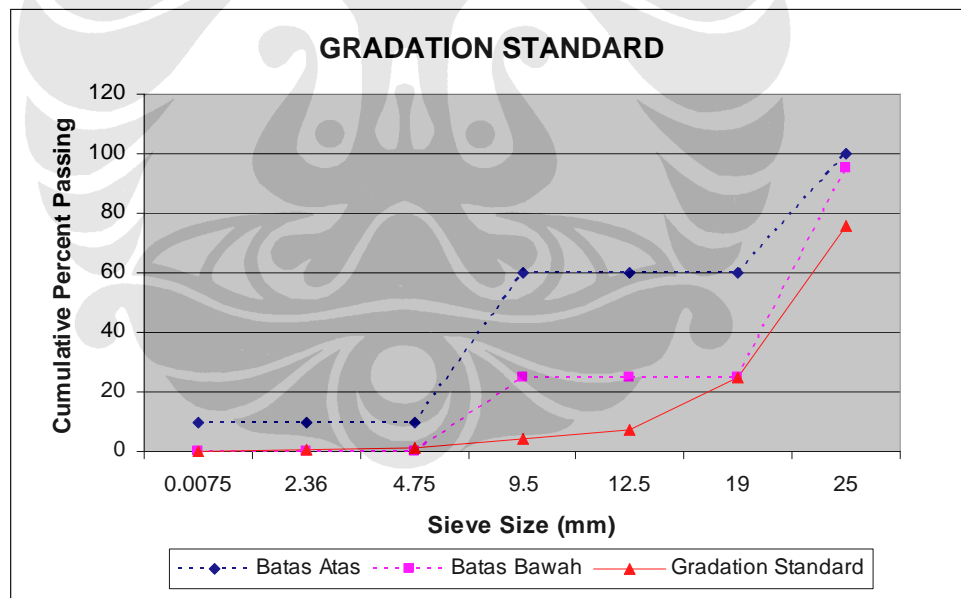
*Sumber : Sony Aria Wiryawan, 2007 [20]

Dari tabel terlihat perbedaan dari hasil pengujian HDPE dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan terdahulu terhadap PET. Namun dapat disimpulkan berdasarkan standar mutu dan syarat pengujian ASTM C 330-, “*Standard Spesification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural*”, agregat ringan buatan plastik HDPE masih dapat digunakan sebagai material pembentuk beton ringan. Namun nilai berat jenis (*spesific gravity*) yang dihasilkan oleh agregat

ringan HDPE tidak memenuhi persyaratan sebagai agregat ringan untuk beton ringan struktural.

Pada pengujian abrasi dengan menggunakan alat *Los Angeles machine* didapat prosentase agregat yang hancur sebesar 29,64 %, dimana SII.0052–80 mensyaratkan untuk kekuatan agregat kasar dengan gradasi A yaitu bahan tertahan 25 mm sampai tertahan 9,5 mm yang akan digunakan untuk beton kelas II dan mutu K.125, K.175 dan K.225 harus mempunyai bagian hancur menembus ayakan 1,7 mm sebesar (27-40)%, (agregat ringan kasar plastik yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam gradasi A).

Hasil pengujian analisa ayak agregat plastik HDPE (gambar 4.1) berdasarkan ASTM C 330-04, menunjukkan gradasi yang kurang ideal namun bukan gradasi sela (*gap gradation*), hal ini dikarenakan sulitnya proses pemecahan secara manual untuk mendapatkan gradasi yang ideal (berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi).



Gambar 4.1. Standar Gradasi Agregat Plastik HDPE Hasil Analisa Ayak

Sedangkan untuk syarat-syarat yang ditetapkan oleh ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural*”, diantaranya adalah sebagai berikut :

- ♦ Berat jenis agregat ringan 1,0 – 1,8 ; dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik di dapat berat jenis sebesar 0,954, (tidak memenuhi syarat).
- ♦ Penyerapan air maksimum 20% ; dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik di dapat penyerapan air (absorption) sebesar 0,817 %.
- ♦ Berat isi maksimum kering 900 kg/m³ ; dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik di dapat berat isi kering sebesar 545 kg/m³.

4.2.2. Hasil Pengujian Agregat Halus Normal

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dilaboratorium dengan mengambil sampel bahan baku secara acak dan kemudian dilakukan penelitian sesuai dengan standar ASTM C 33-02A, "*Standard for Concrete Aggregates*", dan SII 0052–80, "*Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*", didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Pada Agregat Halus

Pengujian	Hasil
Apparent Spesific Gravity	2,626
Bulk Spesific Gravity (SSD)	2,605
Bulk Spesific Gravity	2,592
Absorpsi (%)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-1	0,503
Fine Modulus (FM)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-2	2,681
Berat Isi Kering (kg/m ³)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-3	1.653
Kadar Material Lolos Saringan No.200 (%) C-4	1,8
Kadar Organik (Sesuai Nomor Warna) C-5	No.3

Dari tabel 4.4 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

- ♦ Fine Modulus yang dihasilkan 2,681 % masuk batas syaratnya yaitu 1,5 sampai 3,8 %.
- ♦ Kadar material lolos saringan No.200 atau kadar lumpurnya sebesar 1,8 %, hasilnya masih dibawah nilai maksimum sebesar 5 %.
- ♦ Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3 %, menghasilkan warna yang tidak lebih tua jika dibandingkan dengan warna standar yaitu No.3 ; dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat warna yang sama bila disesuaikan dengan nomor warna tergolong No.3.

4.2.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat Kasar Ringan Buatan Dari Limbah Botol Plastik (HDPE)

Berdasarkan pengujian dilaboratorium untuk kuat tekan hancur pada kubus agregat plastik dengan ukuran (5×5×5) cm dan (15×15×15) cm dengan jumlah sampel untuk kubus ukuran (5×5×5) cm sebanyak 17 buah dan kubus ukuran (15×15×15) cm sebanyak 3 buah.

Jumlah sampel kubus ukuran (5x5x5) cm terdiri dari empat macam jenis botol pelumas yaitu : *Federal*, *Pertamina*, *Repsol* dan *Castrol*, jenis-jenis tersebut mewakili jumlah terbanyak dari botol pelumas yang umumnya digunakan oleh pengendara sepeda motor.

Sedangkan jenis botol pelumas yang digunakan untuk pembuatan sampel kubus ukuran (15x15x15) cm dipilih berdasarkan hasil kuat tekan hancur kubus ukuran (5x5x5) cm, dengan membandingkan nilai kuat tekan hancur yang relatif sama maka dipilih jenis *Federal* dan *Pertamina*. Pemilihan kedua jenis botol pelumas ini juga akan digunakan untuk pembuatan agregat kasar ringan plastik buatan yang akan digunakan sebagai campuran beton ringan.

Hasil pengujian berat jenis dan kuat tekan hancur agregat untuk kedua ukuran kubus plastik disajikan dalam bentuk tabel dan grafik regresi antara berat jenis kubus agregat plastik dengan kuat tekan hancur agregat, berikut ini data tes tekan kubus (5x5x5) cm :

Tabel 4.5. Data Berat Jenis dan Kuat Tekan Kubus Plastik (5x5x5) cm

No.	Jenis Botol Pelumas	Berat Jenis	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Keterangan	Rata-Rata (kg/cm ²)
1	Federal	0,941	148	Data digunakan	150,00
2	Federal	0,949	150	Data digunakan	
3	Federal	0,953	152	Data digunakan	
	Federal	0,938	70	Tidak digunakan	
1	Pertamina	0,942	152	Data digunakan	156,67
2	Pertamina	0,945	154	Data digunakan	
3	Pertamina	0,958	164	Data digunakan	
	Pertamina	0,948	50	Tidak digunakan	
1	Repsol	0,938	120	Tidak digunakan	106,80
2	Repsol	0,950	112	Tidak digunakan	
3	Repsol	0,950	110	Tidak digunakan	
	Repsol	0,939	100	Tidak digunakan	
	Repsol	0,948	92	Tidak digunakan	
	Repsol	0,951	60	Tidak digunakan	
	Repsol	0,948	60	Tidak digunakan	
1	Castrol	0,955	96	Tidak digunakan	93,00
2	Castrol	0,953	90	Tidak digunakan	
3	Castrol	0,952	60	Tidak digunakan	

Dari tabel 4.5 dapat disimpulkan bahwa jenis botol pelumas federal dan pertamina mempunyai kuat hancur yang relatif sama, sedangkan jenis botol pelumas repsol relatif sama dengan jenis botol pelumas castrol. Jumlah sampel botol pelumas jenis repsol yang lebih banyak dibuat dengan maksud sebagai koreksi data kuat hancur terhadap tiga sampel awal kubus yang didapat cenderung lebih rendah bila dibandingkan dengan jenis federal dan pertamina, namun tiga sampel yang dibuat selanjutnya memberikan hasil yang tidak jauh berbeda.

Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa untuk jenis repsol dan castrol mempunyai karakteristik yang berbeda, banyak hal yang dapat menyebabkan perbedaan ini. Seperti diketahui polyethylene merupakan bahan termoplastik yang diproduksi melalui polimerisasi ethylene (C₂H₄) dengan variabel proses seperti energi panas, tekanan, dan katalis.

Variabel-variabel tersebut dapat menghasilkan ikatan antar molekul yang berbeda-beda terhadap jenis polyethylene, selain itu polyethylene tidak dihasilkan dari molekul-molekul yang sama, polyethylene dihasilkan dari berat molekul yang

tidak sama dengan panjang molekul yang bervariasi. Variabel lain yang dapat menyebabkan perbedaan sifat polyethylene selain variabel proses yaitu : derajat panjang dan pendeknya cabang ikatan, berat molekul rata-rata, distribusi berat molekul, jumlah sisa comonomer yang ada, dan adanya impuritas yang bergabung dengan polymer.

Bila diperhatikan asal produksi botol pelumas tersebut, dapat disimpulkan bahwa untuk botol pelumas yang diproduksi didalam negeri mempunyai kuat tekan yang relatif sama (federal dan pertamina), dibandingkan produk impor (repsol dan castrol). Akan tetapi dilihat dari berat jenisnya keempat jenis botol pelumas tersebut mempunyai batasan nilai yang sama yaitu 0,938 sampai 0,958, sementara Billmeyer Fred W., "Textbook of Polymer Science", John Wiley & Sons, Inc., 1984. [5] memberikan batasan nilai 0.941 - 0.965 untuk jenis HDPE.

Pada tabel 4.6 dibawah ini disajikan tiga buah data tes tekan kubus plastik (15x15x15) cm, jenis botol pelumas yang digunakan yaitu federal dan pertamina.

Tabel 4.6. Data Berat Jenis dan Kuat Tekan Kubus Plastik (15x15x15) cm Botol Pelumas Federal dan Pertamina

No.	Beban (kg)	Dimensi (PxLxT)	Luas Permukaan (cm ²)	Berat Jenis	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata-Rata (kg/cm ²)
1	7850	14,1x12,7x14,3	179,07	0,965	44	41,67*
2	7700	13,9x13,1x14,4	182,09	0,962	42	
3	6350	14,2x11,5x14,6	163,30	0,961	39	

* Data tidak representatif karena benda uji telah mengalami retak sebelum di tes tekan.

Data yang dihasilkan dari tes tekan kubus plastik (15x15x15) cm tidak bisa dikatakan merepresentasikan kuat hancur agregat yang sesungguhnya, dikarenakan perbedaan nilai yang sangat rendah bila dibandingkan dengan hasil dari tes tekan kubus (5x5x5) cm. Hasil yang diharapkan berkisar 110 sampai 140 kg/cm², dengan perkiraan faktor konversi antara 0,7 - 0,9 antara kubus plastik (5x5x5) cm dengan kubus plastik (15x15x15) cm.

Rendahnya hasil yang diperoleh bisa disebabkan karena sampel yang dihasilkan kurang baik. Hal ini dikarenakan banyaknya retak pada sampel kubus yang diakibatkan oleh susut (*shrinkage*) yang ekstrim terjadi pada saat sampel

mengering, dapat dilihat pada gambar 4.2. Keretakan bisa mencapai 0,1-3,0 mm, sehingga yang terlihat bukan hanya retak rambut bahkan rongga-rongga kecil.



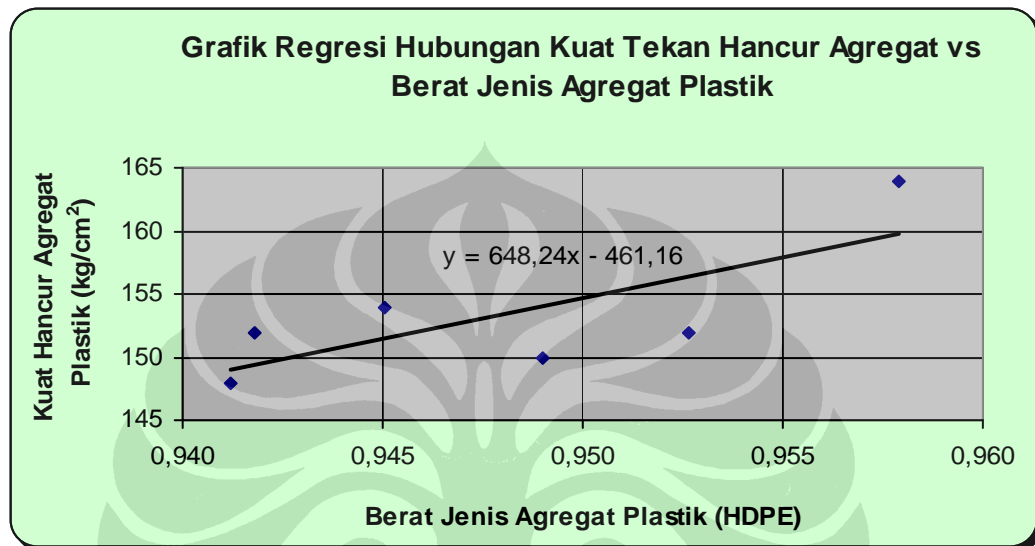
Gambar 4.2. Pola Retak Sampel Kubus Plastik (15x15x15) cm Akibat Susut

Adapun proses pembuatannya yaitu setelah bahan HDPE mencair kemudian ditampung dalam wadah besar sambil dipanaskan dari bawah wadah menggunakan kompor dengan maksud agar bahan HDPE tidak cepat membeku, setelah itu bahan HDPE tersebut dituang ke dalam cetakan kubus (15x15x15) cm. Pengisian dilakukan secara bertahap sebanyak tiga lapisan dengan sambil diketok-ketok agar tidak ada udara yang terperangkap didalamnya. Setelah itu dilakukan pengeringan selama ± 2 jam, barulah sampel dapat dikeluarkan dari cetakan.

Sampel yang dihasilkan setelah pengeringan awal mempunyai ciri fisik yang halus pada setiap permukaannya, akan tetapi suhu pada sampel masih panas sehingga sampel didiamkan pada udara terbuka dengan maksud menghindari perbedaan suhu yang ekstrim.

Kondisi yang terjadi setelah pengeringan $\pm 6-12$ jam, mulai timbul retak-retak pada setiap permukaan sampel. Hal ini diakibatkan oleh proses pengeringan yang tidak merata pada sampel, pada permukaan sampel cenderung lebih cepat dibandingkan pada bagian dalam sampel sehingga terjadi perbedaan suhu antara bagian luar dan dalam sampel. Suhu panas yang berada didalam sampel kemudian akan merambat menuju suhu yang lebih dingin yaitu dipermukaan sampel, proses inilah yang menyebabkan keretakan pada sampel tersebut.

Hal ini diyakinkan dengan pengamatan secara langsung terhadap sampel yang pecah pada saat pengeringan, dimana kondisi yang terjadi pada sampel tersebut yaitu pada bagian dalam sampel masih terdapat lelehan bahan HDPE yang kental sedangkan pada bagian luarnya telah mengeras dan suhunya tidak terlalu panas.



Grafik 4.1. Grafik Regresi Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat vs Berat Jenis Kubus Agregat Plastik HDPE Ukuran (5×5×5) cm

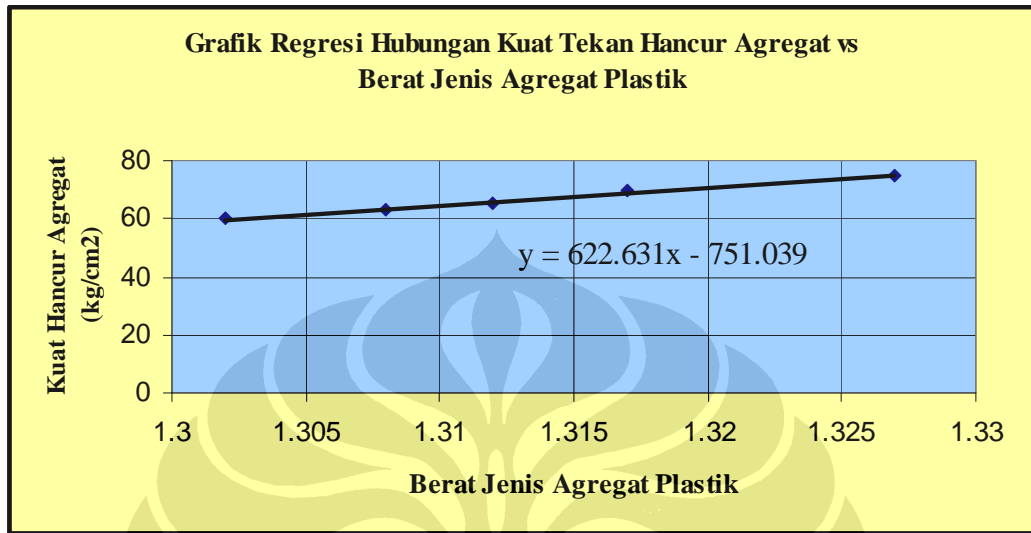
Data kubus (5x5x5) cm yang digunakan untuk mendapatkan persamaan regresi linear, yaitu jenis federal dan pertamina dengan keterangan "data digunakan" sebanyak enam buah. Sedangkan data kubus (15x15x15) cm yang digunakan berjumlah tiga buah dari jenis federal dan pertamina, dimana kedua jenis botol pelumas ini dapat dicampur untuk pembuatan sampel kubus maupun untuk pembuatan agregat kasar ringannya. Grafik yang dibuat dari data kubus HDPE kemudian akan dibandingkan dengan grafik dari penelitian sebelumnya terhadap bahan PET.

Dari grafik 4.1 dengan menggunakan metode regresi linier didapat kuat tekan hancur kubus agregat plastik untuk masing-masing ukuran dengan persamaan regresi yang digunakan :

$$y = ax + b \quad \rightarrow \text{dimana} \quad f'_{c_A} = (\text{konstant} \times r_A) + \text{konstant}$$

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

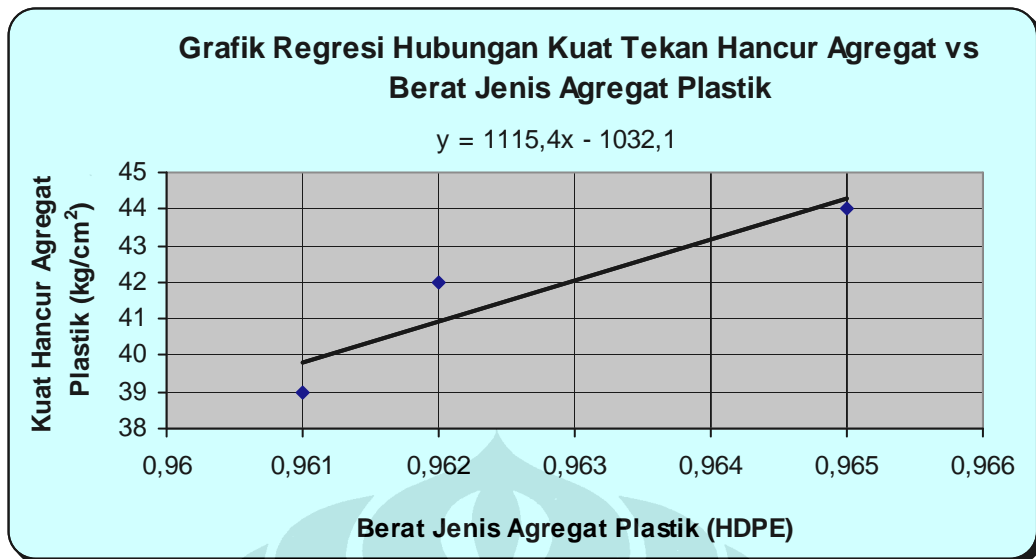
$$r_A = \text{Berat jenis agregat plastik}$$



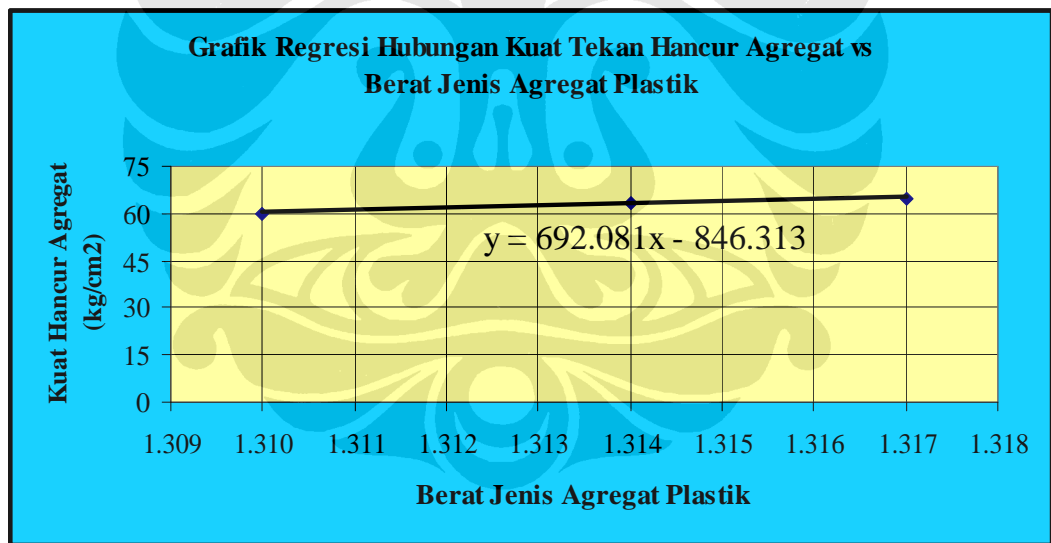
Grafik 4.2. Grafik Regresi Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat vs Berat Jenis Kubus Agregat Plastik PET Ukuran (5×5×5) cm

Dari pengujian sifat fisik agregat kasar ringan plastik tipe HDPE di laboratorium di dapat berat jenis agregat ringan plastik (*Bulk spesific gravity*) sebesar 0,954. Sehingga bila disubstitusi ke persamaan regresi linear grafik 4.1 didapat kuat tekan hancur agregat (f'_{c_A}) untuk agregat dengan kubus ukuran (5×5×5) cm tipe HDPE sebesar 157,26 kg/cm². sedangkan bahan PET dengan menggunakan persamaan regresi linear dari grafik 4.2 diperoleh kuat tekan hancur agregat (f'_{c_A}) sebesar 68,344 kg/cm².

Sedangkan dari grafik 4.3 dibawah ini diperoleh persamaan regresi linear untuk kubus (15x15x15) cm, dengan mensubstitusi nilai berat jenis tipe HDPE yang mewakili sampel kubus tersebut sebesar 0,963 kedalam persamaan maka didapat kuat tekan hancur agregat (f'_{c_A}) untuk jenis HDPE sebesar 42,03 kg/cm². Sedangkan grafik 4.4 bahan PET dengan menggunakan persamaan regresi linearnya diperoleh kuat tekan hancur agregat (f'_{c_A}) sebesar 64,45 kg/cm².



Grafik 4.3. Grafik Regresi Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat vs Berat Jenis Kubus Agregat Plastik HDPE Ukuran (15×15×15) cm



Grafik 4.4. Grafik Regresi Hubungan Kuat Tekan Hancur Agregat vs Berat Jenis Kubus Agregat Plastik PET Ukuran (15×15×15) cm

Dari hasil kuat tekan hancur rata-rata yang dihasilkan dari dua ukuran sampel, maka dapat dibuat suatu tabel perbandingan kuat tekan hancur agregat ringan plastik berdasarkan pada perbedaan ukuran sampel yang digunakan, yaitu

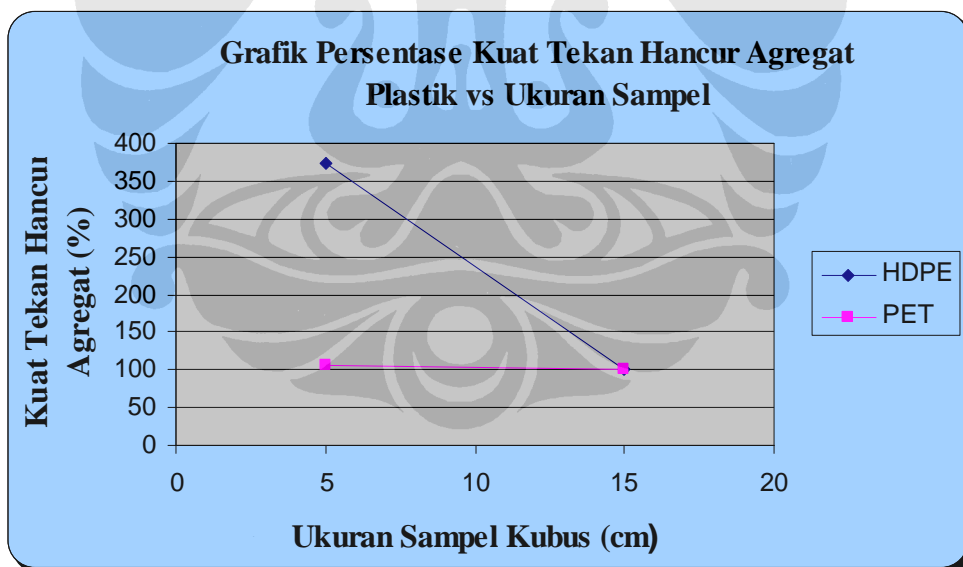
kubus (5x5x5) cm dengan kubus (15x15x15) cm yang menghasilkan nilai perbandingan faktor konversi kuat tekan hancur agregat plastik sebagai berikut :

Tabel 4.7. Data Perbandingan Kuat Tekan Hancur Agregat Plastik

Ukuran Jenis	Kubus (5x5x5) cm	Kubus (15x15x15) cm	Faktor Konversi
HDPE	157,26 kg/cm ²	42,03* kg/cm ²	3,74*
PET	68,34 kg/cm ²	64,45 kg/cm ²	1,06

* Data tidak representatif karena benda uji telah mengalami retak sebelum di tes tekan.

Berikut ini perbandingan persentase kuat tekan hancur rata-rata agregat plastik yang dibuat dalam bentuk grafik 4.5. hasil dari dua ukuran sampel kubus dengan pola perbandingan persentase antara kuat tekan hancur agregat ringan plastik kubus ukuran (5×5×5) cm dengan kuat tekan hancur agregat ringan plastik kubus ukuran (15×15×15) cm.



Grafik 4.5. Grafik Hubungan Persentase Kuat Tekan Hancur Agregat vs Ukuran Sampel

Berdasarkan tabel 4.7. dihasilkan suatu faktor konversi sebesar 3,74 untuk jenis HDPE, data ini digunakan untuk mengkorelasikan hasil pengujian kubus agregat plastik ukuran (5×5×5) cm dengan kubus agregat plastik ukuran

(15×15×15) cm. Sehingga apabila didapat nilai kuat tekan hancur agregat dengan menggunakan kubus ukuran (15×15×15) cm sebagai acuan, maka untuk mendapatkan nilai kuat tekan hancur agregat plastik ukuran (5×5×5) cm, yaitu dikali faktor konversi 3,74 dan sebaliknya bila yang didapat adalah data kubus (5×5×5) cm, maka data kubus (15×15×15) cm yang akan digunakan untuk ranacang campur diperoleh dengan membagi data kubus (5×5×5) cm oleh faktor konversi 3,74.

Namun nilai faktor konversi sebesar 3,74 bukanlah data yang representatif, mengingat hasil kuat tekan hancur agregat kubus ukuran (15×15×15) cm relatif rendah, seharusnya bisa lebih besar apabila tidak terjadi keretakan yang ekstrim pada sampel tersebut.

4.3. HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN BETON RINGAN

Pengujian beton ringan untuk beton segar hanya dilakukan terhadap dua tipe campuran, yaitu tipe campuran BR_A - K₁₅, BR_B - K₁₅, BR_A - S₁₅ dan BR_B - S₁₅. Karena pada dua tipe campuran tersebut mempunyai volume pengadukan yang relatif besar ditinjau dari bentuk dan ukuran sampel yang akan dibuat dan merupakan aplikasi dari penggunaan agregat kasar ringan buatan dari limbah plastik (HDPE) terhadap beton ringan yang akan dihasilkan dilapangan. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian slump dan pengujian berat isi segar beton ringan.

Sedangkan pengujian beton yang mengeras terhadap dua tipe campuran beton ringan dilakukan pengujian berat isi kering udara beton ringan, pengujian kuat tekan untuk mengetahui kekuatan tekan beton ringan agregat kasar ringan plastik, pengujian hubungan tegangan dan regangannya untuk kemudian mencari nilai modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson beton ringan yang dihasilkan dengan menggunakan agregat kasar ringan plastik. Disamping itu penelitian terhadap berat isi kering udara (SSD) beton ringan umur 28 hari akan dikorelasikan dengan berat isi segar beton ringan agregat kasar ringan plastik. Namun untuk tipe campuran BR_C - K₅, BR_D - K₅, BR_E - K₅, BR_F - K₅, BR_G - K₅ dan BR_H - K₅, hanya terbatas pada pengujian kuat tekannya saja, mengingat volume pengadukan yang relatif kecil untuk setiap tipe.

4.3.1. Hasil Pengujian Slump

Besarnya nilai slump dari hasil percobaan terhadap dua tipe campuran beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah plastik yaitu berkisar antara 5-7 cm. Dengan nilai slump ini beton ringan agregat plastik relatif kurang baik tingkat kelecakannya (*workability*) tetapi tidak terlalu rendah dan masih layak untuk pelaksanaan dilapangan. Sementara ACI 213R-79 mensyaratkan nilai slump berkisar 3in - 4in (8-10 cm), sedangkan menurut Neville, A.M. yang diambil dari (*in a modified form of Bartos` proposals*) memberikan kategori medium (sedang) untuk nilai slump 3,5-7,5 cm.

Tabel 4.8. Data Rancang Campur Beton Ringan Rencana

Tipe	Proporsi campuran (kg/m ³)				
	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg = liter)	Total (kg)
BR _A - K ₁₅ BR _A - S ₁₅	375	782,23	473,10	52,67	1683
BR _B - K ₁₅ BR _B - S ₁₅	375	782,23	473,10	52,67	1683

Tabel 4.9. Data Penambahan Kebutuhan Air Pada Rancang Campur

Tipe	Koreksi Penggunaan Air Dalam Proporsi campuran Pada Saat Pelaksanaan (kg/m ³)					Slump (cm)
	Kebutuhan Air (kg)	Penambahan Air (kg)	Total Pemakaian Air (kg)	Selisih (%)	W/C Ratio	
BR _A - K ₁₅ BR _A - S ₁₅	52,67	115,27	167,94	8,76	0,4478	6,5
BR _B - K ₁₅ BR _B - S ₁₅	52,67	100,86	153,23		0,4086	5

Tabel 4.10. Data Rancang Campur Beton Ringan Aktual Pelaksanaan

Tipe	Proporsi campuran (kg/m ³)				
	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg = liter)	Total (kg)
BR _A - K ₁₅ BR _A - S ₁₅	375	782,23	473,10	167,94	1798
BR _B - K ₁₅ BR _B - S ₁₅	375	782,23	473,10	153,23	1784

Dari tabel 4.8, 4.9, 4.10 memperlihatkan bahwa dengan proporsi campuran yang sama dan dengan jumlah air yang hampir sama, nilai slump untuk tipe campuran BR_A - K₁₅ dan BR_A - S₁₅ (beton ringan tipe A) lebih besar dibandingkan dengan tipe campuran BR_B - K₁₅ dan BR_B - S₁₅ (beton ringan tipe B). Hal ini bisa dipengaruhi oleh perbedaan kebutuhan air yang digunakan pada kedua tipe campuran walaupun selisihnya hanya 8,76%. Pengaruh yang lain yaitu pada tipe campuran (beton ringan tipe B) tidak menggunakan gradasi pasir normal (4,75 - 0,075) mm namun hanya menggunakan skala ayakan (4,75 - 1,18) mm, maka dalam campuran (beton ringan tipe B) mengalami kenaikan jumlah butiran kasarnya dimana butiran kasar mempunyai luas permukaan yang lebih besar dan daya serap air relatif lebih besar, sehingga dapat mengurangi kebutuhan air yang seharusnya digunakan untuk hidrasi pasta semen dan *workability* dalam hal ini nilai slump.

Untuk menghasilkan nilai slump yang baik maka perlu dikontrol penggunaan pasir normal dalam kondisi SSD pada saat pencampuran sehingga air yang digunakan dalam campuran tidak diserap oleh pasir tersebut, sedangkan untuk agregat kasar ringan plastik cenderung lebih mudah karena daya absorpsinya yang relatif kecil. Selain itu koreksi (*adjustment*) terhadap kadar air dalam pasir sangat berpengaruh terhadap komposisi dari rancang campur dan beton yang dihasilkan nantinya, dalam penelitian ini perbandingan air dan semen (W/C) dikontrol pada kisaran $\pm 0,4$.

4.3.2. Hasil Pengujian Berat Isi Segar Beton Ringan

Berat isi segar beton ringan menggunakan agregat kasar ringan plastik yang dihasilkan adalah (1620 – 1640) kg/m³. Berat isi beton ringan plastik ini relatif rendah karena pengaruh dari berat isi agregat kasar ringan plastik yang digunakan hanya sebesar 545 kg/m³, hasil pengujian tertera pada tabel 4.11 berikut :

Tabel 4.11. Nilai Berat Isi Beton Ringan 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)
------	------------------------------	------------------	------------------------	--------------------------------	--

BR _A - K ₁₅ BR _A - S ₁₅	19,900	5,089	14,811	0,009123	1623
BR _B - K ₁₅ BR _B - S ₁₅	20,000	5,089	14,911	0,009123	1634

Dari data diatas terlihat bahwa berat isi beton segar yang dihasilkan lebih rendah dari total berat material yang dicampurkan dalam adukan beton (tabel 4.10), namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Perbedaan berat isi beton segar yang dihasilkan dengan total berat material yang dicampurkan dalam adukan beton dapat disebabkan karena mortar yang menempel di mesin mixer, pemadatan yang kurang baik pada saat memasukkan campuran beton kedalam wadah, penguapan air (evaporasi) campuran karena panas yang ditimbulkan pada saat proses hidrasi dari pasta semen.

4.3.3. Hasil Pengujian Berat Isi Kering Udara Beton Ringan

Pengujian berat isi kering beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik (HDPE) dilakukan pada umur beton 28 hari dengan benda uji silinder masing-masing sebanyak 4 buah untuk tipe campuran BR_A - S₁₅, BR_B - S₁₅ dan benda uji kubus sebanyak 3 buah untuk masing-masing tipe campuran BR_A - K₁₅, BR_B - K₁₅.

Tabel 4.12. Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR_A-S₁₅ Silinder

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
I	8,456	15	30	0,00530	1595
II	8,571	15	30	0,00530	1617
III	8,573	15	30	0,00530	1618
IV	8,468	15	30	0,00530	1598
Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1607

Tabel 4.13. Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR_A-K₁₅ Kubus

Sampel	Berat (kg)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
I	5,308	15	15	15	0,003375	1573
II	5,437	15	15	15	0,003375	1611
III	5,408	15	15	15	0,003375	1602
Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan						1595

Tabel 4.14. Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR_B-S₁₅ Silinder

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
I	8,427	15	30	0,00530	1590
II	8,482	15	30	0,00530	1600
III	8,514	15	30	0,00530	1606
IV	8,609	15	30	0,00530	1624
Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1605

Tabel 4.15. Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR_B-K₁₅ Kubus

Sampel	Berat (kg)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
I	5,387	15	15	15	0,003375	1596
II	5,292	15	15	15	0,003375	1568
III	5,272	15	15	15	0,003375	1562
Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan						1585

Benda uji mengalami curing selama 27 hari dan selanjutnya dikeringkan udara selama 1 hari kemudian baru dilakukan pengujian, hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.12, 4.13, 4.14 dan 4.15 diatas.

Berat isi kering beton ringan yang dihasilkan dari 2 (dua) tipe campuran 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.

4.3.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan

Pengujian kuat tekan pada beton ringan Agregat Kasar Ringan Plastik dilakukan pada saat beton berumur 7 hari dan 28 hari pada tipe campuran BR_A - K₁₅, BR_B - K₁₅, BR_A - S₁₅, BR_B - S₁₅, BR_C - K₅, BR_D - K₅, BR_E - K₅, BR_F - K₅, BR_G - K₅ dan BR_H - K₅. Hasil penelitian kuat tekan beton ringan dengan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE) dapat dilihat pada lampiran D secara lengkap dan disajikan pada tabel 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 dan 4.23, kemudian data kuat tekan kubus akan dikonversi ke silinder dengan mengalikan nilai kuat tekannya menggunakan rumus beton normal (hanya untuk perbandingan) berasal dari SNI T-15-1991-03 dimana :

$$fc' = \left[0.76 + 0.2^{10} \log \left(\frac{fc'}{15} \right) \right] fc'$$

dengan fc' = Kuat tekan karakteristik beton kubus dalam MPa

Tabel 4.16. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_A-K₁₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	275000	22500	12,222
28	277500	22500	12,333
28	280000	22500	12,444
28	277500	22500	12,333
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			12,370
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			9,401

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-1

Tabel 4.17. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_B-K₁₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	24500	22500	10,889
28	27750	22500	12,333
28	26750	22500	11,889
28	27000	22500	12,000
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			12,074
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			9,176

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-1

Dari tabel 4.16 dan 4.17 terlihat bahwa dengan proporsi campuran beton yang sama, kuat tekan beton dengan tipe campuran BR_A - K₁₅ (beton ringan tipe A) pada umur beton 28 hari lebih besar $\pm 2\%$ dibandingkan dengan tipe campuran BR_A - K₁₅ (beton ringan tipe B). Hal ini disebabkan karena pada tipe campuran (beton ringan tipe B) mengalami pengurangan jumlah butiran halus karena hanya menggunakan pasir dengan gradasi ukuran (4,75-1,18) mm sehingga akan berpengaruh pada ikatan antara pasir dengan pasta semen dimana akan mengurangi kekuatan dari adukan (mortar) beton ringan.

Berikut ini akan disajikan data tes tekan kubus BR_C - K₅ dan BR_D - K₅ (beton ringan tipe C dan D), dimana gradasi agregat kasar dan agregat ringan yang digunakan berbeda dengan (beton ringan tipe A dan B). Ukuran sampel digunakan kubus (5x5x5) cm untuk melihat perbandingan yang akan dihasilkan.

Tabel 4.18. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_C-K₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	17000	2500	6,800
28	24000	2500	9,600
28	24750	2500	9,900
28	25750	2500	10,300
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			9,933
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			7,549

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-2

Tabel 4.19. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_D-K₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	13000	2500	5,200
28	20250	2500	8,100
28	21250	2500	8,500
28	21750	2500	8,700
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			8,433
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			6,409

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-2

Dari tabel 4.18 dan 4.19 (beton ringan tipe C dan D) dapat dilihat kuat tekan rata-rata beton ringan yang dihasilkan oleh kedua tipe sampel beton ringan relatif lebih rendah dibandingkan dengan tabel 4.16 dan 4.17 (beton ringan tipe A dan B), \pm (19-52) % untuk umur 7 hari dan 28 harinya, hal ini bertolak belakang dengan nilai perbandingan kuat hancur agregat plastiknya dan nilai perbandingan antara sampel kubus (15x15x15) cm dengan kubus (5x5x5) cm pada beton normal umumnya, dimana seharusnya ukuran sampel kubus beton yang kecil akan menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dari sampel kubus beton yang besar.

Hal ini dapat disebabkan oleh banyak hal diantaranya bentuk agregat yang digunakan apakah pipih, tebal atau memanjang, tekstur permukaan agregatnya kasar atau halus, kusam atau mengkilap, gradasi agregat, kekuatan agregat dan ukuran maximum agregat.

Selanjutnya akan dilakukan beberapa asumsi terhadap sampel yang akan dibuat berikutnya untuk meningkatkan hasil kuat tekan kubus ukuran (5x5x5) cm. Asumsi pertama yang ingin dibuktikan yaitu pengaruh dari bentuk agregat yang digunakan, dimana pada sampel beton ringan tipe selanjutnya BR_E - K₅ dan BR_F - K₅ (beton ringan tipe E dan F) akan menggunakan gradasi yang sama dengan tipe BR_C - K₅ dan BR_D - K₅ (beton ringan tipe C dan D) hanya saja bentuk agregat yang digunakan disortir dengan kondisi tidak boleh ada yang berbentuk pipih dan memanjang (keterangan perbedaan tipe beton ringan dapat dilihat di bab 3 hal 55), dikarenakan kedua bentuk tersebut mempunyai kecenderungan mudah patah dan rapuh.

Tabel 4.20. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_E-K₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	19500	2500	7,800
28	26750	2500	10,700
28	30500	2500	12,200
28	27000	2500	10,800
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			11,233
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			8,537

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-3

Tabel 4.21. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_F-K₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	19250	2500	7,700
28	23000	2500	9,200
28	27500	2500	11,000
28	30000	2500	12,000
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			10,733
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			8,157

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-3

Data tabel 4.20 dan 4.21 (beton ringan tipe E dan F) memberikan hasil kuat tekan beton yang lebih baik dibandingkan tipe sebelumnya tabel 4.18 dan 4.19 (beton ringan tipe C dan D), prosentase kenaikannya $\pm(14-48)\%$ untuk umur 7 hari dan $\pm(13-27)\%$ untuk umur 28 harinya.

Asumsi awal membuktikan bahwa bentuk agregat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton yang dihasilkan, hanya saja nilai kuat tekan (beton ringan tipe E dan F) masih lebih rendah dari (beton ringan tipe A dan B), sehingga nilai kuat tekan yang dihasilkan masih dikatakan berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan pada umumnya.

Asumsi kedua akan digunakan untuk membuktikan pengaruh dari gradasi agregat kasar dan bentuk agregat yang digunakan, dengan kode sampel kubus tipe

BR_G - K₅ dan BR_H - K₅ (beton ringan tipe G dan H), pada tipe ini batasan gradasi agregat yang digunakan dinaikkan menjadi (9,5-4,75) mm dari sebelumnya (6,35-4,75) pada tipe E dan F, ukuran maksimum agregat 9,5 mm dan juga bentuk agregat yang digunakan disortir dengan kondisi tidak boleh ada yang berbentuk pipih dan memanjang.

Tabel 4.22. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_G-K₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	31250	2500	12,500
28	32750	2500	13,100
28	34000	2500	13,610
28	35000	2500	14,000
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			13,570
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			10,313

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-4

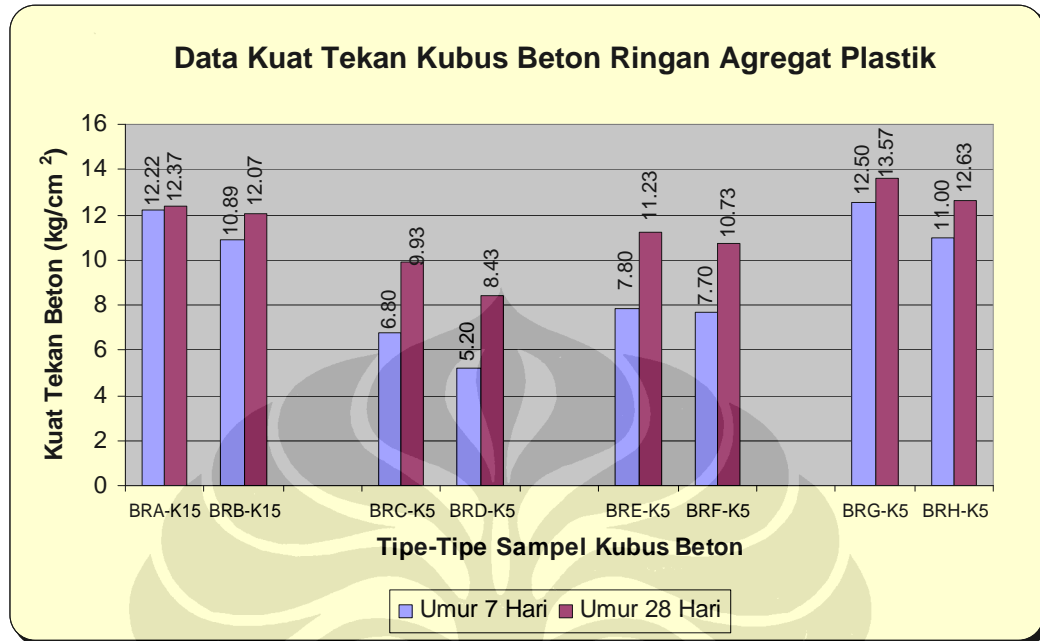
Tabel 4.23. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_H-K₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	27500	2500	11,000
28	32500	2500	13,000
28	32250	2500	12,900
28	30000	2500	12,000
Rata-rata kuat tekan kubus beton umur 28 hari			12,630
Rata-rata kuat tekan kubus beton yang dikonversikan ke silinder			9,599

- Pengolahan data selengkapnya terdapat dalam lampiran D-4


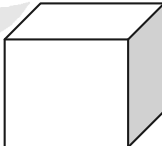
Asumsi kedua terbukti dimana nilai kuat tekan beton ringan yang dihasilkan (beton ringan tipe G dan H) pada tabel 4.22 dan 4.23 lebih besar dari tipe-tipe sampel kubus (5x5x5) cm sebelumnya (beton ringan tipe C,D,E dan F) dan juga lebih besar dari sampel kubus (15x15x15) cm (beton ringan tipe A dan B) untuk umur 7 harinya dengan persentase kenaikan $\pm(1-2)\%$ dan $\pm(8-14)\%$

untuk umur 28 harinya. Dibawah ini data kuat tekan kubus beton agregat plastik keseluruhan yang disajikan dalam bentuk grafik dan tabel perbandingannya.



Grafik 4.6. Grafik Kuat Tekan Tipe-Tipe Beton Ringan Agregat Plastik

Tabel 4.24. Tabel Perbandingan Ukuran Sampel Kubus Beton Ringan

Faktor Konversi Kubus Beton Ringan Agregat Plastik			
BR _G -K ₅ (Tipe G)	BR _H -K ₅ (Tipe H)	BR _A -K ₁₅ (Tipe A)	BR _B -K ₁₅ (Tipe B)
 Kubus (5x5x5) cm		 Kubus (15x15x15) cm	
1	1	1,097	1,046
1,00		1,07	

4.3.5. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dan Angka Perbandingan Poisson

Dasar yang digunakan untuk menghitung harga modulus elastisitas pada beton normal maupun beton ringan adalah mengacu pada rumus Hooke [Nawy, Edward. G., 1990][15], yaitu :

$$s = E \times e \quad \rightarrow \quad E = \frac{s}{e}$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas

s = Tegangan pada saat beban kerja

e = Regangan pada saat beban kerja

Tegangan didapat dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

dimana

σ = tegangan

P = gaya (N)

A = luas penampang

Regangan didapat dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Dimana :

e = regangan

ΔL = deformasi panjang

L = panjang awal

Penentuan modulus elastisitas rata-rata untuk satu siklus dilakukan dengan metode regresi linier, sedangkan modulus elastisitas untuk satu benda uji didapat dengan merata-ratakan semua nilai modulus elastisitas dari setiap siklus. Pemakaian metode Regresi Linier dilakukan dengan asumsi bahwa hubungan antara regangan dengan tegangan yang terjadi masih dalam batas linier (elastis), yaitu dibawah 40% dari kuat tekan maksimum.

Persamaan regresi linier yang digunakan adalah :

$$y = ax + b$$

Persamaan Regresi Linier tersebut dapat dianalogikan, menjadi :

$$s = (E \times e) + \text{Regangan plastis pada siklus pertama/sebelumnya}$$

Untuk menghitung angka perbandingan Poisson digunakan rumus dasar [Neville A.M, 1981][16] yaitu perbandingan antara regangan lateral dibagi regangan aksial :

$$u = \frac{e_{\text{lateral}}}{e_{\text{aksial}}}$$

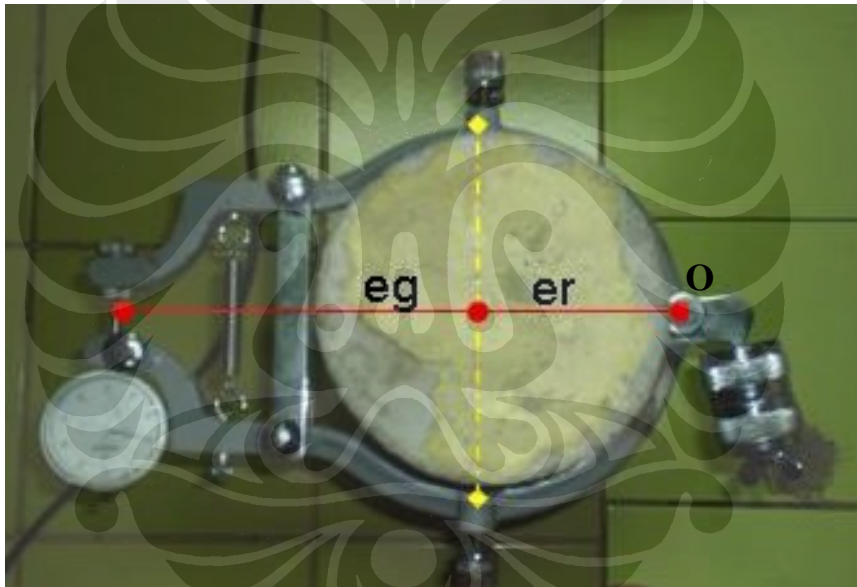
Dimana :

ν = *Poisson ratio*

e lateral = regangan lateral

e aksial = regangan aksial

Untuk pembacaan dial regangan lateral, terdapat koreksi sesuai dengan posisi alat.



Gambar 4.3. Koreksi Pembacaan Dial Horizontal (Deformasi Lateral)

$$\frac{g}{(er + eg)} = \frac{d}{er}$$

$$d = \frac{g \times er}{(er + eg)}$$

Dimana :

d = Deformasi total benda uji sepanjang jarak dial efektif.

g = Hasil yang terbaca pada alat ukur.

e_r = Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke poros O.

e_g = Jarak tegak lurus dari dial ke sumbu benda uji dimana terletak pengukur deformasi di dua sisi.

Nilai koreksi untuk pembacaan dial deformasi horizontal : (pada gambar 4.3.)

$$e_r = 9,5 \text{ cm} ; e_g = 19 \text{ cm}$$

$$\text{maka nilai koreksi} = 9,5 \text{ cm} / (9,5 \text{ cm} + 19 \text{ cm}) = 0,33$$

Sedangkan jarak yang digunakan untuk deformasi aksial yaitu jarak yang diukur dari ring atas ke ring bawah yang menghubungkan dial vertikal (aksial) maka $L = 200 \text{ mm}$.

$$y = ax + b$$

Persamaan Regresi Linier tersebut dapat dianalogikan, menjadi :

$$e_{\text{lateral}} = (u \times e_{\text{aksial}}) + \text{konstant}$$

Dimana :

e_{lateral} = deformasi total pada arah melintang dibagi diameter benda uji

e_{aksial} = deformasi total pada arah memanjang dibagi panjang ukur benda uji

Hasil penelitian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson beton ringan dengan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE) disajikan pada tabel 4.25. berikut

Tabel 4.25. Nilai Rata-rata Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio* Beton Ringan Plastik

Jenis Beton	Modulus Elastisitas (E_c) (MPa)	Rata-Rata ME (E_c) (MPa)	Poisson Ratio (ν)	Rata-Rata Poisson Ratio (ν)	Acuan ACI 213R-79
$BR_A - S_{15} - 1$	2576,43	2609,43	0,1679	0,1592	0,15-0,25
$BR_A - S_{15} - 2$	2570,53		0,1529		
$BR_A - S_{15} - 3$	2681,33		0,1569		
$BR_B - S_{15} - 1$	2456,83	2700,87	0,1659	0,1632	0,15-0,25
$BR_B - S_{15} - 2$	2658,37		0,1581		
$BR_B - S_{15} - 3$	2987,40		0,1658		

Dari tabel 4.25 terlihat bahwa dengan proporsi campuran yang sama pada kedua tipe campuran beton ringan dengan agregat ringan plastik didapat perbedaan nilai modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson yang tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena modulus elastisitas beton ringan dipengaruhi oleh kandungan pasta semen dan volume agregat kasar ringan dalam campuran beton. Sehingga perbedaan gradasi agregat halus yang digunakan dalam penelitian tidak berpengaruh pada nilai modulus elastisitas beton ringan yang dihasilkan. ACI 213R-79 memberikan nilai yang bervariasi untuk perbandingan Poisson antara 0,15-0,25 untuk beton ringan dengan pasir sebagai agregat halus.

Hasil perhitungan, pengujian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson untuk beton ringan agregat kasar ringan pada 2 tipe campuran beton ringan, yaitu BR_A - S₁₅ dan BR_B - S₁₅ selengkapnya dapat dilihat di lampiran E.

Setelah dilakukan pengujian modulus elastisitas dengan 3 kali siklus pada masing-masing sampel BR_A - S₁₅ dan BR_B - S₁₅, kemudian dilakukan uji tekan terhadap sampel silinder. Hal ini dimungkinkan karena tegangan yang digunakan hanya sebatas 40% dari tegangan maksimumnya sehingga regangan yang terjadi masih berada pada kondisi elastis.

Tabel 4.26. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_A-S₁₅ Silinder

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang Silinder (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = Mpa)
28	152500	17662,5	8,63
28	165000	17662,5	9,34
28	165000	17662,5	9,34
28	150000	17662,5	8,49
Rata-Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari			8,95

Tabel 4.27. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_B-S₁₅ Silinder

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang Silinder (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = Mpa)
28	150000	17662,5	8,49
28	150000	17662,5	8,49
28	152500	17662,5	8,63

28	157500	17662,5	8,92
Rata-Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari			8,63

Tabel 4.28. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Silinder Untuk Tipe A Dan B

Tipe	Kode Sampel Beton	Kuat Tekan Beton Rata-rata (N/mm² = Mpa)	Selisih (%)
Tipe A	BR _A -K ₁₅ (tabel 4.16)	9,40	4,79
	BR _A -S ₁₅ (tabel 4.25)	8,95	
Tipe B	BR _B -K ₁₅ (tabel 4.17)	9,18	5,99
	BR _B -S ₁₅ (tabel 4.26)	8,63	

Dari data perbandingan nilai kuat tekan rata-rata sampel silinder (15x30) cm pada tabel 4.28 diatas dihasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan sampel kubus (15x15x15) cm. Hal ini sesuai dengan nilai kuat tekan rata-rata beton pada umumnya dimana nilai yang dihasilkan sampel silinder akan lebih kecil dibandingkan sampel kubus.

4.4. ANALISA BIAYA

Setelah melakukan penelitian terhadap karakteristik agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik (HDPE) yang meliputi pengujian terhadap sifat fisik agregat kasar ringan, dan pengujian kuat tekan hancur agregat kasar ringan serta pengaruh agregat kasar ringan plastik terhadap sifat-sifat mekanis dari beton ringan yang dihasilkan, maka perlu dilakukan analisa biaya untuk mengetahui nilai ekonomis bahan agregat ringan buatan dari limbah botol plastik HDPE yang diproduksi untuk campuran beton ringan. Syarat suatu bahan yang akan digunakan untuk tujuan konstruksi selain memenuhi syarat kekuatan, juga harus ekonomis.

Harga satuan bahan baku pada saat memproduksi agregat kasar ringan, adalah sebagai berikut :

- ◆ 1 kg botol plastik (HDPE) berbagai merk = Rp. 4000,-
- ◆ 1 ltr minyak tanah (harga eceran /Oktober 2007) = Rp. 3500,-

harga limbah botol plastik diatas bila kita beli dari pengumpul limbah, dengan perkiraan 1kg botol plastik berisi ± 14 botol jadi /botol plastiknya Rp. 285,- sedangkan bila kita mengambil dari bengkel-bengkel atau tempat ganti oli, harganya bisa lebih murah karena dijual /satuan botol Rp.100-150,- jadi harga /kg hanya Rp.1400-2100,-.

Setelah melakukan pengujian berulang-ulang pada proses pembuatan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE), maka pada penelitian ini diperoleh penggunaan bahan baku optimum dimana untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan dibutuhkan sekitar 1,76 kg potongan botol plastik, hal ini karena banyaknya bahan yang mengalami penguapan pada saat pembakaran, dari 1000 gr bahan yang dibakar hanya menghasilkan 700 gr agregat ringan plastik, sedangkan kebutuhan minyak tanahnya ± 200 ml. Perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan dengan mengambil bahan plastik dari bengkel-bengkel dan tempat ganti oli adalah sebagai berikut :

- 1,76 kg botol plastik HDPE (@Rp.2100,-/kg) = Rp. 3696,-
 - 0,2 ltr minyak tanah = Rp. 700,- +
- Rp. 4396,-

Harga diatas belum termasuk ongkos pemotongan menjadi serpihan yang kecil, karena dalam penelitian ini pemotongan dilakukan sendiri secara manual. Sedangkan harga bahan HDPE yang telah dipotong (crushed) dengan mesin potong di pengumpul lebih mahal yaitu Rp.6000,-/kg.

Dengan biaya langsung yang dikeluarkan sebesar Rp.4396,-/kg agregat, penulis menganggap biaya produksi agregat kasar ringan masih belum ekonomis. Namun biaya produksi ini dapat digunakan sebagai acuan atau pedoman bagi pengujian-pengujian selanjutnya yang serupa, yaitu penelitian mengenai karakteristik agregat kasar ringan dari limbah botol plastik dan penggunaannya pada suatu elemen struktur beton khususnya struktur beton ringan.