



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIS
BETON RINGAN BERAGREGAT KASAR RINGAN
DAUR ULANG BOTOL PLASTIK SHAMPO
POLIETILEN DENSITAS TINGGI (HDPE)**

SKRIPSI

DIAN PRETTY
06 06 04 140 2

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIS
BETON RINGAN BERAGREGAT KASAR RINGAN
DAUR ULANG BOTOL PLASTIK SHAMPO
POLIETILEN DENSITAS TINGGI (HDPE)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DIAN PRETTY
06 06 04 140 2

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

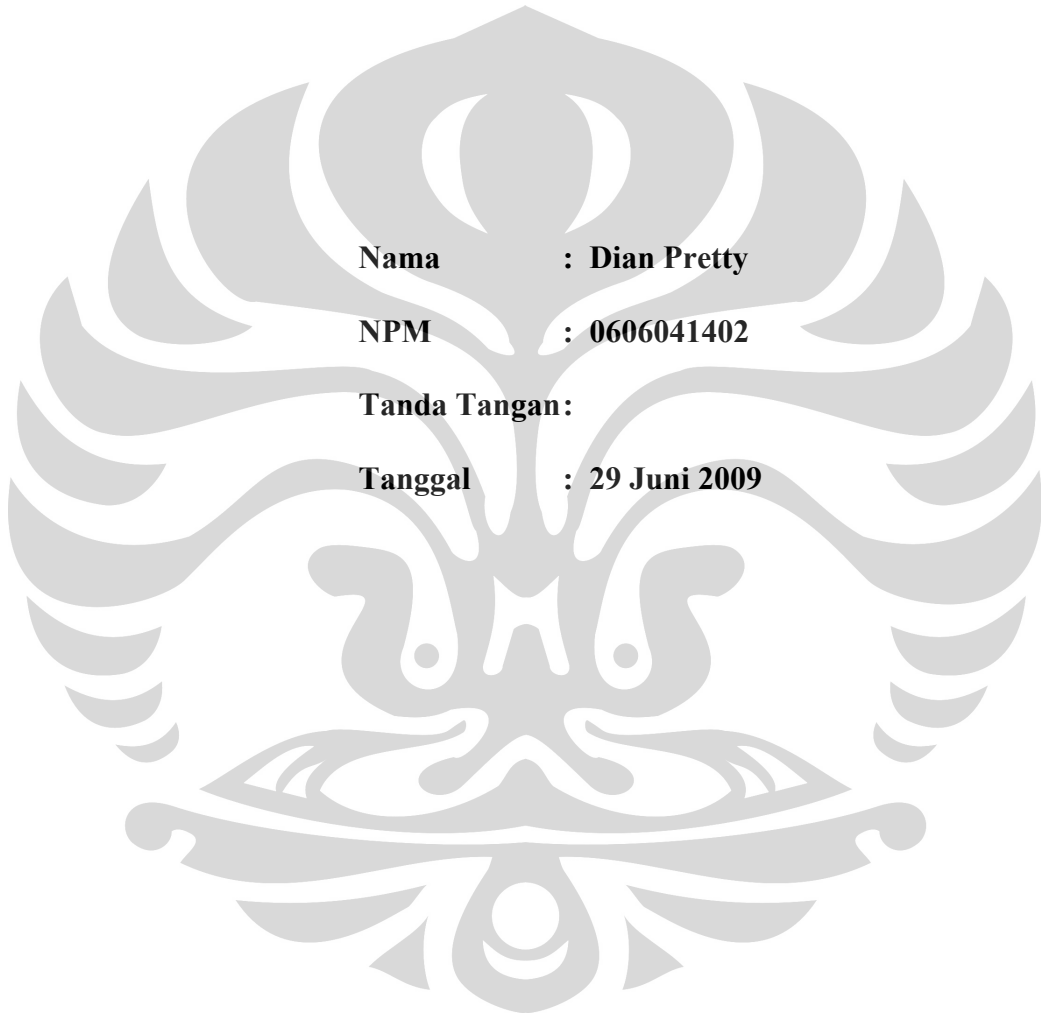
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Dian Pretty

NPM : 0606041402

Tanda Tangan:

Tanggal : 29 Juni 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Dian Pretty
NPM : 0606041402
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Karakteristik Fisik Dan Mekanis Beton Ringan Beragregat Kasar Ringan Daur Ulang Botol Plastik Shampo Polietilen Densitas Tinggi (HDPE)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA ()
Penguji I : Ir. Essy Ariyuni, MSc, PhD ()
Penguji II : Ir. H. Madsuri, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'Alamiin. Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penyusun dapat menyelesaikan penelitian skripsi ini dengan baik.

Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung, diantaranya:

1. Bapak Alm. Sudirman Abbas, kepadanya skripsi ini aku persembahkan.
2. Mama Chaeriah Rauf, Omo, Wira, Ogi, dan Sabda yang selalu mendoakan, menyemangati setiap saat.
3. Bapak Prof. Dr. Irwan Katili, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA, sebagai dosen pembimbing
5. Ibu Dr. Ir. Essy Ariyuni, sebagai dosen penguji.
6. Bapak Ir. H. Madsuri MT, selaku dosen penguji.
7. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, atas ilmu dan pengalamannya yang tidak ternilai.
8. Seluruh Staf Departemen dan Seluruh Staf Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, atas kesempatan dan kemudahan.
9. Teman-teman dan seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Sipil Ekstensi 2006 Universitas Indonesia atas masukan dan bantuan.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, untuk itu diharapkan kritik dan saran yang membangun.

Akhirnya, dengan selesainya skripsi ini, penyusun berharap semoga dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT selalu meridhai kita semua. Amin.

Jakarta, 29 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dian Pretty
NPM : 0606041402
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIS BETON RINGAN BERAGREGAT KASAR RINGAN DAUR ULANG BOTOL PLASTIK SHAMPO POLIETILEN DENSITAS TINGGI (HDPE)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2009

Yang menyatakan

(Dian Pretty)

ABSTRAK

Nama : Dian Pretty
Progam Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Karakteristik Fisik dan Mekanis Beton Ringan Beragregat
Kasar Ringan Daur Ulang Botol Plastik Shampo
Polietilen Densitas Tinggi (HDPE)

Agregat ringan buatan HDPE adalah agregat ringan yang mempunyai berat jenis (*specific gravity*) ringan, dibuat dari hasil daur ulang plasik shampo HDPE. Agregat ini dapat digunakan sebagai pengisi beton ringan menggantikan fungsi agregat ringan alami. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh berat jenis agregat ringan sebesar 0,949, absorpsi sebesar 1,681%, nilai keausan agregat sebesar 5,16%. Dari Beton ringan yang dihasilkan dengan campuran agregat ringan hasil daur ulang botol shampo HDPE, diperoleh nilai kuat tekan rata-rata beton sebesar 10,162 kg/cm², nilai kuat tarik 1,282, nilai modulus elastisitas 4684,48 dan nilai *poisson's ratio* sebesar 0,151. Berdasarkan nilai diatas agregat ringan daur ulang plastik shampo HDPE dapat diaplikasikan sebagai pengisi untuk beton ringan struktural ringan

Kata kunci :

Beton Ringan, HDPE (polietilen densitas tinggi), daur ulang botol plastik shampo

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	2
1.2. HIPOTESIS PENELITIAN	2
1.3. PERUMUSAN MASALAH	2
1.4. TUJUAN PENELITIAN	2
1.5. BATASAN MASALAH	2
1.6. METODE PENELITIAN	4
1.7. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II. DASAR TEORI	6
2.1. BETON RINGAN	6
2.1.1. Klasifikasi Beton Ringan	7
2.1.1.1. Beton Ringan Agregat	7
2.1.1.2. Beton Aerasi	9
2.1.1.3. <i>No Fines Concrete</i>	10
2.1.1.4. <i>Sawdust Concrete</i>	12
2.2. KARAKTERISTIK BETON RINGAN	13
2.2.1. Kemudahan Pengerjaan (<i>Workability</i>)	13
2.2.2. Berat Isi	13
2.2.3. Kekuatan (<i>Strength</i>)	14
2.2.4. Modulus Elastisitas	15
2.2.5. <i>Poisson's Ratio</i>	16
2.2.6. Kuat Tarik Belah	17
2.3. AGREGAT RINGAN	18
2.4. KARAKTERISTIK AGREGAT RINGAN	19
2.4.1. Sifat-sifat Agregat Ringan	19
2.4.2. Macam-macam Agregat Ringan	21
2.5. SEMEN	23
2.4.1. Proses Pembuatan Semen Portland	24
2.4.2. Sifat dan Karakteristik Semen Portland	24
2.4.2.1. Sifat Fisika	24
2.4.2.2. Sifat Kimia	25
2.6. AIR	26
2.7. MORTAR	26
2.7.1. Komposisi Mortar	27
2.7.2. Properti Mortar	27
2.7.2.1. Mortar Plastis	27
2.7.2.2. Mortar Keras	28
2.8. PROPORSI DAN PERHITUNGAN RANCANG CAMPUR	29

2.8.1. Metode Rancang Campur Beton Ringan Standar SNI	30
2.9. POLI ETILEN DENSITAS TINGGI (HDPE)	31
2.9.1. Definisi Poli Etilen Densitas Tinggi	31
2.9.2. Aplikasi	35
2.10. AGREGAT RINGAN HDPE BOTOL PELUMAS	36
2.10.1. Pembuatan Agregat Kasar Ringan HDPE Botol Pelumas	37
BAB III. METODE PENELITIAN	38
3.1. PENDAHULUAN	38
3.2. BAHAN BAKU PENELITIAN.....	38
3.3. TAHAPAN PELAKSANAAN PENELITIAN	38
3.4. PROSES PEMBUATAN AGREGAT KASAR RINGAN	40
3.5. PENGUJIAN AGREGAT	40
3.5.1. Prosedur Percobaan Agregat	41
3.5.1.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	41
3.5.1.2. Pengujian Bobot Isi Rongga Udara Dalam Agregat ..	41
3.5.1.3. Pengujian Analisa Ayakan	45
3.5.1.4. Pengujian Jumlah Bahan Lolos Saringan No.200	47
3.5.1.5. Pengujian Kotoran Organik	49
3.6. PENETAPAN PARAMETER CAMPURAN BETON RINGAN	49
3.6.1. Metode Rancang Campur Beton.....	51
3.7. PROSEDUR PERCOBAAN MORTAR	52
3.7.1. Pembuatan Benda Uji Mortar	52
3.7.2. Pengujian Kuat Tekan Mortar.....	54
3.8. PROSEDUR PERCOBAAN BETON	54
3.8.1. Pembuatan Benda Uji Beton Ringan	54
3.8.2. Pengujian Beton Ringan	56
3.8.3. Pelaksanaan Pengujian Beton Ringan	56
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	63
4.1. KARAKTERISTIK GEOMETRIK AGREGAT BUATAN	63
4.2. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN AGREGAT	65
4.2.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar Ringan Dari Daur Ulang Botol Plastik (HDPE)	65
4.2.2. Hasil Pengujian Agregat Halus Normal	66
4.2.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat Kasar Ringan Dari Daur Ulang Botol Plastik (HDPE)	68
4.2.4. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Benda Uji Daur Ulang Botol Plastik (HDPE)	70
4.2.2. Hasil Kuat Tekan Mortar	71
4.3. HASIL DAN ANALISA RANCANG CAMPUR BETON RINGAN	72
4.4. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN BETON RINGAN	73
4.4.1. Hasil Pengujian Slump	74
4.4.2. Hasil Pengujian Berat Isi Segar Beton Ringan	74
4.4.3. Hasil Pengujian Berat Isi Kering Beton Ringan	75
4.4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan	76
4.4.5. Hasil Pengujian Kuat Tarik	78
4.4.6. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas & <i>Poisson's Ratio</i> ...	81
4.5. ANALISA BIAYA	86

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN
5.1. KESIMPULAN
5.2. SARAN
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Beton Ringan Berdasarkan Klasifikasi Agregat Ringan	Halaman 86
-------------------	---	---------------

Gambar 2.2	Struktur HDPE,LDPE, L-LDPE	33
Gambar 2.3	Perbandingan Rantai Karbon dari Polimer Padat	33
Gambar 2.4	Bentuk dan Struktur Rantai Polimer	34
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1	Grafik Pembuatan Agregat Berdasarkan Waktu dan Suhu	64
Gambar 4.2	Grafik Analisa Ayakan Agregat Kasar Ringan Botol Plastik shampo HDPE	66
Gambar 4.3	Grafik Analisa Ayakan Agregat Halus	68
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Modulus Elastisitas (E) dengan Kecepatan Gelombang (km/s)	71
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Faktor Air Semen	72
Gambar 4.6	Benda uji, uji kuat tekan, pola retak mortar	72
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs Umur Beton	77
Gambar 4.8	Hasil uji kuat tekan dan pola retak beton ringan silinder (15×30)cm	78
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Kuat Tarik Beton Ringan vs Umur Beton	79
Gambar 4.10	Hasil uji kuat tarik dan pola retak beton ringan silinder (15×30)cm	80
Gambar 4.11	Hubungan Kuat Tarik Beton Ringan vs Umur Beton	80
Gambar 4.12	Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs Kuat Tarik Beton	81
Gambar 4.13	Koreksi Pembacaan Dial Horizontal (Deformasi Lateral)	83
Gambar 4.14	Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs Modulus Elastisitas	84
Gambar 4.15	Perbandingan Kuat Tekan Beton Ringan HDPE Botol Shampo vs Kuat Tekan Beton Ringan HDPE Botol Pelumas	85

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Pembagian beton ringan menurut penggunaan dan Persyaratannya	9

Tabel 2.2	Beton tanpa agregat halus dengan ukuran agregat 9,5-19 mm	11
Tabel 2.3	Hubungan kekuatan tekan rata-rata dengan kandungan semen	15
Tabel 2.4	<i>Typical Properties of Common Lightweight Concrete</i>	20
Tabel 2.5	<i>Thermoplastic Polymers With Carbon Backbone</i>	32
Tabel 2.6	<i>Typical Properties of Commercial Thermoplastic Polymers</i>	35
Tabel 3.1	Batas Kekuatan Konstruksi Beton Ringan	50
Tabel 3.2	Tabel kebutuhan Benda Uji Kuat Tekan Mortar	52
Tabel 3.3	Jumlah Benda Uji untuk Tiap Jenis Pengetesan	54
Tabel 4.1	Karakteristik Geometrik Agregat Kasar Ringan Plastik	63
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE botol shampo Dengan HDPE botol pelumas	65
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Pada Agregat Halus	67
Tabel 4.4	Data Kuat Tekan Silinder Plastik (15×30) cm	68
Tabel 4.5	Data Kuat Tekan Silinder Plastik + Serat <i>Alloy</i> (15×30) cm	69
Tabel 4.6	Hubungan antara v dan E	70
Tabel 4.7	Data Kuat Tekan Rata-rata Mortar	71
Tabel 4.8	Data Kebutuhan Campuran Beton Ringan	73
Tabel 4.9	Nilai Berat Isi Beton Ringan Segar	74
Tabel 4.10	Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Silinder	75
Tabel 4.11	Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Umur 7 Hari	76
Tabel 4.12	Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Umur 14 Hari	76
Tabel 4.13	Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Umur 28 Hari	76
Tabel 4.14	Nilai Kuat Tarik Rata-Rata Beton Ringan Umur 7 Hari	78
Tabel 4.15	Nilai Kuat Tarik Rata-Rata Beton Ringan Umur 14 Hari	79
Tabel 4.16	Nilai Kuat Tarik Rata-Rata Beton Ringan Umur 28 Hari	79
Tabel 4.17	Nilai Rata-rata Modulus Elastisitas dan <i>Poisson's Ratio</i> Beton Ringan Plastik	83
Tabel 4.18	Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Berbentuk Silinder	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data Hasil Pengujian Agregat Kasar	Halaman A-1
--	----------------

Lampiran B	Data Hasil Pengujian Agregat Halus	B-1
Lampiran C	Data Hasil Pengujian Beton Ringan Keras	C-1
Lampiran D	Data Hasil Pengujian Mortar	D-1
Lampiran E	Data Perhitungan <i>Mix Design</i>	E-1
Lampiran G	Data Perhitungan Modulus Elastisitas dan Angka Perbandingan <i>Poisson</i>	G-1
Lampiran H	Foto-foto Pengujian	H-1
Lampiran I	Tata Cara Perhitungan Rancang Campur Beton Ringan Standar SNI 03-3449-2002,	I-1



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perkembangan yang sangat pesat dari industri polimer sintetik membuat kehidupan kita selalu dimanjakan oleh kepraktisan dan kenyamanan dari produk yang mereka hasilkan. Penggunaan produk plastik sedemikian meluasnya, plastik digunakan sebagai bahan baku kemasan, tekstil, bagian-bagian kendaraan dan alat-alat elektronik. Bahkan plastik dianggap sebagai salah satu ciri kemunculan zaman modern yang ditandai dengan kehidupan yang serba praktis dan nyaman. Namun, penggunaan plastik tak hanya membawa dampak positif, plastik pun dapat memberikan efek negatif bagi kehidupan[25].

Berbagai teknologi untuk mendaur ulang limbah plastik dikembangkan, namun, teknologi tersebut ternyata belum mampu mengurangi tumpukan limbah plastik yang ada di alam. Teknologi daur ulang plastik yang kini banyak dipasarkan, pada dasarnya hanya berfungsi untuk mengurangi pemakaian bahan baku plastik. Artinya, sampah-sampah yang bertumpuk, dikumpulkan, kemudian diolah untuk memproduksi jenis-jenis barang plastik yang baru. Hal itu berarti pula bahwa penggunaan teknologi tersebut hanyalah suatu upaya untuk memperlambat makin membesarnya tumpukan plastik di alam[24].

High-Density Polietilen atau *Polietilen* Densitas Tinggi (HDPE) adalah salah satu bahan polimer termoplastik yang banyak digunakan salah satunya untuk penggunaan kemasan kosmetik, disimbolkan dengan (*recycle 2*) pada bagian bawah botol. Sehingga pada penelitian ini digunakan daur ulang plastik botol shampo *Polietilen* Densitas Tinggi (HDPE) untuk dilakukan pengkajian penggunaannya secara lebih lanjut sebagai bahan baku pembuatan agregat kasar ringan.

Penelitian ini berangkat dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Mochamad Agus Hariyana, ST pada tahun 2008, dalam skripsinya yang berjudul *Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Buatan Dari Limbah Botol Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Dan Pengaruhnya Terhadap Sifat-sifat Mekanis Beton Ringan*[15]. Dalam penelitian skripsinya dapat diambil kesimpulan bahwa agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE) dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar ringan pada umumnya untuk campuran konstruksi beton ringan struktural ringan.

1.2. HIPOTESIS

Penggunaan agregat ringan hasil daur ulang limbah plastik shampo HDPE dalam pencampuran beton ringan diharapkan dapat menggantikan agregat kasar batu split. Berdasarkan pada sifat fisis pada plastik HDPE diharapkan dapat menghasilkan beton ringan dan berpori, namun dapat menurunkan kuat tekan beton ringan.

1.3. PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan suatu kombinasi rancang campur optimal dari material pembentuk beton ringan dengan menggunakan hasil daur ulang plastik botol shampo sebagai agregat ringan. Perlu dilakukan peninjauan terhadap material agregat ringan buatan terhadap sifat-sifat yang dimiliki beton ringan. Kemudian diamati pengaruhnya terhadap sifat fisis dan mekanis beton ringan.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan agregat ringan hasil daur ulang limbah botol plastik shampo HDPE pada sifat fisis dan mekanis beton ringan. Untuk kemudian disimpulkan apakah material tersebut dapat digunakan sebagai salah satu alternatif material pengganti agregat ringan alami untuk membentuk beton ringan struktural ringan.

1.5. BATASAN MASALAH

Seluruh penelitian dimulai dari pengujian, *trial mix*, *mixing*, pencetakan dan *curing* dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Sipil FTUI, Depok. Lingkup bahasan dari penelitian ini meliputi beberapa pengujian terhadap material pembentuk beton berupa agregat kasar ringan buatan, agregat halus, dan pengaruhnya terhadap beton ringan itu sendiri. Penelitian yang dilakukan antara lain;

1. Penelitian terhadap karakteristik material pembentuk beton mengacu pada standar ASTM, penelitian tersebut antara lain;

- Pengujian agregat kasar ringan mengacu pada ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*”. Pengujian yang dilakukan meliputi; pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat, pengujian analisa ayak, pengujian kekerasan agregat.
 - Pengujian agregat halus mengacu pada ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*”. Pengujian yang dilakukan meliputi; pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat, pengujian analisa ayak, pengujian kadar air, pengujian *organic impurities*.
 - Semen PCC tidak diujikan, sifat fisis diambil dari standar pabrik.
 - Pengujian air tidak diujikan, air tanah berasal dari Laboratorium Bahan Jurusan Sipil FTUI.
2. Rancang campur (*mix design*)
 3. Proses *Mixing*, dan pembuatan benda uji berupa beton berbentuk silinder ukuran 15×30 cm.
 4. Proses perawatan beton (*curing*), perendaman benda uji dilakukan dibak curing Laboratorium Bahan Jurusan Sipil FTUI.
 5. Penelitian terhadap beton ringan mengacu pada standar ASTM, penelitian tersebut antara lain;
 - Penelitian terhadap beton segar, penelitian yang dilakukan meliputi; uji *slump*, berat isi beton segar yang mengacu pada standar ASTM C.143, “*Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*”, ASTM C.138, “*Test Method for Density (Unit Weight), Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete*”,.
 - Penelitian beton keras dilakukan pada kuat tekan, kuat tarik belah, nilai modulus elastisitas yang mengacu pada standar ASTM C.39/C 39M-01, “*Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”, ASTM C.469-94, “*Test Method for static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression*”, ASTM C.496-96, “*Test Method for Splitting Tensile strength of Cylindrical Concrete Specimens*”

1.6. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah studi literatur yang merupakan tahap awal dari penulisan ini, yaitu dengan penelusuran literatur untuk memahami karakteristik material pembentuk beton terutama HDPE, karakteristik agregat ringan beserta klasifikasinya, karakteristik beton ringan beserta klasifikasinya, metode rancang campur (*mix design*) yang tepat digunakan dalam rancang campur beton ringan. Tahap selanjutnya adalah studi percobaan laboratorium, dimana dilakukan pengujian terhadap agregat kasar ringan buatan yang dihasilkan, selanjutnya melakukan perhitungan rancang campur beton untuk mendapatkan proporsi yang tepat penggunaan agregat kasar ringan buatan, untuk kemudian dilakukan pengujian pengaruh agregat ringan buatan tersebut terhadap sifat fisis dan sifat mekanis, sehingga diketahui bagaimana karakteristik beton dengan agregat daur ulang botol plastik shampo HDPE.

1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini meliputi:

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang, hipotesis, perumusan masalah tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan yang dilakukan dalam menyusun penulisan penelitian dan merupakan gambaran umum keseluruhan naskah.

BAB II DASAR TEORI

Berisikan tentang dasar teori mengenai permasalahan, karakteristik dan klasifikasi agregat ringan, karakteristik dan klasifikasi beton ringan, dan material pengisi beton ringan, penetapan parameter rancang campur pada beton ringan, karakteristik dari HDPE, serta metode-metode yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir.

BAB III. METODE PENELITIAN

Menguraikan prosedur percobaan agregat yang meliputi proses pembuatan dan pengujian agregat, penetapan proporsi campuran beton

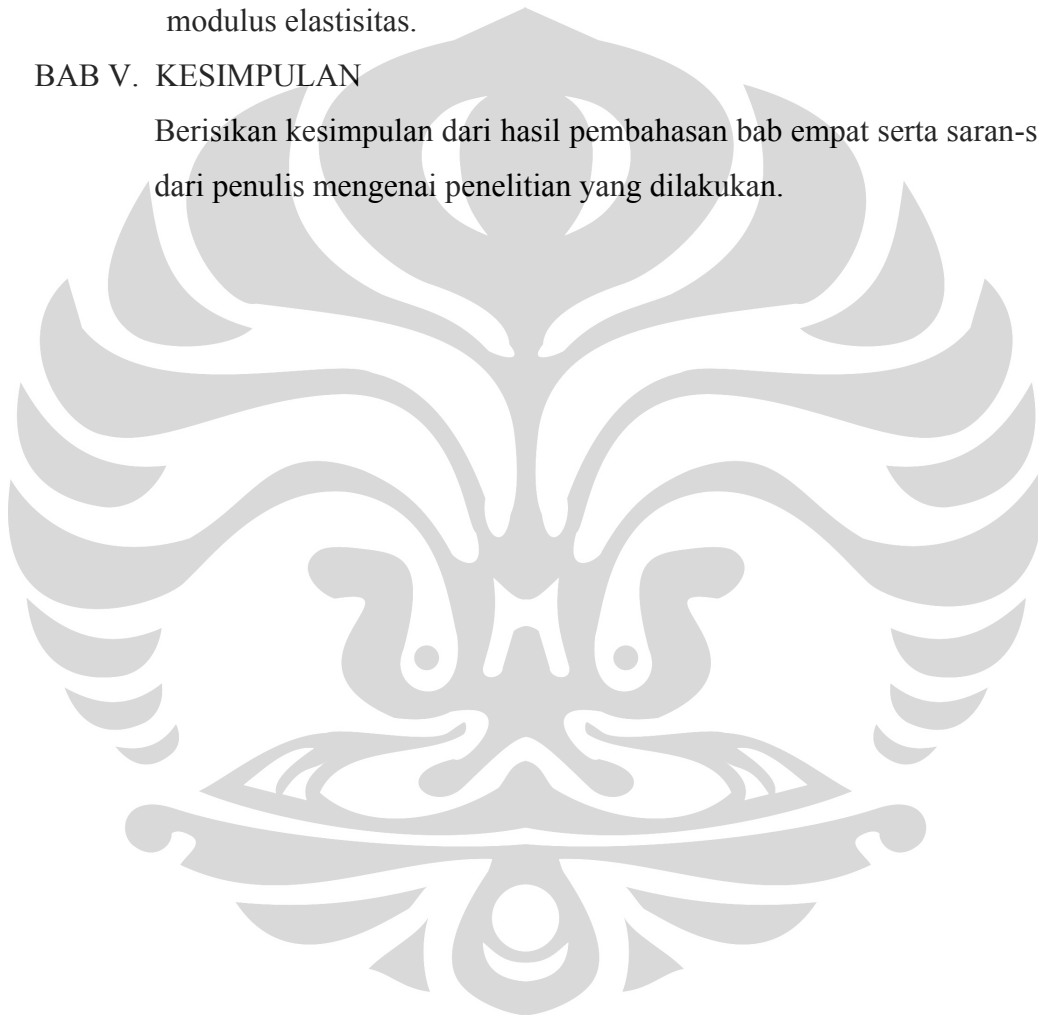
ringan, prosedur percobaan beton yang meliputi pembuatan benda uji beton dan pengujian sifat beton.

BAB IV. ANALISA DATA

Berisikan tentang data analisis pengujian agregat kasar ringan meliputi data berat jenis dan penyerapan air, data bobot isi dan rongga udara dalam agregat, data hasil analisa ayak dan pengujian pada sifat mekanis beton yaitu, data *slump*, berat isi beton segar, kuat tekan, kuat tarik nilai modulus elastisitas.

BAB V. KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan dari hasil pembahasan bab empat serta saran-saran dari penulis mengenai penelitian yang dilakukan.



BAB II DASAR TEORI

2.1. BETON RINGAN (*LIGHTWEIGHT CONCRETE*)

Beton ringan adalah beton yang menggunakan agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural [SNI 03-3449-2002][10].

Beton ringan menggunakan agregat ringan yang berat jenisnya kurang dari 2.5. Agregat ringan pada beton ringan dapat diperoleh dari bahan dasar alami (agregat ringan alami) maupun buatan (agregat ringan buatan). Pemakaian beton ringan dapat digunakan untuk struktural maupun non struktural (dinding penyekat, dsb). Sifat dasar beton ringan adalah memiliki porositas yang tinggi sehingga berat jenisnya rendah.

Karena berat isinya yang rendah, maka ada beberapa keuntungan menggunakan beton ringan diantaranya:

1. Menghemat pemakaian besi tulangan karena berat sendiri struktur menjadi rendah, sehingga momen yang terjadi juga kecil.
2. Menghemat penggunaan tiang *formwork*.
3. Dapat mengurangi ukuran pondasi.
4. Memiliki isolasi panas (*thermal insulation*) yang tinggi atau penghantar panas (*thermal conductivity*) yang rendah.

Namun adapun kerugian penggunaan beton ringan adalah kuat tekannya relatif rendah dan tidak tahan terhadap abrasi. Umumnya beton ringan lebih mahal dari beton normal dan dalam pengerjaannya baik pada waktu pencampuran, pengadukan serta pematatannya memerlukan perhatian yang tinggi dibandingkan beton normal.

Beton yang dibuat dari agregat alam dan berasal dari batu keras mempunyai kepadatan dengan batasan yang sempit dikarenakan berat jenis agregat yang berasal dari agregat alam mempunyai variasi yang kecil antara sesama agregat alam, meskipun kandungan volume dari agregat mempengaruhi kepadatan campuran beton, akan tetapi bukan merupakan faktor yang utama. Oleh karena itu pemilihan jenis agregat ringan dan asal dari agregat ringan yang akan dipakai akan berpengaruh terhadap kepadatan beton.

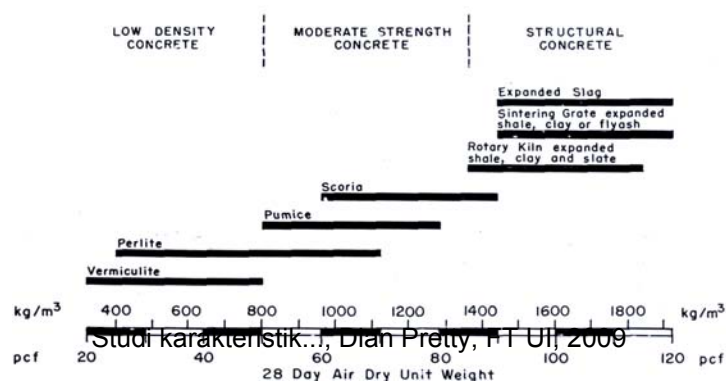
Pada umumnya beton ringan mempunyai kandungan semen yang lebih banyak dibandingkan dengan beton normal dan juga agregat ringan yang mahal, hal ini akan berpengaruh pada biaya [Neville, A.M., 1981][18]. Akan tetapi agregat ringan yang mahal tidak bisa dijadikan batasan untuk mahalnya pemakaian beton ringan, dasarnya adalah desain campur yang disesuaikan dengan penggunaannya misal akan digunakan untuk penggunaan struktural, dari sisi harga beton mungkin mahal tetapi dengan berat sendiri yang ringan akan mereduksi biaya-biaya yang lain.

2.1.1. KLASIFIKASI BETON RINGAN

2.1.1.2. Beton Ringan Agregat

Beton ringan agregat adalah beton ringan yang dibuat dengan memakai agregat ringan yang bersifat berpori dan mempunyai berat jenis cenderung rendah kurang dari 2.6 Berat isi beton yang dihasilkan adalah 300-1850 kg/m³ dan kuat tekan antara 0.3-4.0 MPa. Agregat ringan ini dapat diperoleh dengan cara pembekahan lempung, batu sabak, batu serpih, perlit, vermikulit. Adapun agregat ringan yang diperoleh secara alami, seperti pumice, scoria, tuff. Kadang kala untuk membuat beton yang lebih ekonomis, dalam campuran beton ringan digunakan agregat halus normal, seperti pasir alam untuk menggantikan sebagian atau seluruh agregat halus ringan, beton jenis ini lebih dikenal dengan sebutan “*sanded-lightweight concrete*”. Campuran beton yang menggunakan agregat ringan untuk butiran halus dan kasarnya lebih dikenal dengan sebutan “*all-lightweight concrete*”. Tujuan dari pemakaian agregat halus normal ini untuk meningkatkan kekuatan beton ringan, tingkat mudah dikerjakan (*workability*) dan nilai modulus elastisitas beton ringan tersebut.

Berdasarkan jenis agregat, ACI mengklasifikasikan beton ringan sebagai berikut:



Gambar 2.1. *Beton Ringan Berdasarkan Klasifikasi Agregat Ringan*

Sumber: ACI committee 213R-79, Manual of Concrete Practice, 1979[3]

1. Beton ringan dengan berat jenis rendah (*low-density concrete*)

Beton ringan nonstruktural ini umumnya digunakan untuk insulasi (*thermal insulation*). Dengan berat jenis rendah antara 240 kg/m³ sampai 800 kg/m³, konduktivitas rendah. Kuat tekan berkisar antara 0.69 MPa sampai 6.89 MPa

2. Beton ringan struktural (*structural lightweight concretes*)

Beton ini menggunakan agregat antara lain *expanded shale, clays, slates, slag, pumice, scoria*. Kuat tekan minimum didefinisikan 17.24 MPa. Beton ini biasanya mampu menghasilkan kuat tekan sekitar 34.47 MPa dan beton ringan dapat dibuat dengan kuat tekan sampai dengan lebih dari 41.36MPa. Berat jenis lebih besar dari pada *low-density concretes*, efisiensi insulasi rendah. Isolasi panasnya lebih baik daripada beton normal pada umumnya.

3. Beton ringan dengan kekuatan sedang (*moderate-strength light concrete*)

Kuat tekannya berkisar antara 6.89 MPa sampai 17.24 MPa Beton ini biasanya dirancang sebagai beton pengisi.

Pada tabel 2.1 dapat dilihat klasifikasi beton ringan, dengan berdasarkan pada berat isi beton ringan yang dihasilkan.

Tabel 2.1. *Pembagian beton ringan menurut penggunaan dan persyaratannya*

Pustaka	Jenis Beton Ringan	Berat Jenis (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)
Dobrowolski (1998)	Beton ringan dengan berat jenis rendah	240 - 800	0,35 - 6,9

	Beton ringan dengan kekuatan menengah	800 - 1440	6,9 - 17,3
	Beton ringan struktur	1440 - 1900	> 17,3
Neville & Brooks (1987)	Beton ringan struktur	1400 - 1800	> 17
	Beton ringan untuk pasangan batu	500 - 800	7 - 14
	Beton ringan penahan panas	< 800	0,7 - 7

Sumber: Satyarno. Imam., Semen Putih untuk beton ringan, 2004[21]

2.1.1.2. Beton Aerasi (*Aerated Concrete/ Cellular Concrete*)

Beton ringan yang dibuat dengan memasukkan gelembung udara kedalam campuran semen dan pasir (mortar) pada waktu masih plastis, sehingga dihasilkan material dengan struktur seluler, atau menyerupai busa karet, gelembung udara dalam ukuran yang kecil (0.1 mm dan 1 mm) harus stabil didalam beton, baik pada waktu dicampur atau dipadatkan. Pada umumnya beton seperti ini tidak mengandung agregat kasar. Ada dua metode pengisian udara kedalamnya yaitu:

a. *Beton Gas*

Didapat dengan reaksi kimia antara bahan yang menimbulkan gas dalam mortar, jadi saat beton terbentuk, beton akan terdiri dari gelembung gas. Mortar harus memiliki konsistensi yang baik (tidak terlalu encer) agar gas yang terdapat didalamnya tetap dan tidak keluar. Kecepatan terbentuknya gas, konsistensi mortar dan waktu pengikatan harus tepat. Serbuk alumunium umumnya dapat ditambahkan sebanyak 0.2% terhadap semen dapat menghasilkan gelembung udara, selain itu digunakan juga serbuk seng atau alumunium campuran.

b. *Beton Busa (Foamed Concrete)*

Dihasilkan dengan cara menambahkan kedalam campuran sejenis bahan penghasil busa (umumnya digunakan *hydrolyzed protein* atau sabun resin). Dapat menghasilkan dan menstabilkan gelembung udara pada saat dicampur pada kecepatan tinggi.

Aerated concrete dapat mengandung agregat atau tanpa agregat. Umumnya digunakan untuk pemakain non struktural yang memerlukan isolasi panas dengan kepadatan 300 kg/m³. Jika menggunakan agregat yang sangat halus, sebagian besar memiliki kepadatan antara 500-1100 kg/m³.

Sama dengan beton agregat ringan kekuatan dan konduktivitas panasnya sangat tergantung kepadatannya. Beton dengan kepadatan 500 kg/m^3 dapat mencapai kekuatan 3-4 MPa dan konduktivitas panas $0.1 \text{ J/m}^2\text{s} \cdot ^\circ\text{C/m}$. Sebagai perbandingan untuk beton normal bisa lebih besar dari 10 kali lipat. Namun harus diingat konduktivitas panas pun sangat tergantung kadar air, dengan kadar air 20% konduktivitas panasnya bisa dua kali lipat dibandingkan dengan beton normal kering mutlak. *Aerated concrete* memiliki sifat fisik sebagai berikut:

- Memiliki modulus elastisitas antara 1.7 sampai 3.5 GPa.
- Sama seperti beton normal sensitif terhadap *creep*
- Memiliki perubahan panas, penyusutan dan perubahan kadar air yang tinggi (kadang lebih tinggi dari beton agregat ringan pada kekuatan yang sama) tetapi sifat ini dapat diperkecil dengan perawatan dalam *high pressure steam curing*.
- Memiliki sifat konduktivitas yang rendah, juga memiliki sifat tahan api lebih tinggi dibandingkan beton normal.
- Memiliki penyerapan air yang tinggi dan tahan terhadap pembekuan (*freezing*).
- Mudah untuk digergaji dan dipasang paku.
- Untuk mencegah agar tuangan tidak berkarat, maka harus dilindungi dengan bahan anti korosi, seperti aspal, *epoxy resin*.

2.1.1.3. Beton Tanpa Agregat Halus (*no-fines concrete*)

Beton ini dibuat dengan cara mengurangi bagian agregat halusnya, sehingga hanya mengandung pasta semen dan agregat kasar saja. Jadi sekelompok agregat kasar yang terselimuti oleh pasta semen setebal $\pm 1.3 \text{ mm}$. Dengan pori yang besar, maka kekuatan menjadi lebih rendah, tetapi tidak terjadi perubahan kadar air didalamnya, karena tidak ada pori-pori kapiler.

Biaya pembuatan beton jenis ini menjadi ringan karena kadar semennya rendah antara 70 sampai 130 kg untuk setiap kubik beton, karena berkurangnya luas permukaan butiran. Kepadatan beton tergantung gradasi agregat kasarnya, dengan gradasi yang baik maka kepadatannya lebih tinggi dibandingkan dengan satu jenis butiran agregat kasar. Apabila menggunakan agregat normal berat isi

betonnya bervariasi antara 1600 kg/m³ sampai 2000 kg/m³, tapi dengan menggunakan agregat ringan maka berat isinya hanya 640 kg/m³.

Ukuran butiran yang biasa digunakan adalah 9.5 mm sampai 19 mm. 5% di atasnya dan 10% dibawahnya. Tetapi tidak boleh ada agregat yang lebih kecil dari 4,75 mm. Kadang-kadang butir agregat lebih dari 50 mm juga digunakan.

Pemadatan dengan *vibrator* tidak boleh terlalu lama, tidak boleh dengan cara ditusuk-tusuk, karena keduanya dapat menurunkan pasta semen, sehingga kepadatan beton tidak merata, demikian pula pasta semen tidak boleh terlalu encer. Pengujian *workability* hanya dilakukan secara visual dengan melihat sampai seberapa tebal pasta semen menyelimuti agregat.

Tabel 2.2. Beton tanpa agregat halus dengan ukuran agregat 9,5-19 mm

Aggregate/ cement ratio by volume	Water/ cement ratio by mass	Density		28-day Compressive strength	
		kg/m ³	lb/ft ³	MPa	psi
6	0.38	2020	126	14	2100
7	0.40	1970	123	12	1700
8	0.41	1940	121	10	1450
10	0.45	1870	117	7	1000

Sumber: Neville A.M., Properties of Concrete, 1981[18]

Untuk menentukan kadar air dalam campuran dapat diambil 180 kg/m³ beton. Kadar semennya tergantung kuat tekan yang diharapkan sesuai dengan tabel. Untuk mendapatkan hasil campuran yang sesuai maka harus dilakukan *trial mix* karena banyaknya faktor yang menentukan terhadap penampilan (tebal selimut pasta semen terhadap agregat) dan kekuatan beton ini.

Dalam pelaksanaannya, campuran sangat bervariasi. Dengan campuran yang kurus 1 : 10 (perbandingan semen dan agregat dalam volume) memerlukan semen 130 kg/m³ dan dengan perbandingan 1 : 20 kadar semennya 70 kg/m³.

Karena dalam beton ini tidak terdapat agregat halus, maka daya kohesi menjadi kecil, sehingga pemasangan cetakan memerlukan waktu yang agak lama sampai kekuatan betonnya memenuhi syarat. Perawatan dalam tempat yang lembab (*curing normal*) sangat diperlukan terutama pada musim panas, hal ini dilakukan untuk mencegah pasta semen yang sangat tipis cepat kehilangan air,

sehingga proses hidrasi yang terjadi tidak sempurna. *No fines concrete* setelah mengeras mempunyai sifat seperti :

- Perbandingan kuat lentur dan kuat tekannya $\pm 30\%$ lebih tinggi dibandingkan beton normal.
- Modulus elastisitasnya 2.5 - 3 kali lipat kuat tekannya.
- Penyusutan lebih kecil dibandingkan beton normal berkisar antara 120×10^{-6} sampai 200×10^{-6} .
- Tahan terhadap pembekuan (*freezing*).
- Sangat tinggi penyerapan airnya (dapat mencapai 25% dari volumenya), sehingga tidak diijinkan untuk pondasi atau konstruksi yang selalu bersentuhan dengan air.
- Beton ini tidak umum menggunakan tulangan, tetapi jika disyaratkan harus menggunakannya, maka tulangan perlu dilapisi pasta semen setebal 3mm atau untuk mempercepat dapat dilapisi dengan *shotcrete*.

2.3.1.4. Sawdust Concrete

Dalam bahan bangunan kadang diperlukan beton yang mudah digergaji atau dipaku, seperti untuk dinding nonstruktural atau untuk plafon. Untuk menghasilkan beton seperti itu dapat dibuat dengan menggunakan campuran semen dan serbuk gergaji (*sawdust concrete*) selain serbuk gergaji, bahan lain yang dapat digunakan sebagai campuran adalah serutan kayu, sekam padi atau dapat juga menggunakan limbah kayu lainnya, batu apung dan *expanded polystyrene* dapat pula digunakan.

Serbuk gergaji yang digunakan harus bersih, untuk mencegah supaya tidak memperlambat pengikatan pada semen, maka perlu terlebih dahulu serbuk tersebut direndam dalam air kapur. Pembuatannya dengan cara mencampur semen, pasir, serbuk gergaji dan air sampai mencapai nilai *slump* 25-50 mm.

Ukuran butiran yang baik antara 1.18 mm sampai 6.3 mm, tapi ini juga tergantung bahannya karena dapat menghasilkan beton yang berbeda. Berat isinya bervariasi antara $650-1600 \text{ kg/m}^3$. Pada beton jenis ini dapat juga digunakan agregat, seperti *expanded slag*, *pumice*, *scoria*, *perlite*. Beton jenis ini tidak dapat

digunakan pada tempat yang lembab karena mempunyai sifat penyerapan kadar air yang cukup tinggi.

2.2. KARAKTERISTIK BETON RINGAN

2.2.1. Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Workability berarti kemudahan campuran beton untuk dapat dikerjakan (*workable*) pada saat beton masih dalam keadaan segar (plastis). Beton yang kering dan kaku akan sulit untuk dikerjakan, dituang, dipadatkan dan dirapihkan sehingga memiliki ketahanan dan kekuatan yang kurang bila nantinya mengeras.

Kemudahan pengerjaan beton dapat diukur dengan uji *slump*. *Slump* adalah Pada tingkat kekentalan (*consistency*) yang sama, beton ringan mempunyai nilai *slump* yang lebih rendah dari beton normal. $Slump \leq 4$ inci akan menghasilkan hasil yang terbaik pada beton ringan. *Slump* yang lebih besar akan menyebabkan segregasi dan agregat kasar ringan akan mengapung sehingga membuat permukaan beton menjadi kasar dan tidak rata.

Hal-hal yang mempengaruhi kemudahan pengerjaan beton yaitu:

- Jumlah air pencampur
- Jumlah semen

Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisanya pun akan lebih tinggi

- Gradasi campuran agregat

Jika memenuhi syarat dan sesuai dengna standar, akan lebih mudah dikerjakan.

- Bentuk butiran agregat kasar

2.2.2. Berat Isi

Pengurangan berat beton dengan kualitas struktural merupakan keuntungan utama dari pemakaian beton ringan. Berat beton ringan struktural adalah 1440-1840 kg/m³, tergantung pada sumber agregatnya. Dengan menggantikan sebagian atau seluruh agregat halus dengan pasir alam yang mempunyai berat isi 1520-1760 kg/m³ akan menaikkan berat beton sebesar 160-240 kg/m³.

Sebagai contoh, dengan memakai agregat yang sama, pemakaian pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan akan menaikkan berat beton sebesar 80-160 kg/m³ dengan kekuatan yang sama. Dengan memakai material yang sama, penambahan semen akan meningkatkan kekuatan beton dari 20.68 MPa menjadi 34.47 MPa dan berat beton bertambah 48-96 kg/m³.

2.2.3. Kekuatan (*strength*)

Tingkat kekuatan beton yang dibutuhkan untuk memenuhi kekuatan dengan cara beton *cast-in-place*, *pre-cast*, *pre-stress* dapat diperoleh dengan memakai agregat ringan. Kekuatan tekan 28 hari beton ringan umumnya adalah 20.68 - 34.47 MPa. Setiap agregat mempunyai kekuatan batas (*strength ceiling*) tetapi dapat dinaikkan batas kekuatan ini, yaitu dengan cara mengurangi ukuran butiran maksimum agregat untuk kadar semen dan nilai *slump* yang sama. Contoh, dengan memakai agregat ringan berukuran maksimum ¾ inci, akan diperoleh beton berkekuatan 37.92 MPa. Tetapi apabila memakai agregat kasar ringan berukuran maksimum ½ inci atau ⅜ inci, batas kekuatan beton ringan tersebut akan meningkat sebesar 44.81 - 48.25 MPa.

Kekuatan tekan beton ringan lebih tergantung pada kandungan semen dengan nilai *slump* tertentu daripada rasio air-semen. Penambahan air tanpa diikuti dengan penambahan semen pada campuran beton akan meningkatkan nilai *slump*. Pemakaian *Air-Entrained Agent* pada campuran beton ringan juga sangat menguntungkan. Pada tabel 2.2. dapat dilihat kadar semen yang diperlukan untuk memperoleh kekuatan tekan rata-rata beton pada umur 28 hari.

Dalam beberapa hal, kekuatan tekan beton ringan dapat ditingkatkan dengan mengganti sebagian atau seluruh agregat halus ringan dengan memakai agregat halus normal, pasir alam. Dimana dengan pemakaian agregat halus normal dapat meningkatkan berat isi beton (*density*).

Tabel 2.3. Hubungan kekuatan tekan rata-rata dengan kandungan semen

Kekuatan Tekan Psi (MPa)	Kandungan semen (kg/m ³)	
	<i>All lightweight</i>	<i>Sanded Lightweight</i>
2500 (17,24)	237-303	237-303

3000 (20,08)	261-332	249-332
4000 (27,58)	314-392	291-392
5000 (34,47)	374-445	356-445
6000 (41,37)	439-498	415-498

Sumber: ACI committee 213R-79, Manual of Concrete Practice, 1979[3]

Kekuatan beton ditentukan oleh kualitas pasta semen, rendahnya faktor air semen, kandungan semenn yang optimal, agregat segar, bergradasi, dan digetarkan, kandungan udara yang rendah [Edward G. Nawy, 1990:9][17].

Beton mempunyai tiga jenis kekuatan yaitu: kekuatan tekan (kemampuan beton untuk menahan tekanan), kekuatan tarik (ketahanan beton dalam menerima gaya tarik) dan kekuatan lentur (kombinasi dari kekuatan tekan dan kekuatan tarik). Umumnya kekuatan tarik pada beton dipikul oleh tulangan tarik, karena beton mempunyai sifat sangat kuat menahan tekanan dan relatif lemah dalam menahan gaya tarik, kekuatan tarik pada beton besarnya hanya kira-kira 10 % - 20% dari kekuatan tekan [Mosley W. H., Bungey J. H., 1989][14].

2.2.4. Modulus Elastisitas Beton Ringan

Modulus elastisitas beton tergantung dari jumlah mortar semen dan agregat serta nilai modulus dari masing-masing bahan pembentuknya. Beton normal mempunyai nilai modulus elastisitas yang lebih besar karena nilai modulus dari pasir dan kerikil lebih besar dari modulus agregat ringan struktural. Pada gambar 2.4 dapat dilihat nilai modulus elastisitas dari beton “*all-lightweight*” dan beton “*sand-lightweight*”. Dari gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa nilai modulus elastisitas untuk beton ringan berpasir lebih besar dari beton ringan murni.

Umumnya modulus elastisitas beton ringan berkisar antara $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ dari beton normal yang berkekuatan sama. Perbedaan gradasi agregat tidak berpengaruh pada nilai modulus elastisitas beton ringan apabila volume relatif dari pasta semen dan agregat tidak ditambah.

ACI 318-code merekomendasikan rumus umum untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton (E_c) sebagai berikut:

$$E_c = w_c^{1.5} \times 0.043 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

w_c = Berat Isi Beton (1440-2480 kg/m³)

f'_c = Kuat Tekan Beton (MPa)

Nilai modulus elastisitas beton (E_c) yang didapat dengan menggunakan rumusan ini kurang akurat sehingga untuk memperoleh hasil yang lebih mendekati harus dilakukan tes di laboratorium dengan metode atau standard ASTM C.469.[ACI committee 213R-79, Manual of Concrete Practice, 1979][3].

2.2.5. *Poisson's Ratio*

Disamping deformasi bahan yang searah dengan gaya yang terpakai, sifat penting lainnya yang dapat diamati pada benda padat adalah deformasi yang arahnya tegak lurus pada gaya yang terpakai, yaitu pemuaian dan penyusutan yang arahnya lateral atau melintang. Untuk jelasnya kenyataan fisis ini menyatakan demikian, bila suatu benda padat dihadapkan pada suatu gaya tarik aksial maka benda itu akan menyusut secara lateral; sedang sebaliknya benda itu akan memuai ke samping bila mendapat gaya tekan. Dengan ini arah deformasi lateral dengan mudah dapat ditentukan, tergantung dari guna gaya yang terpakai. Secara matematis tanda plus biasanya menunjukkan penambahan dimensi lateral dan demikian pula sebaliknya.

Untuk suatu teori umum, adalah lebih baik menggunakan deformasi lateral dengan deformasi persatuan panjang daripada dimensi lintang. Jadi deformasi lateral dengan basis relatif ini dapat dinyatakan dalam meter per meter. Deformasi lateral dalam satuan relatif ini disebut regangan lateral (*lateral strain*). Selanjutnya, dari percobaan diketahui bahwa regangan lateral mendukung suatu hubungan yang konstan dengan regangan aksial yang disebabkan oleh gaya aksial, selama bahan tetap *elastic, homogen, dan isotropic*. Konstanta ini merupakan sifat tertentu dari suatu bahan, seperti modulus elastis E , dan disebut perbandingan Poisson (*Poisson's ratio*).

Poisson's ratio beton berkisar antara 0.11-0.21, diketahui dari pengukuran regangan, baik untuk beton normal, maupun beton ringan. Penentuan besarnya

nilai dari *poisson's ratio* ada beton dapat ditentukan melalui suatu *uji dinamik*. Pengujian dinamik ini dikembangkan oleh R. Jones (1955) [Neville, A.M., 1981][18] pada benda uji balok beton, dimana secara matematis *poisson's ratio* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{V}{2nL}\right)^2 = \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

V = Kecepatan getaran (pulse)

n = Frekuensi getaran

L = Panjang getaran

Dari hasil tes dengan metode resonansi, diperoleh angka *poisson* untuk beton ringan antara 0.16-0.25 dengan rata-rata 0.21. Umur beton, kekuatan beton dan agregat yang dipakai untuk membuat beton ringan tidak terlalu mempengaruhi angka poisson ini.

Biasanya untuk keperluan desain dipakai angka *poisson* sebesar 0.20. Untuk dapat memperoleh hasil yang lebih akurat harus dilakukan tes di laboratorium dengan metode atau standard ASTM C.469.

2.2.6. Kuat Tarik Belah

Nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Pendekatan yang baik untuk menghitung kekuatan tarik beton (f_{ct}) digunakan rumus $0,10f_c < f_{ct} < 0,20f_c$. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit untuk diukur, karena masalah penjepitan pada mesin. Untuk batang yang mengalami lentur, suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture* (f_r), adalah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos (tanpa tulangan) yang dibebani di titik-titik sepertiga bentang, sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas (ASTM C-78). *Modulus of rupture* mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan kuat tarik belah, kuat tarik bahan beton juga dapat ditentukan melalui pengujian *split silinder* yang memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat

tarik yang sebenarnya. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split silinder strength*, diperhitungkan sebagai berikut:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots \text{pers. 2.3}$$

Di mana:

f_{ct} = kuat tarik belah (N/m^2)

P = beban pada waktu belah (N)

L = panjang benda uji silinder (m)

D = diameter benda uji silinder (m)

Beton ringan pada umumnya mempunyai kuat tarik lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Berikut ini adalah ketentuan mengenai beton ringan (*lightweight concrete*) [Nawy, Edward. G., 1990][17]:

1. Jika kuat tarik belah f_{ct} ditetapkan, maka:

$$f_r = 1,09 f_{ct} \leq 7,5 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots \text{pers. 2.4}$$

2. Jika f_{ct} tidak ditetapkan, gunakan faktor 0,75 untuk semua beton ringan dan 0,85 untuk beton ringan pasir. Interpolasi linier dapat digunakan untuk campuran antara agregat halus ringan dan pasir alami.

2.3. AGREGAT RINGAN

Agregat merupakan komponen beton mempunyai peranan yang besar terhadap perilaku beton, karena agregat mempunyai komposisi sebesar 60% sampai 80% dari total volume beton, bukan hanya sifat akan tetapi juga mempengaruhi terhadap ketahanan (*durability*) dan kekuatan beton (*strengthness*). Agregat yang digunakan dalam beton berfungsi sebagai bahan pengisi, namun karena prosentase agregat yang besar dalam volume campuran, maka agregat memberikan kontribusi terhadap kekuatan beton.

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis (*specific gravity*) yang ringan dan porositas yang tinggi. Berat jenis dari agregat ini sangat dipengaruhi oleh gradasi dan ukuran agregat itu sendiri. Semakin *porous* suatu agregat, akan semakin ringan beratnya dan daya hantar panasnya akan semakin rendah tetapi kekuatan agregat menjadi lebih rendah. Karena itu, beton untuk keperluan insulasi mempunyai kekuatan yang sangat rendah, sedangkan beton

ringan struktural yang mempunyai daya hantar panas yang cukup tinggi akan mempunyai kekuatan agregat yang lebih tinggi pula.

Secara umum, semakin baik mutu suatu agregat ringan, akan dihasilkan rasio kekuatan beton ringan dengan berat isinya yang semakin tinggi. Sifat-sifat agregat ringan:

1. Mempunyai bentuk yang tidak beraturan.
2. Permukaannya kasar.
3. Mempunyai porositas yang tinggi.
4. Berat jenisnya rendah
5. Penyerapan airnya tinggi.

2.4. KARAKTERISTIK AGREGAT RINGAN

2.4.1. SIFAT-SIFAT AGREGAT RINGAN

1. Bentuk partikel,

Agregat ringan dari sumber yang berbeda akan mempunyai partikel dan tekstur permukaan yang berbeda-beda. Bentuk dan tekstur ini akan mempengaruhi proporsi campuran beton, seperti workabilitas, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen serta kebutuhan air.

2. Berat jenis,

Agregat ringan mempunyai nilai berat jenis yang lebih rendah daripada agregat normal. Berat jenisnya berkisar antara $\frac{1}{3}$ - $\frac{2}{3}$ dari berat jenis agregat normal. Berat jenis agregat dapat berkurang dengan adanya kandungan udara di dalam agregat tersebut.

3. Berat Isi,

Berat isi agregat ringan lebih rendah daripada berat isi agregat normal. Untuk gradasi dan bentuk agregat yang sama, berat isi berbanding lurus dengan berat jenisnya.

4. Kandungan air (daya absorpsi agregat),

Daya absorpsi agregat ringan jauh lebih besar dari agregat normal karena sifatnya yang porous. Berdasarkan uji absorpsi selama 24 jam, agregat ringan mampu menyerap 5%-20% berat agregat. Kandungan air pada agregat ringan sebagian besar terserap pada struktur dalam permukaan agregat. Kecepatan absorpsi masing-masing berbeda tergantung dari kadar air agregat tersebut.

5. Ukuran agregat,

Ukuran agregat ringan umumnya $\frac{3}{4}$ inch (19mm), $\frac{1}{2}$ inch (13mm), atau $\frac{3}{8}$ inch (10mm). Ukuran maksimum agregat ini mempengaruhi workability, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen, kandungan udara optimum, tingkat kekuatan dan susut. Biasanya kekuatan beton menjadi meningkat dengan menggunakan butiran yang lebih kecil.

6. Kekuatan agregat,

Agregat ringan umumnya lebih lemah daripada agregat normal, meskipun tidak ada hubungan yang pasti antara kekuatan agregat dan kekuatan beton yang akan dihasilkan.

Dibawah ini tabel penggunaan agregat ringan yang umum digunakan pada beton ringan agregat.

Tabel 2.4. *Typical Properties of Common Lightweight Concrete*

Type of concrete		Bulk density Of aggregate		Dry density Of concrete		Compressive Strength at 28 days	
		kg/m ³	lb/ft ³	kg/m ³	lb/ft ³	MPa	psi
Expanded slag	Fine	900	50	1 850	115	21	3 000
	Coarse	650	40	2 100	130	41	6 000
Rotary-kiln	Fine	700	45	1 200	75	17	2 500
Expanded clay	Coarse	400	25	1 300	80	20	3 000
Rotary-kiln Expanded clay With natural sand	Coarse	400	25	1 500	95	20	3 000
				1 600	100	35	5 000
				1 750	110	50	7 000
				1 900*	120	70†	10 000
Sinter-strand	Fine	1 050	65	1 500	95	25	3 500
Expanded clay	Coarse	650	40	1 600	100	30	4 500
Rotary-kiln	Fine	950	60	1 700	105	28	4 000
Expanded slate	Coarse	700	45	1 750	110	35	5 000
Sintered fly ash	Fine	1 050	65	1 500	95	25	3 600
	Coarse	800	50	1 540	96	30	4 400
				1 570	98	40	5 800
Sintered fly ash	Coarse	800	50	1 700	106	25	3 600
With natural				1 750	109	30	4 400

<i>sand</i>				1 790	112	40	5 800
<i>Pumice</i>		500-800	30-50	1 200	74	15	2 000
				1 250	77	20	2 800
				1 450	90	30	4 200
<i>Perlite</i>		40-200	3-13	400-500	-	1.2-3	-
<i>Vermiculite</i>		60-200	4-13	300-700	20-30	0.3-3	50-400
<i>Cellular</i>	<i>Fly ash sand</i>	950	60	750	47	3	500
		1 600	100	900	55	6	800
<i>Autoclaved Aerated</i>		-	-	800	55	4	600

*with fly ash and silica fume; †at 1 year

Sumber : Neville A.M., *Properties of Concrete*, 1981 [18]

2.4.2. MACAM-MACAM AGREGAT RINGAN

Karakteristik dan proses pembuatan dari jenis-jenis agregat ringan yang umum digunakan pada beton ringan agregat [Mulyono, T, 2003][16] adalah sebagai berikut:

1. Perlite

Merupakan jenis batuan *glassy* vulkanik dengan berat isi yang rendah sekitar 30-240 kg/m³. *Perlite* dibuat dari hasil pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu 900-1100°C. Kekuatan tekan beton yang dihasilkan oleh agregat jenis ini biasanya rendah dan pengembangan yang tinggi. Beton yang dibuat biasanya digunakan untuk tujuan insulator

2. Vermiculite

Merupakan material yang berstruktur pelat, nama lainnya adalah mica dengan berat isi yang rendah sekitar 60-130 kg/m³. Pembuatannya melalui proses pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu 650-1000°C. beton yang dibuat akan mempunyai kekuatan tekan yang rendah dan pengembangan yang tinggi, biasanya digunakan untuk tujuan insulator (penahan panas).

3. Pumice

Merupakan agregat ringan berwarna terang, sejenis batuan *glassy* dengan berat isi 500-900 kg/m³. Beragam variasi agregat ringan ini cukup kuat untuk membuat beton dengan berat 700-1400 kg/m³. Mengandung karakteristik insulator yang baik, namun dengan penyerapan dan pengembangan yang tinggi.

4. *Expanded clay, shale, dan slate*

Merupakan hasil dari dua cara, pertama proses *rotary kiln* (tanur putar) dengan temperatur 1000-1200°C. *Expanded shale* dan agregat *clay* yang dibuat dengan proses *sinter strand* mempunyai kepadatan 650-900 kg/m³, dan jika menggunakan *kiln* yang berputar akan mempunyai kepadatan sekitar 350-650 kg/m³. beton yang menggunakan agregat jenis ini akan mempunyai berat isi sekitar 1400-1800 kg/m³ dan kadang-kadang dapat pula dihasilkan beton ringan dengan kepadatan 800 kg/m³. Kekuatan tekan beton yang dihasilkan oleh agregat jenis ini biasanya cukup tinggi, terutama jika digabungkan dengan jenis agregat ringan lainnya.

5. *Expanded blast-furnace slag*

Dapat dihasilkan dengan dua cara. Pertama yaitu mencampurkan bahan batuan dengan air kemudian dilakukan pembakaran. Misalnya tanah liat dibakar. Tanah liat dengan kadar air tertentu dibuat berbutir sekitar 5-20 mm, kemudian dibakar. Hasilnya berbentuk bola, ringan, dan berpori. Serapan air sekitar 8-20%. Beton dengan agregat ini berat jenisnya sekitar 1900 kg/m³. Kedua dengan cara penguapan (*steam*) batuan buatan yang dihasilkan seperti batu apung. Batuan *expanded* biasanya mempunyai berat isi sekitar 300-1100 kg/m³, bergantung pada proses pendinginan dan derajat pembentukan partikel serta ukuran dan gradasinya.

6. *Clinker aggregate*

Nama lainnya adalah cinder, merupakan hasil proses pembakaran pada industri dengan temperatur yang sangat panas. Beton yang menggunakan agregat ini cenderung tidak tahan terhadap sulfat dan kehilangan panas yang tinggi. Beton yang dibuat digunakan untuk tujuan umum. Peraturan standar tidak merekomendasikan beton yang menggunakan agregat ini digunakan untuk beton bertulang. Beton yang menggunakan clinker cenderung lebih awet. Jika digunakan sebagai agregat halus atau agregat kasar beton yang dihasilkan akan mempunyai berat isi sekitar 1100-1400 kg/m³. untuk meningkatkan kemudahan pekerjaannya agregat ini sering digabung dengan pasir alam, akan tetapi berat isi betonnya akan meningkat menjadi 1750-1850 kg/m³.

7. Agregat abu terbang (*Sintered Fly-ash Aggregates*)

Merupakan produk akhir dari hasil pengolahan bahan tambang yang mengeras dan membentuk butir-butir seperti kerikil. Beton yang dibuat dari agregat jenis ini akan mempunyai kuat tekan yang cukup baik. Berat isi beton yang menggunakan agregat ini sekitar 1000 kg/m^3 , jika menggunakan friksi agregat halusnnya lebih banyak akan menghasilkan beton dengan berat isi 1200 kg/m^3 .

8. Pecahan Bata atau Genteng

Dibuat dari pecahan bata atau genteng dan masih sering dipakai. Sifatnya sangat bergantung pada bahan dasarnya yakni dari tanah liat, yang menyebabkan variasi dai agregat yang dibentuknya. Pecahan dari bahan ini bersifat sperti pasir, sedikit menaikkan kekuatan mortar, meningkatkan sifat hidrolis dari mortar.

2.5. SEMEN

Semen adalah material yang memiliki sifat adhesi dan kohesi yang dapat menyebabkan melekatnya framen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Secara umum, beton mengandung pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%. Semen yang biasa digunakan untuk membuat beton adalah semen hidrolis mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air, dan dapat menghasilkan ikatan air dan semen yang tidak dapat dilarutkan oleh air.

Salah satu contoh semen hidrolis dan digunakan dalam penelitian ini yaitu semen *portland*, merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, dimana pada umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambah yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Bahan inti pembentuk semen portland adalah kapur (CaO), silika (SiO_3), alumina (Al_2O_3), sedikit magnesia (MgO), dan sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksida besi, sedangkan gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen.

2.5.1. Proses Pembuatan Semen *Portland*

Secara ringkas urutan proses pembuatan semen *portland* [Mulyono, T, 2003][13] adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku yang diperoleh dari tambang (*quarry*) berupa campuran (CaO), (SiO₃), (Al₂O₃), dicampur dan digiling (*blended*) bersama-sama beberapa bahan tambah lainnya.
2. Hasil campuran tersebut dituangkan ke ujung atas *ciln* yang diletakkan agak miring.
3. Selama *ciln* berputar dan dipanaskan, bahan tersebut mengalir dengan lambat dari ujung atas ke ujung bawah *ciln*.
4. Temperatur dalam *ciln* dinaikkan secara perlahan hingga mencapai temperatur klinker (*clincer temperature*) dimana difusi awal terjadi. Temperatur ini dipertahankan sampai campuran membentuk butiran semen portland pada suhu 1400°C (2700°F). Butiran yang dihasilkan disebut klinker (*clincer*) dan memiliki diameter butiran antara 1,5-50mm.
5. Klinker tersebut kemudian didinginkan dalam *clincer storage* dan selanjutnya dihancurkan menjadi butiran halus.
6. Bahan tambah yaitu gipsum (1%-5%) ditambahkan untuk mengontrol waktu ikat semen, yaitu waktu pengerasan semen dilapangan.
7. Hasil yang diperoleh kemudian disimpan dalam *cement silo*, untuk penggunaan yang lebih kecil. Untuk kebutuhan yang lebih besar pendistribusian semen dapat dilakukan menggunakan *capsule truck*.

2.5.2. Sifat dan Karakteristik Semen Portland

2.5.2.1. Sifat Fisika Semen Portland

1. Kehalusan butir (Fineness)

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu ikat semen menjadi lebih lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya bleedin, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan memudahkan terjadinya retak susut.

2. Kepadatan (*density*).

Syarat berat jenis sesuai syarat ASTM adalah 3.15 Mg/m^3 . Berat jenis semen yang ada dipasaran umumnya berkisar antara 3.05 Mg/m^3 sampai dengan 3.25 Mg/m^3 . Variasi ini cukup mempengaruhi proporsi campuran semen.

3. Konsistensi.

Konsistensi semen sangat mempengaruhi pencampuran awal. Yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras, konsistensi sangat bergantung pada faktor air semen.

4. Waktu Ikat.

Adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, sejak semen mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen sampai saat pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen dibagi menjadi:

- a. Waktu ikat awal (*initial setting time*), yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga semen tidak plastis lagi. Waktu yang dibutuhkan berkisar 1.0-2.0 jam
- b. Waktu ikat akhir (*final setting time*), yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga menjadi beton keras. Waktu yang dibutuhkan tidak boleh lebih dari 8.0 jam.

5. Kuat Tekan

Kuat tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Campuran mortar ini dicetak menggunakan cetakan kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$. Selama umur pengujian adukan diarat dengan cara direndam, untuk kemudian diuji kuat tekannya.

6. Panas Hidrasi.

Adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram.

2.5.2.2. Sifat Kimia Semen Portland

1. Sisa yang tidak larut

Adalah sisa bahan yang tidak bereaksi adalah sisa bahan yang tidak aktif yang terdapat pada semen. Semakin sedikit sisa bahan ini, kualitas semen semakin baik.

2. Kekuatan Pasta Semen dan Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton. Faktor air semen adalah berat air per berat semen. FAS yang rendah menyebabkan air yang berada diantara butiran semen menjadi sedikit dan jarak antar butiran semen menjadi pendek. Sebaliknya jika FAS semakin besar, kuat tekan akan menurun.

2.6. AIR

Air adalah material terpenting dari beton. Air campuran akan memberikan jaminan bagi berlangsungnya proses hidrasi semen, yang akan menghasilkan bahan pengikat agregat didalam bentuk suspensi. Fungsi lain dari air adalah sebagai pelumas antara agregat kasar dan halus, sehingga beton akan lebih mudah dikerjakan.

Secara umum, air yang digunakan untuk campuran dan perawatan beton harus bebas dari bahan-bahan yang tidak diinginkan, seperti garam, asam, alkali, alga, gula dan kontaminasi minyak. Berkaitan dengan hal ini, dianjurkan untuk tidak menggunakan air yang mengandung senyawa-senyawa besi atau bahan-bahan organik. Air yang digunakan pada penelitian kali ini berasal dari PT. PAM JAYA yang diasumsikan cukup memenuhi syarat sebagai air yang baik untuk campuran beton

Air yang digunakan untuk campuran beton dapat pula digunakan sebagai air untuk perawatan beton, selama tidak menimbulkan noda atau endapan-endapan pada permukaan beton.

2.7. MORTAR

Mortar atau adukan adalah bahan bangunan yang terbuat dari bahan perekat, agregat halus dan air dengan komposisi tertentu. Sebagai bahan perekat biasanya menggunakan bahan perekat hidrolis. Mortar merupakan bahan yang mengikat agregat kasar sehingga menghasilkan beton yang padat dan kuat. Bahan dasar mortar terdiri dari semen, air dan agregat halus. Mortar agar mudah dikerjakan harus memiliki plastisitas yang tinggi. Mortar dapat plastis jika memiliki *water retentivitas* yang tinggi. Penggunaan mortar biasanya dapat diaplikasikan pada hal

lain selain pasangan bata, seperti pembuatan conblok, genteng beton atau panel-panel, beton untuk dinding dan lantai.

2.7.1. Komposisi Mortar

Pada dasarnya mortar terdiri dari material semen, agregat halus, dan air, bila diperlukan ditambahkan admixture. Setiap unsur dasar mortar memberikan kontribusi yang penting pada performa mortar.

2.7.2. Properti Mortar

Berdasarkan ASTM C 270 *Appendixes*, mortar memiliki memiliki dua bentuk properti yang penting, yaitu mortar plastis dan mortar keras. Properti plastik menentukan kemudahan pelaksanaan pengerjaan mortar, yang nantinya akan mempengaruhi properti mortar keras.

2.7.2.1. Mortar Plastis

1. *Workability*

Workability adalah kombinasi beberapa properti, termasuk diantaranya plastisitas, konsistensi, kohesi dan adhesi. *Workability* ditentukan oleh gradasi agregat, proporsi material dan konsentrasi udara, termasuk juga ditentukan oleh konsentrasi air.

2. *Flow*

Flow awal diukur di laboratorium, menunjukkan penambahan diameter dasar mortar dalam persen yang berbentuk kerucut terpancung. Ketika diletakkan di atas meja percobaan dan meja tersebut diangkat $\frac{1}{2}$ inch, kemudian dijatuhkan sebanyak 25 kali dalam 15 detik. Properti *flow* laboratorium yang lain adalah *flow* setelah penghisapan yang ditentukan dengan pengujian yang sama tetapi sebagian air dari sampel mortar dihilangkan dengan alat *vacuum*. Nilai *flow* dari mortar pada pelaksanaan di lapangan lebih besar dari pada di laboratorium dan konsekuensinya membutuhkan konsentrasi air yang besar. Nilai *flow* awal mortar yang standar yaitu 105% - 115%. Nilai *flow* awal mortar pada pelaksanaan lapangan harusnya memiliki 130% - 150% (50-60 mm penetrasi kerucut, *Test Method*

C780 ASTM), agar menghasilkan mortar yang baik dan mudah dikerjakan. Nilai *flow* awal mortar yang rendah akan menunjukkan pengaruh terhadap kekuatan tekan mortar pada pasangan batu bata.

3. *Water Retentivity*

Water Retentivity adalah rasio dalam persen dari *flow* awal dengan *flow* setelah penghisapan. Pada umumnya mortar membutuhkan water retentivity minimum 75%. *Water Retentivity* merupakan alat ukur kemampuan mortar dalam kondisi penghisapan air, untuk mempertahankan air adukan. *Water Retentivity* akan meningkatkan konsentrasi kapur atau air yang tinggi dengan penambahan gradasi pasir yang halus.

4. Karakteristik Kekakuan

Tingkat kekakuan mortar plastis berhubungan dengan karakteristik setting dari mortar, dapat dilihat dari kemampuannya menahan deformasi. Setting awal yang diukur di laboratorium untuk material semen menunjukkan tingkat hidrasi atau karakteristik setting dari pasta semen murni. Terlalu cepat mortar kaku sebelum digunakan akan berbahaya.

2.7.2.2. Mortar Keras

1. *Bond*

Bond adalah yang paling penting dari mortar keras. *Bond* juga paling sulit untuk diprediksi dan ditetapkan nilainya karena banyak variabel yang mempengaruhi daya ikat mortar, sehingga sulit mencari satu set laboratorium yang dapat digunakan secara konsisten dan dapat mewakili untuk perencanaan di lapangan.

2. *Extensibility dan Plastic Flow*

Extensibility adalah regangan tarik maksimum hingga hancur. Hal tersebut menunjukkan penambahan panjang maksimum yang terjadi akibat gaya tarik. Mortar dengan kekuatan rendah dan modulus elastisitas yang rendah, menunjukkan *plastic flow* yang lebih besar dari mortar dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi pada perbandingan semen dan pasir yang sama. Oleh karena itu, mortar dengan kekuatan lebih tinggi dari yang dibutuhkan tidak baik digunakan.

3. Kuat Tekan

Kuat tekan digunakan sebagai kriteria untuk menentukan tipe mortar yang akan digunakan. Karena kuat tekan lebih mudah ditentukan dan berhubungan dengan beberapa properti lainnya, seperti kuat tarik dan absorpsi mortar. Kuat tekan mortar lebih banyak ditentukan oleh proporsi semen dan rasio semen-air. Cara untuk mengukur kekuatan mortar di laboratorium dengan tes kubus mortar ukuran 2 inch (50,8mm). Sebab referensi test untuk spesifikasi ini relative lebih mudah, memberikan hasil yang bisa digunakan dengan konsisten. Kuat tekan dapat dijadikan sebagai dasar untuk memperkirakan kompatibilitas unsur-unsur mortar. Kuat tekan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi semen dan pengurangan konsentrasi kapur, pasir, udara, dan air

2.8. PROPORSI DAN PERHITUNGAN RANCANG CAMPUR

Proporsi campuran beton ringan dihitung berdasarkan karakteristik dari masing-masing material pembentuknya. Untuk beton ringan proporsi campuran akan dibatasi pada berat isi beton maksimum yang akan dihasilkan., hal lain yang harus diperhatikan adalah faktor *workability*, *bleeding*, dan *finishability*. Tingkat workabilitas akan mempengaruhi berat jenis dan kekuatan beton yang dihasilkan.

Dalam perencanaan campuran beton ringan harus dipenuhi persyaratan sebagai berikut [SNI 03-3449-2002][9]:

1. Pada bagian pekerjaan konstruksi yang berbeda, jika digunakan bahan yang berbeda, maka setiap proporsi campuran yang akan digunakan harus direncanakan secara terpisah.
2. Perhitungan perencanaan campuran beton ringan harus didasarkan pada sifat-sifat bahan yang akan digunakan dalam produksi beton ringan.
3. Susunan campuran beton ringan yang diperoleh dari perencanaan ini harus dibuktikan melalui campuran coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan dan berat isi beton ringan yang disyaratkan.
4. Bahan untuk campuran uji coba harus mewakili bahan yang akan digunakan dalam produksi beton ringan.

Penentuan proporsi campuran beton mula-mula dipilih berdasarkan kombinasi campuran optimum dari bahan-bahan pembentuknya. Kemudian dilakukan penyesuaian dengan melakukan rancang campur uji coba (*trial mix*) di laboratorium dan kembali disesuaikan dengan keadaan di lapangan.

Prinsip dari prosedur perhitungan campuran beton normal, seperti metode *volume absolute* dapat diaplikasikan untuk beberapa jenis agregat, tetapi tidak dapat dipakai untuk jenis agregat lainnya. Metode volume absolut memerlukan penentuan nilai absorpsi dan berat jenis (*specific gravity*) masing – masing agregat dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD), sedangkan untuk agregat ringan tidaklah mudah untuk menentukan keadaan SSD agregat karena daya absorpsi agregat ringan sangat besar dimana kadar air dalam agregat berbeda-beda, sehingga penentuan nilai berat jenis agregat sulit dilakukan. Dengan demikian metode *volume absolute* jarang dipakai untuk menghitung proporsi campuran beton ringan.

2.8.1 Metode Rancang Campur Beton Ringan Standar SNI 03-3449-02

SNI 03-3449-2002 menentukan tata cara perhitungan campuran beton ringan agar dihasilkan beton ringan yang meliputi persyaratan proporsi campuran, rancangan campuran, bahan yang dipergunakan, pemilihan proporsi campuran beton ringan, perhitungan proporsi campuran, koreksi proporsi campuran dan prosedur pembuatan rancangan campuran beton ringan.

Persyaratan proporsi campuran beton ringan harus menghasilkan beton ringan yang memenuhi persyaratan, yaitu: kelecakan (*workability*), berat isi, kekuatan (*strength*), keawetan (*durability*), dan ekonomis. Rancangan campuran beton ringan menurut standar SNI 03-3449-2002 ditentukan berdasarkan hubungan antara:

1. Kuat tekan beton ringan ($f'_{c_{Br}}$) terhadap bobot isi beton yang diharapkan.
2. Bobot isi beton ringan (BI_{Br}) terhadap jumlah fraksi agregat ringan yang digunakan.
3. Kuat hancur agregat (f'_{c_A}) tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan atau mortar (f'_{c_M}).

Agregat ringan yang digunakan untuk pembuatan beton ringan struktural dan beton ringan isolasi harus memenuhi ketentuan menurut SNI 03-2461-1991 tentang spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural serta SNI 03-3984-1995 tentang spesifikasi agregat ringan untuk beton isolasi. Selain itu agregat ringan yang digunakan dalam proporsi campuran beton ringan harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat, jika agregat ringan yang digunakan tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan.

2.10. POLIETILEN DENSITAS TINGGI (HDPE)

Polimer adalah molekul raksasa (*makromolekul*) yang memiliki bobot molekul tinggi dan tersusun dari satuan-satuan kimia sederhana yang disebut *monomer* [Billmeyer Fred W., 1984][6] Sifat-sifat polimer tergantung pada struktur geometri dari polimer itu sendiri diantaranya, polimer dengan rantai kimia linier atau disebut polimer linier dan polimer dengan rantai kimia bercabang atau disebut polimer bercabang, struktur ini juga tergantung pada kondisi reaksi polimerisasi (reaksi pembentukan polimer). Polimer linier memiliki sifat fisik (*makrostruktur*) yang cukup teratur sehingga polimer ini dapat bersifat kristal (mengalami kristalisasi) atau mengeras bila dipanaskan. Polimer linier biasanya berupa *termoplastik*, polimer yang termasuk dalam bahan termoplastik diantaranya Polifinil klorida (PVC), Polipropilen, Polisterin, Polimetilmetakrilat (PMMA), Politetrafloroetilen (PTFE), Polietilentereftalat (PET).

Polimerisasi yaitu proses perubahan molekul besar (*monomers*) dari polimer menjadi molekul yang lebih sederhana atau kecil, atau proses sintesis dari molekul polimer yang besar/berat dengan bantuan katalis, yang berfungsi sebagai pemrakarsa (*initiator*) untuk memulai proses reaksi polimerisasi. Propertis atau karakteristik polimer yang terbentuk dapat dimodifikasi dengan penambahan bahan adiktif [Callister W. D., 1997][7].

Polietilen adalah polimer yang ringan, fleksibel, kuat, merupakan bahan termoplastik yang diproduksi melalui polimerisasi etilen $[-(\text{CH}_2 \text{ CH}_2)-]$ dengan variabel proses seperti energi panas, tekanan, dan katalis. Jenis kopolimernya diproduksi melalui polimerisasi etilen dan sedikit penambahan monomer lain, polietilen itu sendiri merupakan polimer dari tipe *vinyl monomers*. Tidak seperti

senyawa organik monomer umumnya, polyethylene termasuk semi organik (organik unsur) yang rantai utamanya beratom karbon dan rantai sampingnya heteroatom tertaut langsung ke atom karbon rantai, sehingga tidak dihasilkan dari molekul-molekul yang sama, polyethylene dihasilkan dari berat molekul yang tidak sama dengan panjang molekul yang bervariasi.

Pada umumnya komposisi *polimers* yang ada, berdasarkan dari tipe *vinyl monomers*, dengan komposisi yaitu [Young J.F., Mindess S., Bentur A., 1993][26]:



R_1 dan R_2 adalah kelompok bagian yang akan diganti dengan monomer lain. Perkiraan nama dari *polimers* yang terbentuk berdasarkan dari kesatuan monomer utamanya. Beberapa dari nama *polymer* dibawah ini sudah umum kita dengar, karena mereka merepresentasikan bahan yang secara luas telah digunakan, dalam tabel 2.5 diberikan contoh polymer yang umum digunakan.

Tabel 2.5. *Thermoplastic Polymers With Carbon Backbone*

Nama Polymer	KOMPOSISI DARI R_1	KOMPOSISI DARI R_2
<i>Polyethylene</i>	H	H
<i>Polypropylene</i>	H	CH ₃
<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	H	Cl
<i>Polystyrene</i>	H	C ₆ H ₅
<i>Polymethylmethacrylate</i>	CH ₃	COOCH ₃




Sumber: Young J.F., Mindess S., Bentur A., "The Science and Technology of Civil Engineering Material", Prentice Hall, 1993[20].

Ada beberapa *grade* polietilen yang berbeda-beda sifatnya satu sama lain dan variabel yang membedakan sifat polietilen diantaranya:

- Derajat panjang dan pendeknya cabang ikatan.
- Berat molekul rata-rata.
- Distribusi berat molekul.
- Jumlah sisa *comonomer* yang ada.
- Adanya impuritas yang bergabung dengan polimer.

Pada umumnya, polietilen dikarakterisasi berdasarkan densitas dan *melt flow index*-nya, dimana densitas polietilen berkaitan dengan cabang ikatan

panjang atau pendek dan *melt flow index*nya berkaitan dengan berat molekul. Berdasarkan densitasnya, polietilen dibedakan atas 4 macam, yaitu:

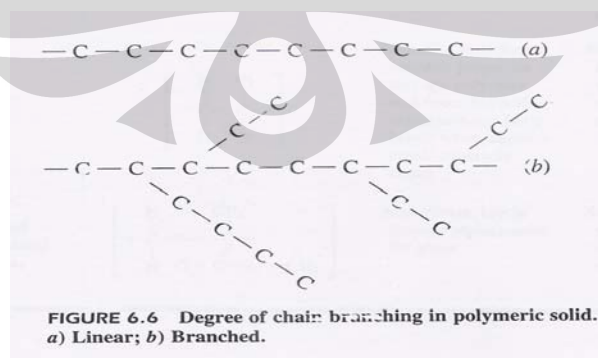
	Structural Model	Species of Branching	Number of SCB
HDPE		SCB	≤ 5
LDPE		SCB, LCB	10-30
L-LDPE		SCB	10-30

SCB : short chain branching
LCB : long chain branching

Gambar 2.2. Struktur HDPE, LDPE, L-LDPE









1. LDPE (polietilen densitas rendah) dengan densitas antara 0.915–0.925g/cm³
2. LLDPE (polietilen linear densitas rendah) dengan densitas antara 0.918–0.935g/cm³
3. MDPE (polietilen densitas sedang) dengan densitas antara 0.927-0.940 g/cm³.
4. HDPE (polietilen densitas tinggi) dengan densitas antara 0.941-0.965g/cm³

Densitas polietilen ditentukan dengan jumlah cabang dari ikatan molekul. Rantai cabang yang pendek (*short chain branching*). Mempunyai sekitar enam atau kurang dari atom carbon melalui kopolimerisasi α -olefin, sedangkan rantai cabang yang panjang (*long chain branching*) dibentuk dari radikal polimerisasi tekanan tinggi. Polietilen linear merupakan polimer dengan komposisi kimia poliometilen (CH₂)_n yang tersusun secara teratur.



Gambar 2.3. Perbandingan Rantai Karbon dari Polimer Padat

HDPE (polietilen densitas tinggi) adalah polietilen struktur linier dengan rantai cabang yang pendek, struktur ini membuat polimer terkristalisasi dengan baik, dan memiliki banyak kelebihan dibanding LDPE (polietilen densitas rendah), meningkatkan kekakuan, kuat tarik, kekerasan, menahan panas dan kimia, *opacity*. HDPE merupakan polietilen termoplastis yang dapat dihasilkan melalui polimerisasi *slurry* dimana HDPE diproses pada temperatur berkisar antara 180 dan 280°C, 58% menggunakan katalis Phillips, 32% menggunakan katalis Ziegler-Natta dengan isobutana sebagai pelarut sehingga lebih dikenal dengan proses *slurry*, selain itu 10% melalui proses fase polimerisasi gas. Untuk mengontrol berat molekul yang berhubungan dengan sifat-sifat fisik polyethylene digunakan hidrogen sedang, komonomer α -olefin dapat digunakan untuk mengatur densitasnya.

Polymer type	Description	Shape and structure of polymer chains	
		Before failure	After failure/extensive deformation
Viscous	Amorphous $T > T_g$		 Chain uncoiling + slippage
Elastomer	Amorphous lightly cross-linked $T > T_g$		 Chain uncoiling
Glassy	Amorphous $T < T_g$		 Crack
Crystalline	$T < T_m$		 Separation of crystalline block

Gambar 2.4. Bentuk dan Struktur Rantai Polimer

Karakteristik komersial polietilen, umumnya diukur melalui *melt flow index (MFI)*. Untuk memproduksi berat molekul dan densitas yang rendah dapat dilakukan dengan menaikkan sejumlah hidrogen dan penambahan komonomer α -olefin. Tetapi dalam prosesnya ada batasan (limit) untuk range dari *melt flow rate (MFR)* dan densitas untuk setiap prosesnya.

Kelebihan HDPE dibandingkan dengan LDPE (polietilen densitas rendah), meningkatkan kekakuan, kuat tarik, kekerasan, menahan panas dan kimia, *opacity*. Dibawah ini diberikan tabel perbandingan karakteristik produk-produk komersial dari *thermoplastic polymers*:

Tabel 2.6. Typical Properties of Commercial Thermoplastic Polymers

TABLE 20-1. Typical properties of commercial thermoplastic polymers*

Property	Polymer	Acetal Resin	Poly(methyl Methacrylate)	Cellulose Acetate	Chlorinated Polyether	66 Nylon	Linear Polyethylene	Branched Polyethylene	Polypropylene
Specific gravity, g/cm ³		1.43	1.17-1.20	1.23-1.34	1.4	1.09-1.14	0.941-0.965	0.910-0.925	0.90-0.91
Refractive index, n _D ²⁵		1.48	1.49	1.46-1.50	...	1.53	1.54	1.51	1.49
Tensile strength, psi		10,000	7000-11,000	1900-8500	6000	7000-11,000	3100-5500	1000-2300	4300-5700
Elongation, %		15-75	3-10	6-70	60-160	90	15-100	90-650	250-700
Tensile modulus, 10 ⁵ psi		4.1	4.5	0.6-4.0	1.6	2.6-4.0	0.8-1.5	0.17-0.35	1.3-2.0
Impact strength, ft-lb/in. of notch		0.4-2.3	0.3-0.5	0.4-5.2	0.4	1.0	1.5-12	>16	0.6-6.0
Heat-distortion temp., °F, 66 psi		338	160-195	110-209	300	300-360	140-180	105-121	210-230
Dielectric constant, 1000 cycles		3.7	3.0-3.5	3.5-7.0	3.0	4.0-4.5	2.30-2.35	2.25-2.35	2.0-2.1
Dielectric loss, 1000 cycles		0.004	0.03-0.05	0.01-0.06	0.01	0.02-0.04	<0.0002	<0.0005	<0.0003
Water absorption, ¼ in. bar, 24 hr, %		0.12	0.3-0.4	1.9-6.5	0.01	0.4-1.5	<0.01	<0.015	<0.01
Burning rate		Slow	Slow	Slow to self-exting.	Self-exting.	Self-exting.	Very slow	Very slow	Slow
Effect of sunlight		Chalks	None	Slight	Slight	Discolors, embrittles	Requires carbon black	Surface crazing	Requires carbon black
Effect of strong acids or bases		Attacked	Attacked	Decomposes	Attacked, acids	Attacked, acids	Resistant	Resistant	Resistant
Effect of organic solvents		Resistant	Soluble	Soluble	Resistant	Resistant	Resistant below 80°C	Soluble above 80°C	Resistant below 80°C
Clarity		Opaque	Transparent	Transparent	Opaque	Opaque	Opaque	Opaque	Opaque

Sumber: Billmeyer Fred W., "Textbook of Polymer Science", John Wiley & Sons, Inc., 1984.

2.9.1. Aplikasi HDPE

Sejak dikembangkannya proses pembuatan HDPE (polietilen densitas tinggi), aplikasinya begitu luas dan cepat mampu menembus pasaran baru. Kekakuan, ketangguhan dan moldabilitasnya dapat digunakan dalam aplikasi yang sangat lebar mulai dari drum-drum besar sampai botol susu dan dari pipa pembuangan sampai pipa lapangan minyak, dsb.

HDPE dengan distribusi berat molekul yang besar (*broad molecular weight distribution*) untuk aplikasi seperti, pipa-pipa bertekanan, menggunakan metode fabrikasi *blow molding* dan *blow film*. Sedangkan HDPE dengan distribusi berat molekul sempit (*narrow molecular weight distribution*) digunakan metode fabrikasi seperti injeksi *molding*, *monofilamen*. Dibawah tabel aplikasi HDPE serta metode fabrikasinya.

Injeksi molding Hampir setengah dari produksi HDPE digunakan pada injeksi molding produk rumah tangga dan mainan.

Blow Molding Sekitar 25% hasil pembuatan HDPE melalui metode ini berupa botol-botol dan beberapa kontainer.

Pipe Produksi kebutuhan utilitas pipa hampir 10% dari produksi HDPE berkembang sangat pesat.

Filament Aplikasi ini digunakan pada produksi HDPE dalam industri tekstil, menghasilkan serat pembuatan kain.

2.10. AGREGAT RINGAN HDPE BOTOL PELUMAS

Penelitian mengenai HDPE botol pelumas telah dilakukan sebelumnya, dari hasil penelitian tersebut dapat diperoleh informasi mengenai agregat ringan buatan hasil daur ulang plastik botol pelumas HDPE. Agregat ringan buatan botol pelumas HDPE adalah agregat ringan yang dibuat secara manual dari hasil daur ulang plastik botol pelumas HDPE. Agregat ringan botol pelumas HDPE mempunyai berat isi kering oven gembur maksimum sebesar 545 kg/m^3 . Berat jenis yang dimiliki agregat ringan botol pelumas HDPE yaitu sebesar 0,954, nilai ini sangat rendah bahkan apabila dibandingkan dengan berat jenis air. Sehingga berat jenis agregat ringan ini tidak memenuhi syarat berat jenis agregat ringan berdasarkan SNI sebesar 1,0 - 1,8. Berat isi dan berat jenis dari agregat ini sangat dipengaruhi oleh karakter asli plastik HDPE itu sendiri. Berat jenis agregat dapat berkurang dengan adanya kandungan udara di dalam agregat ringan tersebut.

Karakteristik geometrik agregat ringan hasil daur ulang limbah botol pelumas HDPE dapat diamati secara langsung, bentuk agregat ringan tidak beraturan, pipih, dan bersudut, dengan warna abu-abu, coklat dan hijau, wana pada agregat dipengaruhi jenis merek botol pelumas yang digunakan. Hal yang sangat menjadi perhatian dari agregat kasar ringan plastik adalah tekstur dari permukaan agregat tersebut yang lebih halus, lebih licin serta mengkilap (*polished*) bila terkena sinar. Hal ini mempengaruhi ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan buatan dan dapat menurunkan mutu beton yang dihasilkan.

Sedangkan sifat mekanik beton ringan yang dihasilkan dari agregat ringan buatan ini, diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari sebesar 9,40 Mpa, nilai ini sangat rendah namun masih termasuk dalam rentang nilai kuat tekan beton ringan non struktural yaitu sebesar 6,89-17,24 Mpa[15].

2.10.1. PEMBUATAN AGREGAT KASAR RINGAN HDPE BOTOL PELUMAS

Agregat ringan hasil daur ulang limbah botol pelumas kendaraan bermotor dari jenis HDPE dibuat dengan cara dipotong-potong menjadi potongan-potongan kecil-kecil untuk memudahkan pada saat proses melelehkan dengan cara dibakar, potongan-potongan plastik tersebut kemudian direndam kedalam wadah yang berisi bahan bakar minyak (BBM) yang berfungsi sebagai katalisator.

Setelah potongan-potongan kecil HDPE tersebut direndam dan telah bersih dari sisa-sisa oli (pelumas) dan kertas pembungkus kemasan maka kemudian ditiriskan agar lamanya proses pembakaran tidak terpengaruh oleh minyak tanah yang tersisa pada potongan-potongan kecil HDPE.

Kemudian potongan-potongan plastik dimasukkan ke dalam wadah berbahan teflon atau wadah yang dilapisi dengan bahan anti lengket. Lalu potongan-potongan plastik tersebut dibakar, lelehan plastik hasil pembakaran potongan-potongan plastik dibiarkan hingga api yang membakar potongan-potongan plastik pada wadah pembakaran mati dengan sendirinya atau dengan menutup wadah agar api mati setelah potongan plastik terlihat telah mencair semua. Setelah itu lelehan didinginkan pada udara terbuka hingga lelehan tersebut mengeras. Hasil lelehan yang telah mengeras kemudian dikeluarkan dari dalam loyang/cetakan yang selanjutnya dipecahkan sehingga didapat pecahan-pecahan dengan ukuran-ukuran yang beragam dan bentuk yang menyerupai agregat[15].

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1.PENDAHULUAN

Dalam penelitian ini akan dipelajari karakteristik agregat kasar ringan buatan yang berasal dari limbah botol plastik HDPE (polietilen densitas tinggi) dari jenis botol shampo. Untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar ringan

buatan tersebut maka dilakukan pemeriksaan terhadap mutu dan syarat dari agregat kasar buatan, dengan berdasarkan pada standard yang telah ditetapkan. Setelah mengetahui karakteristik agregat kasar ringan buatan tersebut maka dilanjutkan dengan membuat rancang campur beton ringan guna mengetahui pengaruh agregat kasar ringan buatan tersebut terhadap sifat-sifat mekanis beton ringan yang dihasilkan, metode rancang campur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, standar nasional Indonesia [SNI 03-3449-2002][10].

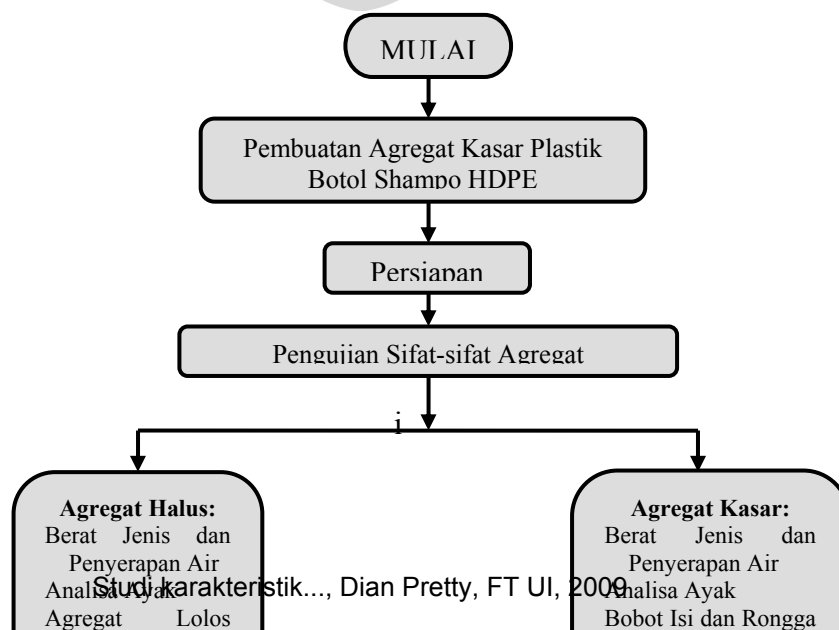
3.2 BAHAN BAKU PENGUJIAN

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini berasal dari:

1. Semen : Type PCC (*Portland Cement Composite*), Tiga Roda
2. Agregat Halus : Pasir alam berasal dari Cimangkok Jawa Barat
3. Agregat Kasar : Agregat kasar ringan buatan berasal dari daur ulang botol plastik shampo HDPE (*Polietilen Densitas Tinggi*)
4. Air : PAM/ sumber air Laboratorium Teknik Sipil FTUI

3.3 TAHAPAN PELAKSANAAN PENGUJIAN

Secara garis besar pengujian beton meliputi 4 (empat) tahapan yaitu dimulai dari tahapan persiapan benda uji, perencanaan campuran (*mix design*), pembuatan benda uji dan pengujian sifat fisis dan sifat mekanis. Tahapan-tahapan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1. *Diagram Alir Penelitian*

3.4. PEMBUATAN BENDA UJI AGREGAT KASAR RINGAN

Limbah botol shampo dari jenis HDPE (polietilen densitas tinggi) dibuat menjadi potongan-potongan kecil-kecil untuk memudahkan pada saat proses melelehkan dengan cara dibakar, potongan-potongan plastik tersebut kemudian diberi percikan minyak tanah yang berfungsi sebagai katalisator, dalam penelitian ini digunakan minyak tanah karena titik bakarnya relatif rendah sehingga panas yang dihasilkan tidak terlalu tinggi.

Kemudian potongan-potongan plastik dimasukkan ke dalam wadah berbahan *teflon* atau wadah yang dilapisi dengan bahan anti lengket. Lalu potongan-potongan plastik tersebut dibakar dengan menutup bagian atas wadah agar tidak terjadi perpindahan panas ke luar sehingga suhu yang diperlukan untuk melelehkan plastik dapat tercapai, setelah proses pembakaran selesai hasil lelehan dipanaskan kembali menggunakan alat pemanas dengan panas yang konstan hal ini dimaksudkan agar suhu pada lelehan plastik tetap terjaga pada saat dilakukan penuangan lelehan plastik ke dalam cetakan, ini dilakukan untuk membuat sempel silinder (15×30)cm. Kemudian cetakan yang telah terisi oleh lelehan plastik didinginkan pada udara terbuka hingga lelehan mengeras.

Sedangkan untuk membuat agregat kasar buatan, lumeran plastik yang meleleh hasil pembakaran potongan-potongan plastik tersebut, dibiarkan hingga api yang membakar potongan-potongan plastik pada wadah pembakaran, mati dengan sendirinya. Selama plastik lumer dan meleleh, lelehan plastik disendokkan lalu dicelupkan ke dalam air, dicelup ke dalam air dengan tujuan lelehan tersebut akan mengeriput, mengeras sendiri dan terbentuk menyerupai agregat.

3.5. PENGUJIAN AGREGAT KASAR RINGAN

Pengujian terhadap agregat kasar ringan buatan berdasarkan pada standar ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur*”. Dimana pada standar ASTM C.330-00 dan SNI 03-2461-1991 terdapat beberapa pengujian-pengujian yang relevan dilakukan terhadap agregat ringan kasar buatan, diantaranya:

- | | |
|-----------------|--|
| ASTM C.29/C 29M | <i>Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates.</i> |
| ASTM C.127 | <i>Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates.</i> |
| ASTM C.131 | <i>Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Agregat by Abrasion and Impact in The Los Angeles Machine.</i> |
| ASTM C.136 | <i>Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.</i> |

- ASTM C.142 *Test Method for Clay Lumps and Friable Particles Aggregates.*
- ASTM C.641 *Test Method for Iron Staining Materials in Lightweight Concrete Aggregates.*

3.5.1. PROSEDUR PERCOBAAN AGREGAT

3.5.1.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh agregat kasar menurut ASTM C.127.

Peralatan yang digunakan:

1. Keranjang kawat ukuran 3.35 mm atau 2.36 mm (No. 6 atau No. 8) dengan kapasitas kira – kira 5 kg.
2. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan.
3. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0.1% dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
4. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
5. Alat pemisah contoh.
6. Saringan No. 4.

Bahan:

Benda uji adalah agregat kasar ringan yang tertahan ayakan 4mm diperoleh dari alat pemisah sebanyak kurang lebih 5 kg untuk 1 kali pengujian.

Proses pengujian:

1. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar 25°C selama 24 jam.
2. Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering), untuk butir yang besar pengeringan harus dilakukan satu persatu.
3. Timbang benda uji dalam keadaan jenuh permukaan kering (BJ).
4. Letakkan benda uji di dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan gelembung udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (BA). Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu kamar 25°C .

5. Masukkan benda uji ke dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
6. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama satu jam samapi tiga jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0.5 gram (BK).
7. Perhitungan :

- Berat Jenis $= \frac{BK}{BJ - BA}$
- Berat Jenis SSD $= \frac{BJ}{BJ - BA}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{BK}{BK - BA}$
- Penyerapan Air $= \frac{BJ - BK}{BK} \times 100\%$

3.5.1.2. Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat dapat dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi padat dan kondisi gembur.

Alat-alat yang digunakan:

1. Timbangan dengan Ketelitian 0.1 gr
2. Talam
3. Tongkat pemadat diameter 15 mm panjang ± 60 cm.
4. Mistar perata
5. Wadah baja

Bahan:

Benda uji adalah agregat kasar ringan yang telah di oven pada suhu $(110 \pm 5^{\circ}\text{C})$ sampai beratnya tetap.

Proses pengujian:

Kondisi padat dapat dilakukan dengan cara tusuk dan cara ketuk.

1. Cara Tusuk
 - Isi penakar $\frac{1}{3}$ dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
 - Tusuk lapisan agregat dengan $25 \times$ tusukan batang penusuk.

- Isi lagi sampai volume menjadi $\frac{2}{3}$ penuh kemudian ratakan dan tusuk sebanyak 25× dengan batang penusuk.
- Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- Tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- Catat beratnya sampai ketelitian 0.05 kg.
- Hitung berat isi agregat : $M = \frac{(G-T)}{V}$

Dimana:

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .

G = Berat agregat dan penakar, kg.

T = Berat penakar, kg.

V = Volume penakar, kg .

- Hitung kadar rongga udara :

$$\text{Rongga Udara} = \frac{[(s \times w) - M]}{(s \times w)} \times 100\%$$

Dimana:

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .

s = Berat jenis agregat dalam kering oven.

w = Kerapatan air 998 kg/m^3 .

2. Cara Ketuk

- Isi penakar $\frac{1}{3}$ dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- Padatkan lapisan dengan cara mengetuk-ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50×.
- Isi lagi sampai volume menjadi $\frac{2}{3}$ penuh kemudian ratakan dan ketukkan kembali sebanyak 50×.
- Isi penakar sampai berlebih dan ketuk lagi.
- Ratakan permukaan agregat dengan batang perata sampai rata.
- Tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- Catat beratnya sampai ketelitian 0.05 kg.
- Hitung berat isi agregat : $M = \frac{(G-T)}{V}$

Dimana:

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .

G = Berat agregat dan penakar, kg.

T = Berat penakar, kg.

V = Volume penakar, kg.

o Hitung kadar rongga udara : Rongga Udara =
$$\frac{[(s \times w) - M]}{(s \times w)} \times 100\%$$

Dimana:

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .

s = Berat jenis agregat dalam kering oven.

w = Kerapatan air 998 kg/m^3 .

Proses pengujian:

Kondisi gembur dapat dilakukan dengan cara sekop atau sendok.

1. Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
2. Ratakan permukaan dengan batang perata.
3. Tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
4. Catat beratnya sampai ketelitian 0.05 kg .
5. Hitung berat isi agregat :
$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Dimana :

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .

G = Berat agregat dan penakar, kg.

T = Berat penakar, kg.

V = Volume penakar, kg.

6. Hitung kadar rongga udara :

$$\text{Rongga Udara} = \frac{[(s \times w) - M]}{(s \times w)} \times 100\%$$

Dimana :

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .

s = Berat jenis agregat dalam kering oven.

w = Kerapatan air. 998 kg/m^3 .

3.5.1.3. Pengujian Analisa Ayakan Agregat Kasar Ringan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat kasar ringan dengan menggunakan saringan.

Alat – alat yang digunakan:

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2 % dari berat benda uji.
2. Satu set saringan :
1” (25.4), ¾” (19.1 mm), ½” (12.7 mm), ⅜” (9.52 mm), No.4 (4.76 mm), No. 8 (2.38 mm), No. 30 (0.59 mm), No. 50 (0.279 mm), No. 100 (0.149 mm), No. 200 (0.074 mm), Standard ASTM.
3. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$.
4. Alat pemisah contoh.
5. Mesin pengguncang saringan.
6. Kuas, sikat kuning, sendok dan alat-alat lainnya.

Bahan:

Benda uji yang digunakan adalah agregat kasar ringan yang telah dioven pada suhu $(110 \pm 5^\circ\text{C})$ sampai beratnya tetap.

Proses pengujian:

10. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digoncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
11. Timbang berat agregat kasar yang terdapat pada masing-masing ayakan.
12. Hitung persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

3.5.1.4. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin abrasi Los Angeles.

Alat-alat yang digunakan:

1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
2. Oven pengering

3. Ayakan standar 14 mm, 10 mm, 2.38 mm
4. Mesin abrasi Los Angeles

Bahan:

Benda uji yang digunakan adalah agregat kasar ringan yang telah dioven pada suhu ($110 \pm 5^\circ \text{C}$) sampai beratnya tetap lalu disaring dan tertahan pada ayakan 9.2 mm

Proses pengujian :

1. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 (tujuh) cara berikut:
 - Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37.5 mm sampai tertahan 9.5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan putaran 500 putaran.
 - Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9.5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
 - Cara C : Gradasi C, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 4.75 mm. Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - Cara D : Gradasi D, bahan lolos 4.75 mm sampai tertahan 2.36 mm. Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
 - Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37.5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37.5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
2. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin Abrasi Los Angeles.
3. Putar mesin dengan kecepatan 30 samapai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gradasi A, B, C, dan D 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G 1000 putaran.
4. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no.12 (1.7 mm); butiran yang tertahan diatasnya dicuci bersih. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu (110 ± 5) $^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
5. Hitung keausan agregat:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Dimana :

a = berat benda uji semula, gram

b = berat benda uji tertahan saringan No.12, gram

3.5.1.5. Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0.075mm)

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh persentase jumlah dalam bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0.075mm), yang dimaksud dengan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0.075mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan No. 200 (0.075mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih.

Alat-alat yang digunakan:

1. Saringan No. 16 (1.18mm); dan No.200 (0.075mm)
2. Oven pengering
3. Wadah pencuci
4. Timbangan dengan ketelitian 0.1gr.
5. Talam untuk mengeringkan sampel.

Bahan:

Benda uji yang digunakan adalah agregat halus sebanyak 200gr.

Proses pengujian:

1. Timbang wadah tanpa benda uji
2. Timbang benda uji dan masukkan ke dalam wadah
3. Masukkan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam
4. Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan yang sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan No. 200 (0.075mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan pencuci sehingga mempermudah dalam pemisahannya.

5. Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan No. 16 (1.18mm) yang di bawahnya dipasang saringan No. 200 (0.075mm) pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
6. Ulangi proses pengujian 3, 4 dan 5, sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih.
7. Kembalikan semua benda uji yang tertahan saringan No. 16 (1.18 mm) dan No. 200 (0.075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum 0.1 % dari berat contoh
8. Hitung persen bahan yang lolos saringan No.200 (0.075 mm):

- o Berat kering benda uji awal

$$w_3 = w_1 - w_2$$

- o Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$w_5 = w_4 - w_2$$

- o Bahan lolos saringan No. 200 (0.075 mm)

$$w_6 = \frac{w_3 - w_5}{w_3} \times 100\%$$

Dimana :

w_1 = berat kering benda uji + wadah (gram)

w_2 = berat wadah (gram)

w_3 = berat kering benda uji awal (gram)

w_4 = berat kering benda uji setelah pencucian + wadah (gram)

w_5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

w_6 = % bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

3.5.6. Pengujian Kotoran Organik Dalam Pasir Untuk Campuran Mortar Dan Beton

Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan angka petunjuk larutan standar atau standar warna yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir.

Alat-alat yang digunakan:

1. Gelas ukur tidak berwarna dengan isi ± 350 ml
2. Standar warna

3. Larutan NaOH 3%

Bahan:

Benda uji adalah agregat halus sebanyak 130ml ($\frac{1}{3}$ botol)

Proses pengujian:

1. Masukkan benda uji ke dalam botol gelas sampai mencapai garis skala 130 ml
2. Tambahkan larutan (3% NaOH + 97% air) dan dikocok sampai volume mencapai 200 ml
3. Tutup botol, kocok kuat – kuat, kemudian diamkan selama 24 jam
4. Warna standar dapat menggunakan larutan standar atau *organic plate* No.3
5. Jika warna larutan benda uji lebih gelap dari warna larutan standar, lebih besar dari No.3, maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak diizinkan untuk bahan campuran beton.

3.6. PENETAPAN PARAMETER CAMPURAN BETON RINGAN

Perhitungan campuran beton ringan dengan menggunakan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik ini mengacu pada standar SNI 03-3449-2002, yaitu “*Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*”. Tata cara ini meliputi persyaratan proporsi campuran, rancangan campuran, bahan yang dipergunakan, pemilihan proporsi campuran beton ringan, perhitungan proporsi campuran beton ringan, koreksi proporsi campuran dan prosedur pembuatan rancangan campuran beton ringan.

Pada proporsi campuran beton harus menghasilkan beton ringan yang memenuhi persyaratan berat isi beton yang dihasilkan, kelecakan (*workability*), kekuatan (*strength*), keawetan (*durability*), dan ekonomis. Sedangkan campuran beton untuk pekerjaan konstruksi atau penggunaan bahan yang berbeda, direncanakan secara terpisah berdasarkan pada sifat bahan yang akan dipakai dalam produksi beton ringan.

Rancangan campuran beton ringan menurut standar SNI 03-3449-2002 ditentukan berdasarkan hubungan antara:

1. Kuat tekan beton ringan ($f'c_{Br}$) terhadap bobot isi beton yang diharapkan.
2. Bobot isi beton ringan (BI_{Br}) terhadap jumlah fraksi agregat ringan yang digunakan.

3. Kuat hancur agregat (f'_{cA}) tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan atau mortar (f'_{cM}).

Bahan yang digunakan dalam produksi beton ringan harus sesuai dengan standar SNI yang berlaku. Pemilihan proporsi campuran beton ringan ditentukan berdasarkan hubungan kuat tekan hancur agregat terhadap berat jenis, berat jenis terhadap jumlah fraksi agregat ringan, dan kuat tekan hancur agregat tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan (mortar). Agregat ringan dipilih menurut tujuan konstruksi yang tertera pada tabel 3.1 berikut;

Tabel 3.1. Batas Kekuatan Konstruksi Beton Ringan

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)	
Struktural			Agregat dibuat melalui proses pemanasan dari suatu serpih, lempung, sabak, terak besi, abu terbang
• Minimum	17.24	1400	
• Maksimum	41.36	1850	
Struktural Ringan			Agregat ringan alam, seperti scoria atau batu apung
• Minimum	6.89	800	
• Maksimum	17.24	1400	
Struktural sangat ringan (isolator)			Perlit atau vermikulit
• Minimum	-	-	
• Maksimum	-	800	

Sumber : SNI 03-3449-2002, Tata Cara Perhitungan Campuran Beton Ringan, 2002

Berdasarkan tabel 3.1, agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik yang digunakan dalam penelitian ini akan dikategorikan ke dalam agregat ringan struktural yaitu agregat yang dapat menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan antara 17.24 – 41.36 MPa dan berat isi antara 1400-1850 kg/m³ dimana agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik dalam penelitian ini akan dicoba untuk menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan (f'_{cBr}) sebesar 20 MPa atau K-225 dan dengan berat isi kering udara pada umur 28 hari berkisar antara 1400 – 1850 kg/m³.

3.6.1. Metode Rancang Campur Beton Ringan Standar SNI 03-3449-2002

Langkah–langkah pembuatan rancangan beton ringan standar SNI 03-3449-2002, adalah sebagai berikut:

1. Tentukan kuat tekan beton yang disyaratkan, f'_{cB} pada umur 28 hari
2. Tentukan deviasi standar (S), data hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus mengikuti ketentuan yang berlaku untuk beton normal menurut SNI 03-3834-2000, tentang “*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*”.
3. Hitung nilai tambah (Marjin),
 $M = k \times S$, dimana;
 k = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada hasil uji yang lebih rendah dari $f'c$. Dalam hal ini diambil 5% dan nilainya $k = 1.64$
4. Hitung kuat tekan beton ringan yang ditargetkan, f'_{cBr}
5. Tentukan berat isi maksimum beton yang disyaratkan
6. Tentukan kuat hancur agregat, f'_{cA} ditentukan pada grafik atau hasil percobaan laboratorium.
7. Hitung jumlah fraksi agregat kasar, n_f dengan mengacu pada data kuat tekan adukan, f'_{cM} dan Berat isi adukan, BI_M ditentukan pada grafik atau hasil percobaan laboratorium.
8. Tentukan kuat tekan adukan dan berat isi adukan yang telah dipilih
9. Tentukan susunan campuran adukan (mortar) dan hasil percobaan laboratorium per m^3 .
10. Tentukan susunan campuran beton ringan dengan proporsi campuran yang sesuai dengan harga fraksi agregat ringan kasar
11. Hitung kadar agregat kasar, semen, air, dan agregat halus yang digunakan.
12. Jumlahkan beratnya dan ini sama dengan berat isi beton ringannya.
13. Koreksi proporsi campuran terhadap kandungan air dalam agregat, dengan catatan koreksi dilakukan apabila pasir tidak dalam keadaan SSD
14. Buat campuran uji, ukur dan catat besarnya slump dan kekuatan tekan yang sesungguhnya seperti pada beton normal dengan memperhatikan hal berikut:
 - o Lakukan penyesuaian berat isi dan kuat tekan dengan mengubah fraksi agregat ringan.

- Jika kuat tekan yang didapatkan terlalu rendah, maka kuat tekan adukan dapat dipertinggi, sementara jumlah fraksi volume agregat dijaga konstan, atau dengan menjaga kuat tekan adukan tetap, sementara jumlah fraksi volume agregat kasar dikurangi.
- Jika penyimpangan terlalu besar, pilih bahan-bahan lain, agregat yang lebih kuat atau jenis semen lainnya.

3.7. PROSEDUR PERCOBAAN MORTAR

3.7.1. Pembuatan Benda Uji Beton Ringan

Pada penelitian ini diperlukan adanya data kuat tekan mortar sebagai keperluan perhitungan rancang campur beton ringan sesuai dengan standar SNI 03-3449-2002. Data kuat tekan dapat diperoleh dengan melakukan pengujian yang disesuaikan dengan metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil standar SK SNI M-111-1990-03. Jumlah benda uji yang dibuat untuk penelitian ini adalah:

Tabel 3.2. *Tabel kebutuhan Benda Uji Kuat Tekan Mortar*

Kode.	FAS	Bentuk Benda Uji	Jumlah spesimen
1 : 3	0,3	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
	0,4	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
	0,5	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
1 : 4	0,3	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
	0,4	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
	0,5	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4

Prosedur pembuatan benda uji mortar mengacu kepada standar ASTM. Prosedur diuraikan menjadi 3 tahap, yaitu:

1. Pengadukan

- Bahan baku disiapkan dan ditimbang sesuai proporsi berat yang telah ditentukan.
- Air dimasukkan seluruhnya ke dalam mesin pengaduk, kemudian diaduk hingga merata.
- Mesin dimatikan, lalu dimasukkan semen dan $\frac{2}{3}$ dari bagian air dan mesin dinyalakan kembali.

- Setelah 30 detik, tanpa mematikan mesin masukkan pasir dan diaduk kembali selama 30 detik..
 - Bersihkan mortar yang menempel pada dinding mangkuk, aduk mesin dengan kecepatan sedang selama 1 menit.
2. Pencetakan Sampel
- Cetakan disiapkan, sebelumnya diberi pelumas pada bagian dinding dalam cetakan.
 - Adukan beton dimasukkan ke cetakan dalam 2 lapisan.
 - Dilakukan pemadatan dengan cara penusukan yang menggunakan tongkat pemadat sebanyak 32× untuk tiap lapisan yang terdiri dari 4 kelling dan masing-masing keliling terdiri dari 8 tumbukan..
 - Tumbukan dilakukan hanya untuk meraakan pengisian mortar didalam cetakan.
 - Kemudian permukaan beton diratakan dan didiamkan pada udara terbuka selam 24 jam hingga mengeras dan hindari adanya hubungan langsung dengan air.
3. Perawatan (*curing*)
- Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji yang sudah dilepaskan dari cetakan ke dalam bak air selama batas umur beton yang ditentukan untuk dilakukan pengetesan, air perendam harus bebas dari bahan kimia yang dapat merusak semen.
 - Untuk memudahkan identifikasi, benda uji diberi kode, tanggal dan disusun secara teratur.
 - Suhu air rata-rata pada bak perendaman berkisar antara 23-17°C.

3.7.2. Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai f'_{c_M} yaitu kuat tekan mortar yang diinginkan. Pelaksanaan pengujian kuat tekan berdasarkan standard ASTM C.109-80, *Standard Test Method for Compressive Strength of Mortar Specimens*.

Alat-alat yang digunakan:

Satu set mesin uji tekan beton (*crushing set*)

Dudukan spesimen ukuran kubus $5 \times 5 \times 5$ cm

Mistar

Bahan:

Benda uji adalah mortar berbentuk kubus $5 \times 5 \times 5$ cm yang telah dirawat selama umur pengujian.

Proses pengujiannya sebagai berikut:

- Benda uji ditimbang beratnya, ukur setiap rusuk-rusuknya dan hitung luas bidang tekannya.
- Benda uji diletakkan pada mesin/alat tekan dan posisinya berada tepat ditengan-tengah lapisan pelat tekan, lalu atur agar permukaan bidang kuus terjepit antara dudukan dan landasan penekan mesin tekan.
- Pembebanan dilakukan secara kontinu sampai benda uji mengalami kehancuran.
- Beban maksimum ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

3.8. PROSEDUR PERCOBAAN BETON

3.8.1. Pembuatan Benda Uji Beton Ringan

Pada penelitian ini akan dibuat campuran beton ringan yang menggunakan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik, dengan proporsi campuran disesuaikan dari rancang campur beton ringan standar SNI 03-3449-2002. Jumlah benda uji yang dibuat untuk penelitian ini adalah:

Tabel 3.3. Jumlah Benda Uji untuk Tiap Jenis Pengetesan

Kode.	Jenis Pengujian	Bentuk Benda Uji	Jumlah spesimen
LC _{CT}	Tes Kuat tekan	Silinder 15×130 cm	12
LC _{ST}	Tes Kuat tarik	Silinder 15×130 cm	12
LC _{ME}	Tes Modulus Elastisitas	Silinder 15×130 cm	4

Prosedur pembuatan benda uji beton ringan mengacu kepada standar ASTM. Prosedur diuraikan menjadi 3 tahap, yaitu:

4. Pengadukan

- Bahan baku disiapkan dan ditimbang sesuai proporsi berat yang telah ditentukan.
- Agregat kasar ringan buatan dan pasir dimasukkan seluruhnya ke dalam mesin pengaduk, kemudian diaduk hingga merata.

- Mesin dimatikan, lalu dimasukkan semen dan $\frac{2}{3}$ dari bagian air dan mesin dinyalakan kembali.
 - Setelah 2 menit mesin dimatikan dan material yang berada di dasar mesin serta yang belum teraduk, diaduk kembali dengan menggunakan sendok semen.
 - Setelah itu mesin dijalankan kembali selama 2 menit sambil sisa air dituangkan sedikit demi sedikit.
5. Pencetakan Sampel
- Cetakan disiapkan, sebelumnya diberi pelumas pada bagian dinding dalam cetakan.
 - Adukan beton dimasukkan ke cetakan dalam 3 lapisan.
 - Dilakukan pemadatan dengan cara penusukan yang menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25× untuk tiap lapisan dan digetarkan.
 - Pada lapisan akhir ditambahkan adukan beton sampai melebihi permukaan agar tidak perlu penambahan kembali setelah beton dipadatkan.
 - Kemudian permukaan beton diratakan dan didiamkan pada udara terbuka selama 24 jam hingga mengeras dan hindari adanya hubungan langsung dengan air.
6. Perawatan (*curing*)
- Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak air selama batas umur beton yang ditentukan untuk dilakukan pengetesan.
 - Untuk memudahkan identifikasi, benda uji diberi kode, tanggal dan disusun secara teratur.
 - Suhu air rata-rata pada bak perendaman berkisar antara 25-27°C.

3.8.2. Pengujian Beton Ringan

Pengujian terhadap beton ringan berdasarkan pada standar ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*” dan SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur*”. Dimana pada standar ASTM C.330-00 dan SNI 03-2461-1991 terdapat beberapa pengujian-pengujian yang relevan dilakukan terhadap beton ringan, diantaranya:

ASTM C.39	<i>Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens</i>
ASTM C.496	<i>Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens</i>
ASTM C.567	<i>Test Method for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete Aggregates</i>
ASTM C.469	<i>Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression</i>
ASTM C.192	<i>Practice for Making and Curing Concrete Specimens in the Laboratory</i>
ASTM C.617	<i>Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens</i>

3.8.3. Pelaksanaan Pengujian Beton Ringan

Pengujian beton ringan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian terhadap beton segar berupa pengujian slump dan berat isi beton ringan segar yang gunanya untuk mengetahui nilai *yield* beton. Dan pengujian terhadap beton yang telah mengeras meliputi kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton ringan.

3.8.3.1. Pengujian Sifat Fisis Beton

3.8.3.1.1. Pengujian *Slump*

Uji ini dimaksudkan untuk mengukur kekentalan adukan beton segar yang dihasilkan pada setiap pengadukan. Kekentalan beton berpengaruh pada kemudahan pengerjaan (*workability*) dari beton. Adukan ini diambil langsung dari mesin pengaduk.

Alat-alat yang digunakan:

1. Cetakan dari logam berupa kerucut terpancung (kerucut *Abrams*)
2. Tongkat pemadat
3. Pelat logam
4. Sendok cekung
5. Mistar ukur

Bahan:

Benda uji adalah beton segar sesuai dengan kapasitas kerucut.

Proses pengujian:

- Sebelum alat-alat yang akan digunakan pada pengujian ini, dibasahi permukaannya untuk menghindari adanya penyerapan air dari campuran beton.
- Kerucut Abrams diletakkan di atas bidang alas yang rata sambil ditekan ke bawah pada penyokongnya.
- Adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut dalam 3 lapis yang sama dan setiap lapis ditusuk-tusuk sebanyak $25\times$ dengan tongkat baja.
- Setelah selesai, permukaan atasnya diratakan dan dibiarkan selama 30 detik.
- Kemudian kerucut ditarik vertikal ke atas dengan hati-hati.
- Segera setelah penurunan kerucut terhadap tinggi semula diukur.
- Hasil pengukuran disebut nilai *slump*.

3.8.3.1.2. Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat isi beton yang dihasilkan pada tahap awal dan mencari nilai *yield* yaitu volume beton segar yang dihasilkan dari total berat bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam *mixer*. Besar nilai *yield* beton adalah perbandingan beton segar yang dihasilkan dengan berat total bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam *mixer*.

Alat-alat yang digunakan:

1. Cetakan berbentuk silinder
2. Timbangan
3. Alat perata
4. Tongkat pemadat
5. Mistar

Bahan:

Benda uji adalah beton segar sesuai dengan kapasitas kerucut.

Proses pengujian :

1. Cetakan yang telah diketahui volumenya (V) ditimbang dan dicatat beratnya (A).

2. Isi cetakan dengan adukan hingga penuh dalam 3 lapisan (sesuai prosedur pencetakan sampel) dipadatkan dengan 25× tusukan pada setiap lapisan, diratakan permukaannya.
3. Permukaan cetakan dibersihkan dari sisa-sisa beton dan ditimbang beratnya (B).
4. Berat beton segar (*fresh unit weight*) dapat dihitung sebagai berikut:
5. Berat beton segar = $\frac{B - A}{V}$

3.8.3.2. Pengujian Sifat Mekanis Beton

3.8.3.2.1. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai f'_c yaitu kuat tekan beton yang diinginkan. Pelaksanaan pengujian kuat tekan berdasarkan standard ASTM C.39, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.

Alat-alat yang digunakan:

1. Satu set mesin uji tekan beton (*crushing set*)
2. Timbangan

Bahan:

Benda uji adalah beton keras ringan berbentuk silinder yang telah dirawat selama umur pengujian.

Proses pengujiannya sebagai berikut:

1. Benda uji ditimbang beratnya, kemudian permukaan diberi lapisan belerang (*capping*) untuk meratakan permukaan benda uji.
2. Benda uji diletakkan pada mesin/alat tekan dan posisinya berada tepat ditengan-tengah lapisan pelat tekan.
3. Pembebanan dilakukan secara kontinu sampai benda uji mengalami kehancuran.
4. Beban maksimum ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

3.8.3.2.2. Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai f_{ct} yaitu kuat tarik dengan cara membelah beton (*splitting testing test*). Pembebanan dilakukan pada benda uji berbentuk silinder yang diletakan mendatar dan sejajar dengan permukaan pelat mendatar. Pelaksanaan pengujian kuat tarik belah ini berdasarkan standar ASTM C.496, *Test Method for Splitting Tensile of Cylindrical Concrete Specimens*.

Alat-alat yang digunakan:

1. Satu set mesin uji tekan beton (*crushing set*)
2. Peralatan uji tarik belah.
3. Timbangan

Bahan:

Benda uji adalah beton keras ringan berbentuk silinder yang telah dirawat selama umur pengujian.

Proses pengujiannya sebagai berikut:

1. Benda uji ditimbang beratnya dan membuat garis tengah pada diameter silinder di setiap permukaan benda uji.
2. Penempatan benda uji pada mesin tekan berdasarkan tanda garis tengah pada kedua permukaan benda uji.
3. Pemberian beban dilakukan secara kontinu hingga benda uji terbelah menjadi 2 bagian dan beban maksimum ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

3.8.3.2.3. Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai Modulus Elastisitas yaitu perbandingan antara tegangan terhadap regangan dan angka perbandingan *Poisson* yaitu perbandingan antara regangan arah lateral terhadap regangan arah aksial. Angka perbandingan *Poisson* untuk beton normal ataupun beton ringan berdasarkan pada pengujian sebelumnya adalah 0.15-0.25 dan nilai rata-rata yang sering digunakan dalam desain adalah 0.20.

Pelaksanaan pengujian modulus elastisitas dan angka perbandingan poisson ini berdasarkan pada standar ASTM C.469, *Test Method Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete Specimens*.

Alat-alat yang digunakan:

1. Satu set mesin uji tekan beton (*crushing set*)
2. Peralatan uji modulus elastisitas terdiri dari alat ekstensometer dan alat kompresometer.
3. Alat *dial gage*
4. Mistar ukur
5. Timbangan

Bahan:

Benda uji adalah beton keras ringan berbentuk silinder yang telah dirawat selama umur pengujian.

Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *dial gage*, yaitu:

1. Benda uji ditimbang beratnya, kemudian permukaan yang kasar diberi belerang (*capping*).
2. Buat 3 garis yang mengelilingi benda uji pada posisi 5 cm dari ujung dan ditengah-tengahnya.
3. Alat kompresometer dan ekstensometer dipasang pada silinder secara horizontal dengan menggunakan ketiga garis yang telah dibuat.
4. Kemudian benda uji diletakkan pada mesin tekan dengan hati-hati agar alat uji yang telah terpasang tidak bergeser.
5. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan tiap kenaikan 1 ton, deformasi yang terjadi dicatat. Pembebanan dilakukan sampai beban 40% dari kuat tekan benda uji. Kemudian diturunkan dengan selisih yang sama dan deformasi yang terjadi dicatat.
6. Pembebanan diulangi lagi sampai 3 siklus.

Setelah 3 siklus, pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan deformasi yang terjadi dicatat.

3.8.3.2.4. Pengujian Non Destruktif Dengan Alat Pundit

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur nilai Modulus Elastisitas menggunakan alat pundit, yang bekerja berdasarkan rambatan gelombang. Nilai yang didapat berupa besaran kecepatan rambat gelombang (v) yang dinyatakan dalam m/s.

Alat-alat yang digunakan:

1. Satu set alat pundit.
2. *Grease* atau gemuk sesuai spesifikasi alat pundit.
3. Mistar ukur.

Bahan:

Benda uji adalah beton keras ringan berbentuk silinder yang telah dirawat selama umur pengujian.

Pelaksanaan pengujian:

1. Benda uji ditimbang beratnya, kemudian permukaan yang kasar diberi belerang (*capping*).
2. Alat pundit dikalibrasi. Yaitu dengan meletakkan transmitter pada ujung salah satu batang *standard* dan *receiver* pada ujung batang lainnya. Sebelumnya bagian *transmitter* dan *receiver* yang akan bersentuhan dengan batang standar dilapisi gemuk.
3. Setel alat pundit, dengan cara memutar tombol sehingga menunjukkan angka yang terbaca pada alat, sama dengan yang tertera pada batang standar. Jika sudah sama alat siap untuk digunakan.
4. Tentukan letak titik yang akan diuji pada benda uji. Lapisi permukaan beton yang akan bersentuhan dengan *transmitter* dan *receiver* dengan gemuk.
5. Ukur jarak rencana penempatan *transmitter* dan *receiver*, usahakan lebih dari 15 cm.
6. Nyalakan alat pundit, dengan memutar tombol pada posisi ON. Baca besaran waktu tempuh T yang tertera pada alat.

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 shampo HDPE (polietilen densitas tinggi), agregat halus dan pengujian terhadap campuran beton ringan yang menggunakan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik shampo HDPE.

Pengujian yang dilakukan terhadap campuran beton ringan meliputi pengujian terhadap beton segar dan beton yang telah mengeras pada umur 7 hari, 14 hari serta 28 hari. Hasil pengujian agregat kasar yang didapat akan dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan terdahulu terhadap limbah botol plastik (HDPE) oleh Mochamad Agus Haryana[15] dan dijabarkan dalam bentuk uraian, tabel dan grafik.

4.1. KARAKTERISTIK GEOMETRIK AGREGAT BUATAN

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

Tabel 4.1 *Karakteristik Geometik Agregat Kasar Ringan Plastik*

Karakteristik Agregat	HDPE Botol Shampo	HDPE Botol Pelumas*
Bentuk	Bulat, tidak beraturan	Tidak beraturan, pipih, dan bersudut

Tekstur Permukaan	Kasar, mengkilap	Licin (halus) dan mengkilap
Ukuran maksimum agregat	25 mm	25 mm
Warna	Abu-abu	Abu-abu, coklat dan hijau
Tebal maksimum agregat	30 mm	30 mm
Titik leleh	720°	-

*Sumber : Mochamad Agus Haryana, 2008[15]

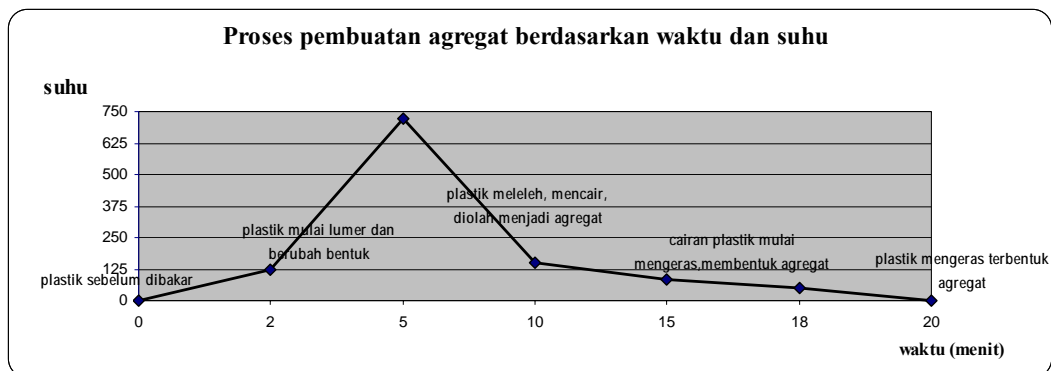
Dari tabel 4.1 dapat terlihat bahwa agregat kasar ringan buatan dari limbah plastik HDPE botol shampo mempunyai karakteristik fisik yang berbeda dengan HDPE botol pelumas.

Perbedaan yang terlihat adalah warna agregat kasar ringan plastik. Untuk agregat HDPE botol pelumas memiliki warna abu-abu coklat dan hijau sedangkan HDPE botol shampo berwarna abu-abu, warna yang dihasilkan setiap agregat HDPE tergantung dari warna asal dari botol plastiknya.

Sedangkan hal yang sangat menjadi perhatian dari agregat kasar ringan plastik adalah tekstur dari permukaan agregat tersebut, dimana pada tipe HDPE botol sampo mempunyai tekstur yang lebih kasar, serta mengkilap (*polished*) bila terkena sinar, tekstur ini dihasilkan karena lelehan bahan HDPE yang dibakar langsung dicelupkan kedalam air, sehingga permukaannya langsung mengeriput dan bertekstur kasar.

Dengan tekstur seperti ini diharapkan dapat mempengaruhi ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan buatan dan dapat mencapai kualitas beton yang diharapkan. Sebab tekstur permukaan agregat merupakan hal yang penting untuk diperhatikan dan mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan.

Grafik proses pembuatan agregat kasar ringan HDPE botol shampo dapat dilihat pada grafik 4.1, dimana



Gambar 4.1. Grafik Proses Pembuatan Agregat Berdasarkan Waktu dan Suhu

Pada grafik terlihat proses pembuatan berdasarkan suhu, perubahan agregat, dan waktu pembuatan. Dalam 1 kali proses pembakaran dari 1000 gram botol plastik shampo HDPE dapat dihasilkan \pm 750 gram agregat kasar ringan, dengan membutuhkan waktu selama 20-30 menit, dengan suhu maksimal 750 °C.

4.2. HASIL DAN ANALISA 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 4.2. Perbandingan Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE botol shampo Dengan HDPE botol pelumas

Pengujian	HDPE Botol shampo	HDPE Botol Pelumas*	Selisih (%)
<i>Apparent Spesific Gravity</i>	0,949	0,952	0,315
<i>Bulk Spesific Gravity</i>	0,950	0,954	0,419
Absorpsi (%)			
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-1	1,681	0,817	51,398
Berat Isi Kering (kg/m ³)			
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-2	493	545	9,541

*Sumber : Mochamad Agus Haryana, 2008 [15]

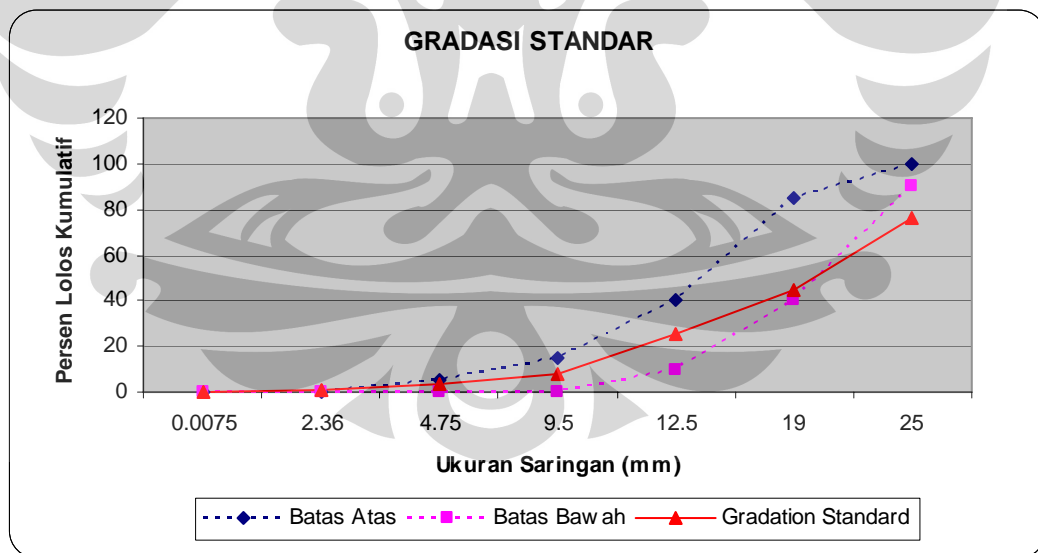
Dari tabel 4.2 terlihat perbedaan dari hasil pengujian HDPE botol shampo dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan terdahulu terhadap HDPE botol pelumas. Namun dapat disimpulkan berdasarkan standar mutu dan syarat pengujian ASTM C 330-, “*Standard Spesification for Lightweight for Structural Concrete*”, 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 (*specific gravity*) yang dihasilkan oleh agregat ringan HDPE tidak memenuhi persyaratan sebagai agregat ringan untuk beton ringan struktural.

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 0.950, (tidak memenuhi syarat).
- ♦ Penyerapan air maksimum 20%; dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik di dapat penyerapan air (*absorption*) sebesar 1.681 %.
- ♦ Berat isi maksimum kering 900 kg/m³; dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik di dapat berat isi kering sebesar 493 kg/m³.

Data hasil analisa ayakan agregat kasar ringan yang disajikan dalam bentuk grafik 4.2. berikut,



Gambar 4.2. Grafik Analisa Ayakan Agregat Kasar Ringan Botol Plastik shampoo HDPE

Berdasarkan grafik 4.2 terlihat bahwa gradasi agregat kasar ringan buatan masih memenuhi persyaratan susunan besar butir agregat ringan untuk beton ringan struktural, namun pada pengujian kali ini agregat yang lolos pada ukuran

ayakan 25mm dan ayakan ukuran 9.5mm masih kurang dari standard, namun hal ini bukan hal mendasar sebab pengambilan sampel uji dilakukan secara acak.

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 4.3. Hasil Pengujian Pada Agregat Halus

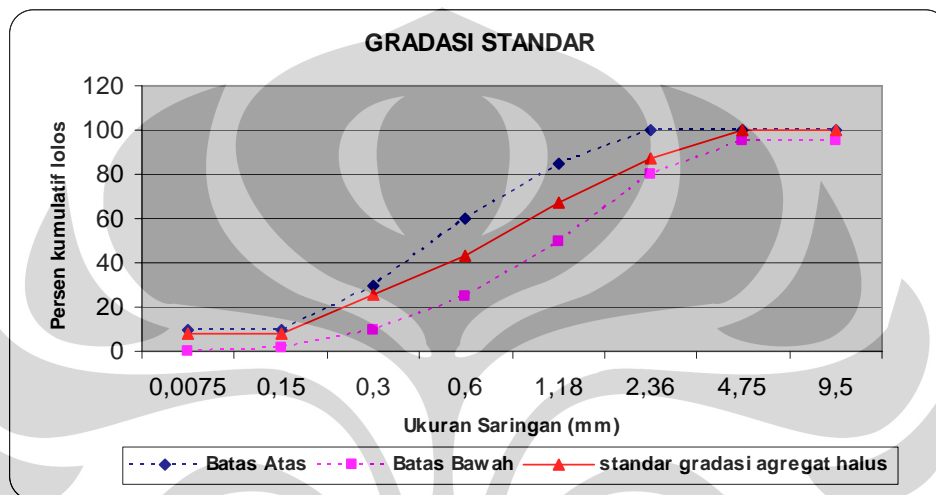
Pengujian	Hasil
Apparent Spesific Gravity	2,693
Bulk Spesific Gravity (SSD)	2,482
Bulk Spesific Gravity	2,373
Absorpsi (%)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-1	4,603
Fine Modulus (FM)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-2	2,689
Berat Isi Kering (kg/m ³)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran C-3	1,416
Kadar Material Lolos Saringan No.200 (%) C-4	2,1
Kadar Organik (Sesuai Nomor Warna) C-5	No. 2

Dari tabel 4.3 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

- ♦ Berat isi yang dihasilkan sebesar 1416 kg/m³, memenuhi batas syarat yaitu lebih dari 1200 kg/m³.
- ♦ Kadar material lolos saringan No.200 atau kadar lumpurnya sebesar 2.1 %, 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 lebih terang jika dibandingkan dengan warna standar yaitu No.3; dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat warna yang lebih terang bila disesuaikan dengan nomor warna tergolong No.2.

Data hasil analisa ayakan agregat halus yang disajikan dalam bentuk grafik 4.3. berikut,



Gambar 4.3. Grafik Analisa Ayakan Agregat Halus

Berdasarkan grafik 4.3 terlihat bahwa gradasi agregat halus masih memenuhi persyaratan susunan besar butir agregat halus untuk beton ringan struktural, dimana agregat tidak boleh mengandung bagian yang lulus pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan terahan pada ayakan berikutnya. Nilai *fine modulus* yang dihasilkan 2.689% memenuhi batas syaratnya yaitu 1.5 sampai 3.8%. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B – 2.

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 silinder agregat plastik dengan ukuran (15×30) cm dengan jumlah sampel sebanyak 1 buah, sampel dan agregat ringan dibuat menggunakan botol shampo tipe HDPE berwarna putih.

Hasil pengujian kuat tekan hancur agregat untuk silinder plastik disajikan dalam bentuk tabel, berikut ini data tes tekan silinder (15×30) cm:

Tabel 4.4. *Data Kuat Tekan Silinder Plastik (15×30) cm*

Berat (kg)	Luas Permukaan (cm ²)	Tegangan (kg)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
4198	176,71	2780	15,73

Hasil yang didapatkan dipengaruhi oleh sampel yang dihasilkan kurang baik. Hal ini dikarenakan banyaknya retak pada sampel yang diakibatkan oleh susut (*shrinkage*) yang ekstrim terjadi pada saat sampel mengering. Bahkan sampel mengalami pecah terlebih dahulu sebelum pengujian, oleh sebab itu data tidak dapat digunakan sehingga digunakan 15% dari kuat tekan silinder HDPE dengan campuran serat *alloy*.

Tabel 4.5. *Data Kuat Tekan Silinder Plastik + Serat Alloy (15×30) cm*

Berat (kg)	Luas Permukaan (cm ²)	Tegangan (kg)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
4198	176,71	14875,94	84,18

Adapun proses pembuatan silinder plastik 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 silinder (15×30) cm. Setelah itu dilakukan pengeringan selama ± 24 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 tetap di letakkan dalam cetakan dengan maksud menghindari perbedaan suhu yang ekstrim.

Kondisi yang terjadi setelah pengeringan ± 6-12 jam, mulai timbul retak-retak pada setiap permukaan sampel, keretakan mencapai 0.05 mm, dalam hal ini yang terlihat masih sebatas retak rambut. Namun sampel dapat mengalami retak yang lebih besar mencapai 0.1 mm apabila didiamkan terlalu lama yang lebih ekstrim sampel mengalami pecah sebelum di uji.

Timbulnya retak diakibatkan oleh proses pengeringan yang tidak merata pada 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 sehingga pembuatan sampel dilakukan berulang-ulang agar mendapat sampel yang cukup baik untuk diuji.

4.2.4. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Menggunakan Alat PUNDIT

Dari pengukuran nilai modulus elastisitas menggunakan alat pundit, didapat output berupa nilai *transit time* (μs), untuk kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{L}{t} = \frac{0,000287}{0,000268} = 1,071 (km/s)$$

dimana :

v = nilai cepat rambat (km/s)

L = panjang benda uji (km)

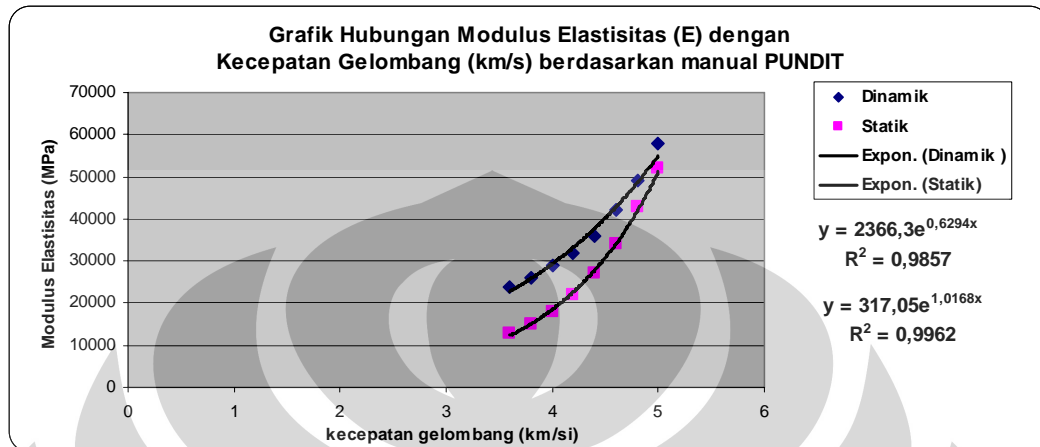
t = transit time (s)

Dilakukan pendekatan menggunakan persamaan atas dua variabel yaitu nilai modulus (E) dan nilai cepat rambat (v) untuk benda uji beton yang diperoleh melalui literatur. Nilai-nilai tersebut adalah:

Tabel 4.6. Hubungan antara v dan E

v (km/s)	E (Mpa)	
	Dinamik	Statik
0	0	0
3600	24000	13000
3800	26000	15000
4000	29000	18000
4200	32000	22000
4400	36000	27000
4600	42000	34000
4800	49000	43000
5000	58000	52000

Dari nilai modulus Elastisitas dinamik dan statik beserta nilai kecepatan (km/s) dibuat suatu regresi menggunakan pendekatan persamaan grafik eksponensial seperti pada gambar:



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas (E) dengan Kecepatan Gelombang (km/s)

Pengolahan data dimulai dengan menentukan nilai Modulus Elastisitas sampel menggunakan persamaan eksponensial dinamik seperti pada grafik yaitu: $y = 2366,3e^{0,6294x}$. Sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas HDPE botol plastik shampo yaitu $ME = 2366,3e^{(0,6294 \times 1,071)} = 188,113 MPa$

4.2.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Dalam perhitungan rancang campur beton ringan berdasarkan standar rancang campur beton ringan SNI 03-3449-2002 dibutuhkan data kuat tekan mortar, perhitungan kuat tekan mortar dilakukan dengan rumus:

$$f'c_M = \frac{P}{A} (N/mm^2)$$

dimana :

P = beban uji maksimum (N)

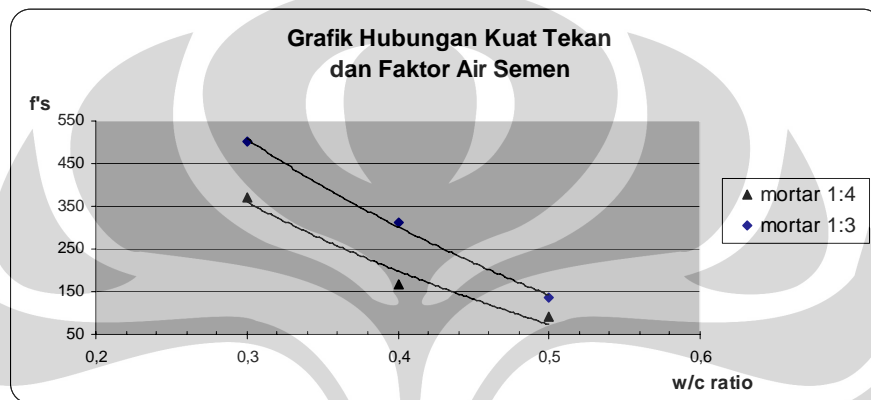
A = luas penampang benda uji (mm²)

data hasil pengujian kuat tekan mortar berumur 28 hari disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 4.7. Data Kuat Tekan Rata-rata Mortar

Rasio mortar	1:3			1:4		
Fas	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
Kuat Tekan Rata-Rata umur 28 hari (N/mm ²)	503.33	311.43	136.67	372.38	168.10	90.48

Hasil kuat tekan mortar yang diperoleh dapat digunakan pada perhitungan nilai fraksi agregat, pada rasio mortar 1:4 dengan fas 0,4. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D - 1. Sedangkan hubungan kuat tekan mortar dengan fas disajikan dalam bentuk grafik 4.4 sebagai berikut:



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Faktor Air Semen

Grafik 4.5 memperlihatkan semakin besar nilai faktor air semen, maka kuat tekan mortar semakin rendah dengan rentang FAS 0.3-0.4. Hal ini disebabkan semakin banyak air, pori-pori pada adukan bertambah banyak sehingga mortar lebih berpori dan kekuatannya menurun. Namun rendahnya nilai faktor air semen juga dapat mempengaruhi pada saat pengerjaan adukan, terutama pada saat proses pemadatan adukan yang mengakibatkan kualitas mortar ataupun beton dapat menurun.



Gambar 4.6. Benda uji, uji kuat tekan, pola retak mortar

4.3. HASIL PERHITUNGAN RANCANG CAMPUR BETON RINGAN

Berdasarkan data-data pengujian agregat kasar dan halus, dan mengacu dengan standar rancang campur beton ringan SNI 03-3449-2002

- Dari pengujian terhadap agregat kasar ringan di laboratorium, di dapat kuat tekan hancur agregat (f'_{c_A}) = 84.175 kg/cm².
- Dari pengujian terhadap adukan mortar di laboratorium, di dapat kuat tekan adukan mortar (f'_{c_M}) = 168.095 kg/cm².
- Kuat tekan beton ringan yang direncanakan ($f'_{c_{Br}}$) = 120 kg/cm²
- Nilai fas sebesar 0,4
- Perbandingan semen dan pasir 1:4
- Syarat Jumlah Fraksi Agregat Kasar Ringan, n_f : $0,35 \leq n_f \leq 0,50$

Maka didapat nilai n_f :

$$n_f = \frac{\log(f'_{c_{Br}} / f'_{c_M})}{\log(f'_{c_A} / f'_{c_M})}$$

$$n_f = \frac{\log(120/168,095)}{\log(84,176/168,095)}$$

$$n_f = 0,48 \text{ (memenuhi syarat } 0,35 \leq n_f \leq 0,5)$$

Nilai n_f digunakan sebagai faktor pengali susunan campuran beton, setelah disesuaikan dengan perbandingan campuran mortar yang diperoleh yaitu 1 : 4 dan fas sebesar 0,4. selanjutnya dihitung koreksi susunan campuran terhadap kadar air agregat kasar ringan, sehingga didapat proporsi kebutuhan bahan sesuai dengan volume pekerjaan yaitu 25 benda uji dengan bentuk silinder ukuran (15 × 30)cm, tersaji dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.8. *Data Kebutuhan Campuran Beton Ringan*

Bahan	Susunan Campuran (kg)	Volume Pekerjaan (m ³)	Kebutuhan bahan(kg/m ³)
Semen	212	0,1325	28
Air Pencampur	87	0,1325	12
Pasir	844	0,1325	112
Agregat ringan kasar	457	0,1325	61

4.4. HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN BETON RINGAN

Pengujian beton ringan untuk beton segar yang dilakukan meliputi *slump* dan berat isi 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 dari beton ringan beragregat kasar ringan plastik.

4.4.1. Hasil Pengujian Slump

Besarnya nilai *slump* dari hasil percobaan terhadap campuran beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah plastik (HDPE) yaitu berkisar antara 0-2 cm. Menurut Neville, A.M[19], yang diambil dari (*in a modified form of Bartos` proposals*) memberikan kategori *low* (rendah) untuk nilai slump 15-30 mm.

Untuk menghasilkan nilai slump yang baik maka perlu dikoreksi proporsi campuran, jika agregat halus dalam keadaan jenuh kering permukaan (ssd), proporsi campuran tidak perlu dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat halus tersebut.

4.4.2. Hasil Pengujian Berat Isi Segar Beton Ringan

Berat isi segar beton ringan menggunakan agregat kasar ringan plastik yang dihasilkan adalah (1620 – 1630) kg/m³. Berat isi beton ringan ini relatif besar karena menggunakan pasir normal dalam campurannya dimana berat isi pasir adalah 1416 kg/m³, dan koreksi air terhadap proporsi campuran beton, hasil pengujian tertera pada tabel 4.4.1 berikut:

Tabel 4.9. Nilai Berat Isi Beton Ringan Segar

No	Berat Beton Segar+Wadah (kg)	Berat Wadah (kg)	Berat Beton Segar (kg)	Volume Wadah (m ³)	Berat Isi Beton Segar (kg/m ³)
1	19,932	5,089	14,843	0,009123	1627
2	19,956	5,089	14,867	0,009123	1630

3	19,947	5,089	14,858	0,009123	1629
Rata-Rata Berat Isi Beton Segar					1628,67
Koreksi terhadap berat isi rencana					14,04 %

Dari data diatas terlihat bahwa berat isi beton segar yang dihasilkan lebih besar dari berat isi beton yang direncanakan pada saat *mix design* yaitu sebesar 1400 (kg/m³), namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Perbedaan berat isi beton segar yang dihasilkan dengan total berat material yang dicampurkan dalam adukan beton dapat disebabkan karena koreksi terhadap kandungan air dalam agregat yang seharusnya tidak dilakukan apabila pasir dalam keadaan jenuh kering permukaan, pemadatan yang kurang baik pada saat memasukkan campuran beton kedalam cetakan, penguapan air (evaporasi) campuran karena panas yang ditimbulkan pada saat proses hidrasi dari pasta semen.

4.4.3. 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 5 buah Dimana benda uji telah mengalami curing selama 27 hari dan selanjutnya dikeringkan selama 1 hari lalu di *capping*, kemudian baru dilakukan pengujian, hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.10. Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Silinder

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
1	8,450	15	30	0,00530	1555
2	8,420	15	30	0,00530	1577
3	8,220	15	30	0,00530	1665
4	8,415	15	30	0,00530	1565
5	8,420	15	30	0,00530	1751
Rata-Rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1623
Koreksi terhadap berat isi rencana					13,74 %

Berat isi kering beton ringan yang dihasilkan memperlihatkan bahwa berat isi kering udara beton yang dihasilkan lebih besar dari berat isi perencanaan sebesar 1400 kg/m^3 dengan koreksi sebesar 13,74% namun termasuk dalam kategori berat beton ringan struktural yang disyaratkan SNI 03-3449-2002, yaitu beton yang mempunyai berat isi kering udara antara $1400 - 1850 \text{ kg/m}^3$.

4.4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan

Pengujian kuat tarik pada beton ringan Agregat Kasar Ringan Plastik berbentuk silinder ukuran (15×30) cm dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, setelah dilakukan curing selama umur beton.

Perhitungan

$$f_c = \frac{P}{A} (\text{kg/cm}^2)$$

dimana :

P = beban uji maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm^2)

Tabel 4.11. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Umur 7 Hari

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm^2)	Kuat Tekan Beton (kg/cm^2)
7	8384	13000	176,716	73,565
7	8281	15000	176,716	84,883
7	8932	15000	176,716	84,883
7	9032	14000	176,716	79,224
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 7 hari				80,639
Standar Deviasi				0.171

Tabel 4.12. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Umur 14 Hari

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm^2)	Kuat Tekan Beton (kg/cm^2)
14	9119	16250	176,716	91,956
14	8100	16000	176,716	90,541
14	8042	16250	176,716	91,956
14	8296	15500	176,716	87,712
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 14 hari				90,541
Standar Deviasi				0.062

Tabel 4.13. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Umur 28 Hari

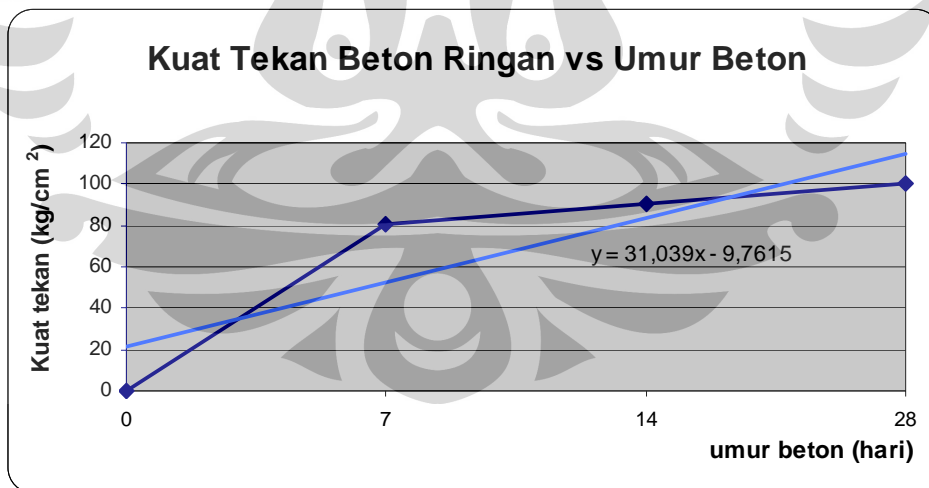
Umur (hari)	Berat (g)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm^2)	Kuat Tekan Beton (kg/cm^2)
-------------	-----------	------------	----------------------------------	---------------------------------------

28	8450	17500	176,716	99,030
28	8420	17000	176,716	96,200
28	8220	16500	176,716	93,371
28	8415	20000	176,716	113,177
28	8420	17500	176,716	99,030
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari				100,162
Standar Deviasi				0.279

Dari data diatas didapat bahwa kuat tekan beton ringan dengan agregat kasar ringan botol shampo HDPE hanya dapat mencapai rata-rata 10,16 MPa.

Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui proses pemadatan juga sangat berpengaruh, sebab proporsi air dalam beton ringan tidak terlalu banyak sehingga dengan proses pemadatan yang kurang baik mengakibatkan hasil beton yang keropos dan memiliki kuat tekan yang rendah, karena susunan agregat dalam beton yang kurang baik kerapatannya. Dapat diketahui pula bahwa beton beragregat kasar ringan botol shampo HDPE dengan kuat tekan yang mencapai 10 MPa belum dapat mencapai kuat tekan beton yang diharapkan yaitu sebesar 12 MPa.

Pola penambahan kuat tekan beton ringan berdasarkan pada umur beton dapat dilihat pada grafik 4.5, dimana pada grafik tersebut terlihat perbedaan kuat tekan yang dihasilkan dari setiap umur beton.



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs Umur Beton

Dari grafik diatas terlihat bahwa kuat tekan beton ringan meningkat secara linier sejak umur 7 hari sampai dengan umur 28 hari. Kenaikan nilai kuat tekan

dari umur 7 sampai 28 hari sebesar 19,49%. Namun kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari yang diperoleh belum mencapai kuat tekan yang direncanakan.



Gambar 4.8. Hasil uji kuat tekan dan pola retak beton ringan silinder (15×30)cm

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pola retak yang dihasilkan dari pengujian kuat tekan beton ringan serupa dengan pola retak tipe III (*Columnar vertical mcracking through both ends, no well formed cones*) pada standar ASTM C 39/C 39M-04A[4].

4.4.5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan

Pengujian kuat tekan pada beton ringan Agregat Kasar Ringan Plastik berbentuk silinder ukuran 15×30cm dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, setelah dilakukan curing selama umur beton.

Perhitungan

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi Ld} \text{ (MPa)}$$

dimana :

P = beban uji maksimum (N)

L = panjang benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)

Tabel 4.14. Nilai Kuat Tarik Belah Rata-Rata Beton Ringan Umur 7 Hari

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (N)	Panjang (mm ²)	Diameter (mm ²)	Kuat Tarik Beton (N/mm ² = MPa)
7	8242	60000	300	150	0,849
7	8359	75000	300	150	1,061

7	8081	70000	300	150	0,990
7	8296	70000	300	150	0,990
Rata – Rata Kuat Tarik Beton Umur 7 Hari					0,873
Standar Deviasi					0,028

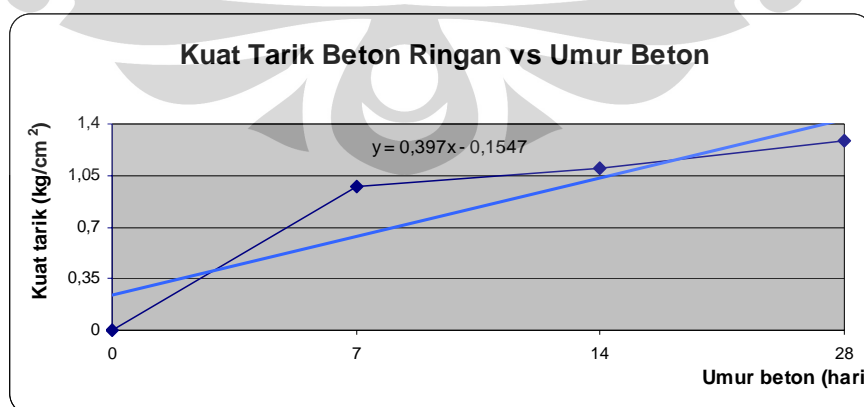
Tabel 4.15. Nilai Kuat Tarik Belah Rata-Rata Beton Ringan Umur 14 Hari

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (N)	Panjang (mm ²)	Diameter (mm ²)	Kuat Tarik Beton (N/mm ² = MPa)
14	8034	80000	300	150	1,132
14	8032	80000	300	150	1,132
14	8907	75000	300	150	1,061
14	8018	75000	300	150	1,061
Rata – Rata Kuat Tarik Beton Umur 14 Hari					1,096
Standar Deviasi					0,013

Tabel 4.16. Nilai Kuat Tarik Belah Rata-Rata Beton Ringan Umur 28 Hari

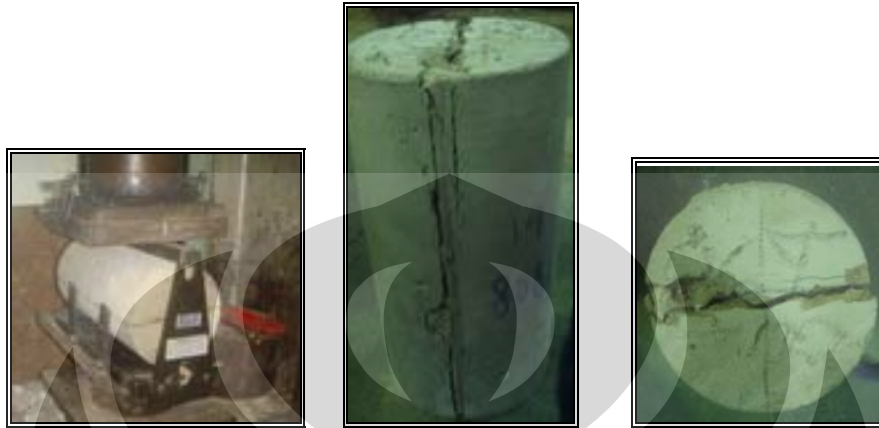
Umur (hari)	Berat (g)	Beban (N)	Panjang (mm ²)	Diameter (mm ²)	Kuat Tarik Beton (N/mm ² = MPa)
28	8194	90000	300	150	1,273
28	8335	97500	300	150	1,379
28	8263	90000	300	150	1,273
28	8024	85000	300	150	1,203
Rata – Rata Kuat Tarik Beton Umur 28 Hari					1,282
Standar Deviasi					0,023

Pola penambahan kuat tarik beton ringan berdasarkan pada umur beton dapat dilihat pada grafik 4.6,



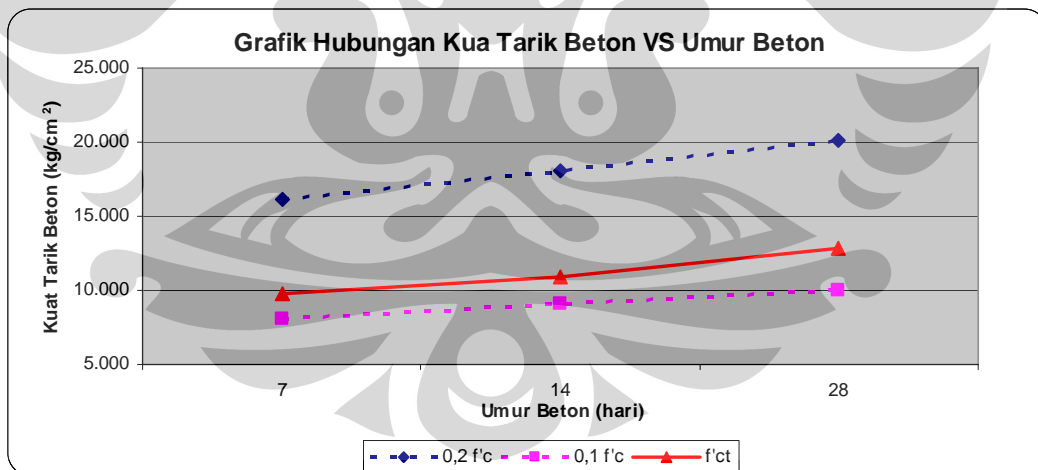
Gambar 4.9. Grafik Hubungan Kuat Tarik Beton Ringan vs Umur Beton

Pada grafik tersebut terlihat perbedaan kuat tarik belah yang dihasilkan dari setiap umur beton, kuat tarik beton ringan meningkat secara linier sejak umur 7 hari sampai dengan umur 28 hari. Peningkatan kuat tarik dari umur 7 hari sampai 28 hari sebesar 21,12%



Gambar 4.10. Hasil uji kuat tarik dan pola retak beton ringan silinder (15×30)cm

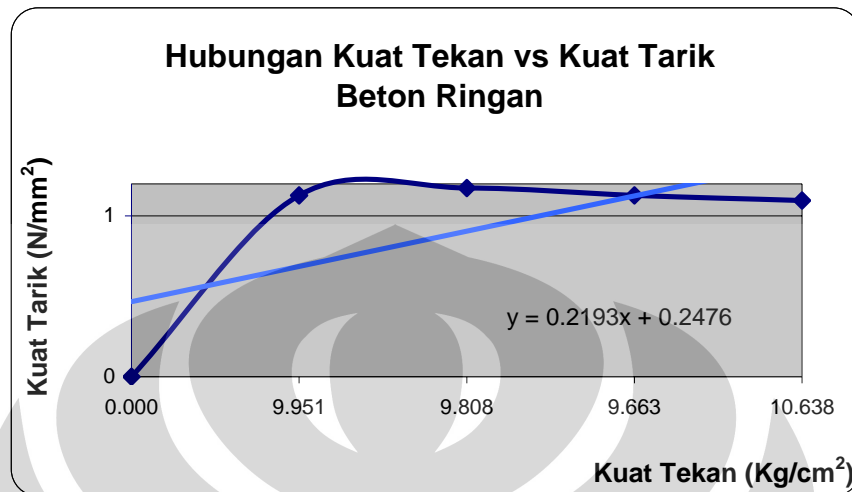
Hubungan antara kuat tekan dengan kuat tarik beton ringan dapat dilihat pada grafik 4.7 sebagai berikut;



Gambar 4.11. Grafik Hubungan Kuat Tarik Beton Ringan vs Umur Beton

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai kuat tarik beton ringan meningkat secara linier sejak umur 7 hari sampai dengan umur 28 hari. Nilai kuat tarik beton yang dihasilkan juga memenuhi pendekatan untuk perhitungan kuat tarik beton

berdasarkan kuat tekan silinder beton yaitu $0.10 f_c' < f_{ct}' < 0.2 f_c'$. Hubungan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan HDPE dapat dilihat pada grafik berikut;



Gambar 4.12. Grafik Hubungan Kuat Tekan vs Kuat Tarik Beton Ringan

Dari grafik 4.12. didapat nilai persamaan antara kuat tekan dengan kuat tarik beton yaitu $f_{ct} = 0,2193\sqrt{f_c'} + 0,2476$ nilai pendekatan ini dapat digunakan untuk menghitung kuat tekan.

4.4.6. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dan Poisson Rasio

Dasar yang digunakan untuk menghitung harga modulus elastisitas pada beton normal maupun beton ringan adalah mengacu pada standar ASTM C.469, *Test Method Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete Specimens.*, yaitu :

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,00005)}$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas

S_2 = Tegangan pada saat 40% dari beban maksimum

S_1 = Tegangan pada saat regangan aksial mencapai $\varepsilon_1 = 50$ per juta

ε_2 = Regangan aksial yang dihasilkan pada saat S_2

Tegangan didapat dengan rumus :

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

dimana:

σ = tegangan

P = beban (kg)

A = luas penampang (cm²)

Regangan didapat dengan rumus :

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

dimana:

ε = regangan

ΔL = perubahan panjang aksial/lateral

L = panjang akhir aksial/lateral

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 :

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

Untuk menghitung angka perbandingan Poisson mengacu pada standar ASTM C.469, *Test Method Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete Specimens.*, yaitu :

$$\mu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{(\varepsilon_2 - 0,00005)}$$

Dimana :

μ = rasio poisson

ε_{t2} = regangan lateral pada tengah-tengah tinggi benda uji yang diakibatkan oleh S_2 ;

ε_{t1} = regangan lateral pada tengah-tengah tinggi benda uji yang diakibatkan oleh S_1 ;

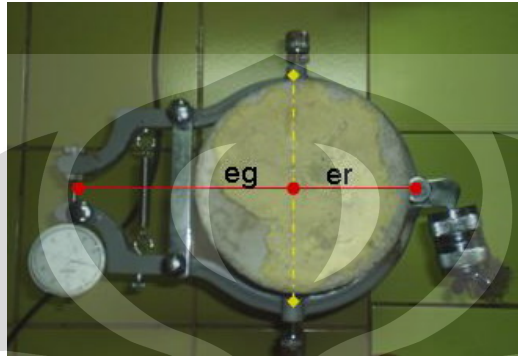
ε_2 = Regangan aksial yang dihasilkan pada saat S_2

$$d = \frac{g \times e_r}{(e_r + e_g)}$$

Dimana :

- d = deformasi benda uji, dalam μm ;
- g = hasil yang terbaca pada alat dial gage, dalam μm ;
- e_r = eksentrisitas batang indikator dari sumbu benda uji arah lateral,
- e'_h = eksentrisitas batang indikator dari sumbu benda uji arah aksial,
- e_g = eksentrisitas alat ukur deformasi,

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



Gambar 4.13. Koreksi Pembacaan Dial Horizontal (Deformasi Lateral)

Nilai faktor koreksi untuk pembacaan dial deformasi lateral: (pada gambar 4.2.)

$$e_r = 9,7 \text{ cm} \quad ; \quad e_g = 19,3 \text{ cm}$$

$$\text{maka } f_{k \text{ lateral}} = \frac{e_r}{(e_r + e_g)} = \frac{9,7}{(9,7 + 19,3)} = 0,334$$

Nilai faktor koreksi untuk pembacaan dial deformasi aksial:

$$e'_h = 14 \text{ cm} \quad ; \quad e'_g = 14 \text{ cm}$$

$$\text{maka koreksi; } f_{k \text{ aksial}} = \frac{e'_h}{(e'_h + e'_g)} = \frac{14}{(14 + 14)} = 0,5$$

Hasil penelitian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson beton ringan dengan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE) disajikan pada tabel 4.17. berikut:

Tabel 4.17. Nilai Rata-rata Modulus Elastisitas dan Poisson's Ratio Beton Ringan Plastik

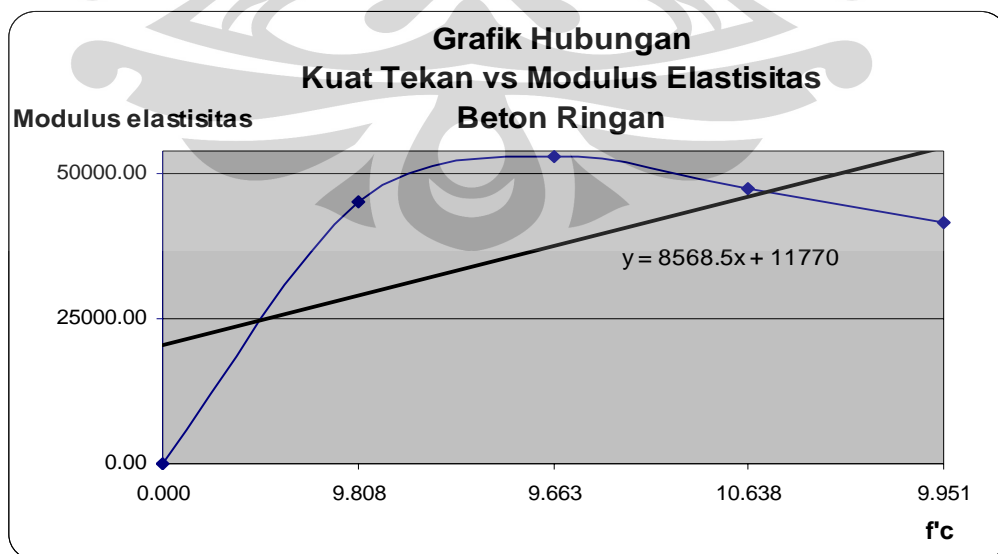
Sampel	Berat (gram)	Modulus Elastisitas (E) (MPa)	poisson ratio (v)
1	8420	4511,29	0,156
2	8220	5312,48	0,191
3	8415	4748,62	0,136

4	8420	4165,58	0,120
Rata-rata		4684,48	0,151

Dari tabel 4.17 terlihat bahwa dari setiap sampel campuran beton ringan dengan agregat ringan plastik didapat perbedaan nilai modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson yang tidak terlalu signifikan, namun pada sampel seberat 8220 nilai modulus elastisitas beton ringan justru mencapai angka tertinggi hal ini dimungkinkan karena nilai modulus elastisitas dipengaruhi oleh jumlah pori yang terdapat dalam beton yang diakibatkan oleh rendahnya kepadatan campuran beton. Sehingga proporsi 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.

Dari data modulus elastisitas yang diperoleh, pada siklus kedua pengujian diperoleh angka pembacaan dial yang terlalu besar, hal ini disebabkan karena pada siklus pertama terjadi penutupan rongga atau pemampatan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh banyaknya rongga yang terdapat pada agregat yaitu sebesar 47,983%.

Hasil pengujian modulus elastisitas dan angka perbandingan *Poisson* untuk beton ringan agregat kasar ringan selengkapnya dapat dilihat di lampiran.



Gambar 4.14. Perbandingan Kuat Tekan vs Modulus Elastisitas Beton Ringan

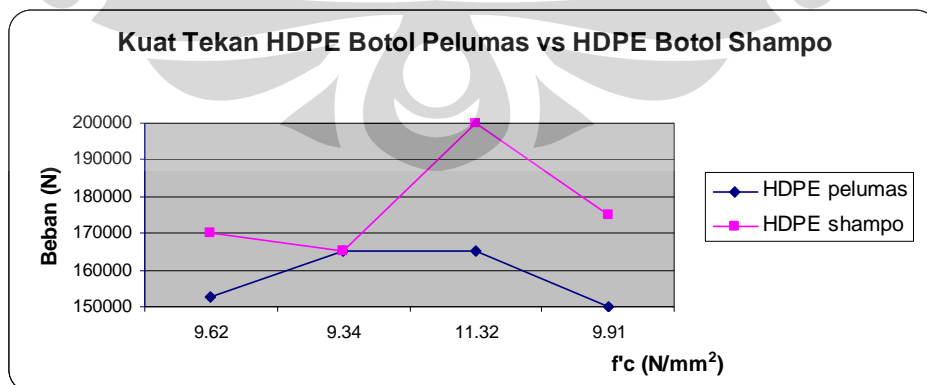
Dari Grafik 4.13 didapat hubungan antara kuat tekan vs modulus elastisitas beton ringan HDPE botol shampo adalah $E = 8568,5\sqrt{f'c} + 11770$.

Setelah dilakukan pengujian modulus elastisitas dengan 3 kali siklus pada masing-masing sampel, 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 4.18. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Berbentuk Silinder

Umur (hari)	Berat (gram)	Beban (N)	Luas Penampang Silinder (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ²) / MPa
28	8420	170000	17662,5	9,62
28	8220	165000	17662,5	9,34
28	8415	200000	17662,5	11,32
28	8420	175000	17662,5	9,91
Rata-Rata Kuat Tekan Beton Silinder Umur 28 hari				10,05

Dari hasil data kuat tekan beton ringan rata-rata yang diperoleh dari dua tipe beton ringan berbeda yaitu beton ringan agregat kasar HDPE botol shampo dan HDPE botol pelumas dengan spesimen berbentuk silinder dapat dibuat pola hubungan perbandingan persentase kuat tekan beton ringan rata-rata HDPE botol shampo dengan kuat tekan beton ringan HDPE botol pelumas disajikan dalam bentuk grafik 4.8 berikut,



Gambar 4.15. Perbandingan Kuat Tekan Beton Ringan HDPE Botol Shampo vs Kuat Tekan Beton Ringan HDPE Botol Pelumas

Berdasarkan grafik 4.8 terlihat bahwa perbandingan persentase kuat tekan beton ringan rata-rata HDPE botol shampo dengan kuat tekan beton ringan HDPE botol pelumas, tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Hal ini kemungkinan dapat disebabkan karena perbedaan karakteristik agregat kasar ringan, dimana tekstur agregat ringan HDPE botol shampo sedikit lebih kasar dibanding agregat ringan HDPE botol pelumas, hal ini dikarenakan perbedaan proses pembuatan agregat.

4.5. 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 terhadap sifat mekanis 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) putih berbagai merk = Rp. 7500,-
- ◆ 1 ltr minyak tanah eceran = Rp. 8000,-

harga limbah botol plastik diatas bila kita beli dari pengumpul limbah, dengan perkiraan 1kg botol plastik berisi \pm 30 botol jadi /botol plastiknya Rp. 250,-

Setelah melakukan pengujian pada proses pembuatan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE), maka diperoleh penggunaan bahan baku optimum dimana untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan dibutuhkan sekitar 1,2 - 1,5 kg potongan botol plastik, hal ini karena banyaknya bahan yang mengalami penguapan pada saat pembakaran, dari 1000 gr bahan yang dibakar hanya menghasilkan 750 gr agregat ringan plastik, sedangkan kebutuhan minyak tanahnya \pm 150 ml. Perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan adalah sebagai berikut:

- 1,4 kg botol plastik HDPE (@Rp.7500,-/kg) = Rp. 10.500,-
- 0,15 ltr minyak tanah = Rp. 1.200,- +
Rp. 11.700,-

Dengan biaya langsung yang dikeluarkan sebesar Rp. 11.700,-/kg agregat, penulis menganggap biaya produksi agregat kasar ringan 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.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dan mengacu pada hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE) dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar ringan pada umumnya dalam campuran beton ringan struktural ringan, ditinjau dari segi kekuatan, hal ini didasari oleh beberapa alasan berikut:
 - ❖ Berdasarkan metode rancang campur beton ringan SNI 03-3449-2002, didapat kuat tekan rata-rata yang dihasilkan oleh beton ringan agregat plastik pada umur beton 28 hari adalah 100,162 kg/cm², hasil yang diperoleh memang tidak dapat mencapai target kuat tekan yang diharapkan dalam perancangan yaitu 120 kg/cm². Namun apabila melihat spesifikasi dari beton ringan yang digunakan untuk tujuan konstruksi (tabel 3.3)

dimana kuat tekan beton ringan yang dibutuhkan untuk tujuan konstruksi struktural ringan berkisar antara (6,89 – 17,24) MPa atau setara dengan (68,9 – 172,4) kg/cm² maka kuat tekan yang dihasilkan oleh beton ringan plastik masih dalam rentang beton ringan struktural ringan.

- ❖ Agregat kasar ringan mempunyai daya absorpsi sangat kecil dalam pengujian di laboratorium diperoleh sebesar 1,681% bila dibandingkan dengan daya absorpsi agregat kasar ringan lainnya yaitu sebesar 5%-20%. Dengan penyerapan air yang relatif kecil maka beton segar yang dihasilkan dengan menggunakan agregat kasar ringan plastik mempunyai kelecakan yang baik karena air campuran sebagian besar digunakan untuk hidrasi semen dan *workability*.
 - ❖ Berat jenis agregat plastik yang lebih kecil dari berat jenis air yaitu sebesar 0.949, tidak memungkinkan diambil nilai fas yang terlalu besar. sebab hal ini dapat menyulitkan pada saat pembuatan campuran beton ringan, karena bila *slump over* (encer) maka dapat mengakibatkan segregasi dan agregat ringan yang digunakan akan mengambang (naik ke permukaan beton).
2. Gradasi agregat kasar ringan yang digunakan untuk tipe campuran silinder (15×30) cm banyak berpengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan baik pada umur 7 hari maupun pada umur 28 hari. Dimana kuat tekan yang dihasilkan dari gradasi agregat (25,4-9,5) mm pada sampel silinder (15×30) cm dari beton ringan HDPE botol shampo cenderung lebih besar dan HDPE botol pelumas. walaupun perbedaan nilai kuat tekan tidak terlalu signifikan.
 3. Bila melihat pola patahan dari sampel beton ringan plastik yang telah diuji kuat tekannya didapat pola keruntuhannya adalah pada ikatan antara pasta semen (mortar) dengan agregat kasar ringan hal ini disebabkan karena tekstur permukaan dari agregat yang kasar dan mengkilap sehingga belum mampu menahan slip yang besar pada saat beton mengalami pembebanan secara aksial.
 4. Perbandingan persentase kuat tekan beton ringan rata-rata HDPE botol shampo dengan kuat tekan beton ringan HDPE botol pelumas, tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Hal ini kemungkinan dapat disebabkan karena perbedaan karakteristik agregat kasar ringan, dimana tekstur agregat ringan

HDPE botol shampo sedikit lebih kasar dibanding agregat ringan HDPE botol pelumas, hal ini dikarenakan perbedaan proses pembuatan agregat.

5.2. SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dan mengacu pada hasil penelitian yang diperoleh, maka ada beberapa saran yang dikemukakan oleh penulis diantaranya:

1. Dikarenakan pola keruntuhan dari beton ringan dengan agregat kasar plastik yang terjadi pada ikatan antara pasta semen dengan agregat plastik, maka penulis menyarankan agar dilakukan penelitian guna meningkatkan ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan plastik, yaitu salah satu caranya adalah dengan menambah bahan aditif dalam campuran beton ringan seperti abu terbang (*fly ash*).
2. Perlu perhatian khusus terutama pada berat jenis agregat tipe HDPE yang bersifat lebih ringan dari air karena dikhawatirkan terjadi segregasi dan mengambang pada campuran beton ringan. Bisa dilakukan penambahan bahan-bahan tertentu kedalam bahan HDPE yang mencair sehingga dapat meningkatkan berat jenisnya misalkan saja pasir, *screening* atau serat.
3. Dilakukan pengujian terhadap sifat-sifat mekanis beton ringan dengan agregat kasar ringan plastik lainnya diantaranya kuat lentur dari balok beton ringan tanpa tulangan yang dibebani pada titik-titik sepertiga bentang (*Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third - Point Loading*) atau balok beton ringan tanpa tulangan yang dibebani di tengah bentang (*Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Center - Point Loading*).
4. Bahan HDPE mempunyai sifat waktu pembakaran yang lama dan suhu yang tinggi untuk meleleh. Untuk mengetahuinya perlu dilakukan pengujian-pengujian pada beton ringan agregat ringan plastik yang dibakar atau dipanaskan. Untuk mengetahui pengaruh pemanasan terhadap sifat-sifat mekanis beton ringan, karena tidak tertutup kemungkinan suatu struktur akan mengalami kebakaran sehingga perlu diketahui apakah agregat kasar ringan plastik mempunyai sifat tahan panas (*thermal resistance*) yang baik

5. Perlu dilakukan pengujian skala laboratorium terhadap kekuatan struktur yang terbuat dari beton ringan plastik, misalnya kolom, atau dinding beton ringan dengan agregat kasar ringan plastik yang mengalami beban dinamik.



DAFTAR PUSTAKA

1. ACI committee 211.2-69 (Revised 1977), *“Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete”*, ACI Manual of Concrete Practice, 1977.
2. ACI Committee 211.1-77, *“Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweight Concrete”*, ACI Manual of Concrete Practice, 1977.
3. ACI Committee 213R-79, *“Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete”*, ACI Manual of Concrete Practice, 1979.
4. ASTM, *“Concrete and Aggregates”*, Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia : ASTM, 2002.
5. Badan Standarisasi Nasional. BSN. *“Polietilena Densitas Tinggi (HDPE) untuk Botol Plastik”*, SNI 06-0939-2006.

6. Billmeyer Fred W., "*Textbook of Polymer Science*", John Wiley & Sons, Inc., 1984.
7. Callister William D., "*Materials Science And Engineering An Introduction*", John Wiley & Sons, Inc., 1997.
8. Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, Binsar H. (editor), "*Desain Beton Bertulang*", Edisi Keempat Jilid 1, Erlangga, 1986.
9. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. "*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural*", SK.SNI S-16-1990-F. Cetakan Pertama, Bandung: DPU-Yayasan LPMB, 1990.
10. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. "*Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*", SNI 03-3449-2002. Cetakan keempat, Bandung: DPU-Yayasan LPMB, 2002.
11. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. "*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*", SNI 03-2834-1993.
12. Djedjen, "*Paper Beton Ringan*", Politeknik Negeri Jakarta, 2000.
13. Marzuki Hanif M., Priyanto Arie, "*Concrete Technology & Materials Of Concrete*", Jayamix, 2004.
14. Mosley W. H., Bungey J. H., "*Perencanaan Beton Bertulang*", Edisi Ketiga, Erlangga, 1989.
15. Muhamad Agus Haryana, "*Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Buatan Dari Limbah Botol Plastik/High Density Polyethylene (Pet) Dan Pengaruh Agregat Kasar Ringan Buatan Terhadap Sifat-Sifat Mekanis Beton Ringan*", Skripsi UI, 2008.
16. Mulyono T., 2003. "*Teknologi Beton*", Andi Yogyakarta, 2003.
17. Nawy, Edward. G., "*Reinforced Concrete a Fundamental Approach- Terjemahan*", Cetakan Pertama, Bandung: PT. Eresco, 1990.
18. Neville, A.M., "*Properties of Concrete*", 4th Edition, London: Pitman Books Ltd, 1981.
19. Neville, A.M., Brooks, J.J., "*Concrete Technology*", London: Longman Group Ltd, 1987.
20. Pamuji Slamet, "*Studi Aplikasi HDPE Untuk Geogrid*", Tesis UI Program Pascasarjana Program Studi Materials Science, 1995.

21. Popovics, S., "Concrete Making Materials", McGraw-Hill, 1979.
22. Sony Aria Wiryawan, "Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Buatan Dari Limbah Botol Plastik/Polietilen Terephthalate (Pet) Dan Pengaruh Agregat Kasar Ringan Buatan Terhadap Sifat-Sifat Mekanis Beton Ringan", Skripsi UI, 2007.
23. Waddell, J.J., Dobrowolski, J.A., "Concrete Construction Handbook", 3rd Edition, McGraw-Hill, 1990.
24. www.kimia.indonesia.belajaronline.htm.

	I	II	III
--	---	----	-----

25. www.republika.co.id
26. Young J.F., Mindess S., Bentur A. (editor), "The Science and Technology of Civil Engineering Material", Prentice Hall, 1993.
27. Zulkifli Muhammad, "Pengaruh Kokatalis Triisobutilaluminium (tibal) Terhadap Performa Katalis Ziegler-Natta Pada Proses Polimerisasi HDPE", Tesis UI Program Pascasarjana Program Studi Materials Science, 1997.

TEST FOR SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION-TEST OF COARSE AGGREGATE

ample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah botol plastik (HDPE)
 Date Tested : October, 31th 2008

A) Weight of oven - dry specimen in air (gr)	4905	4925	4922
B) Weight of ssd specimen in air (gr)	5000	5000	5000
C) Weight of saturated specimen in water (gr)	-262	-267	-261
Bulk Specific Gravity $= \frac{B}{B-C}$	0,950	0,949	0,950
Average of above	0,950		
Apparent Specific Gravity $= \frac{A}{A-C}$	0,949	0,948	0,950
Average of above	0,949		
Absorption (%) $= \frac{B-A}{A} \times 100\%$	1,936	1,522	1,585
Average of above (%)	1,681		

TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOIDS IN COARSE AGGREGATE

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah botol plastik (HDPE)
 Date Tested : October, 31th 2008

	I	II	III
a) Weight of Measure (kg)	4,707	4,707	4,707

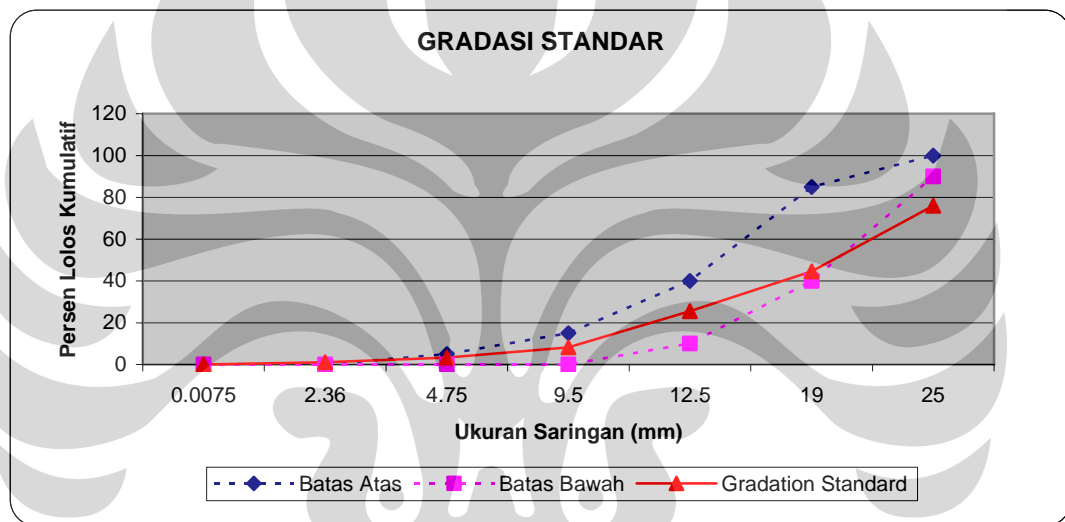
b) Weight of Measure + Water	(kg)	12,673	12,673	12,673
c) Weight of Measure and Sample	(kg)	8,422	8,480	9,014
d) Weight of Sample	(kg)	3,715	3,773	4,307
e) Volume of Measure	(liter)	7,966	7,966	7,966
f) Unit weight of aggregate	(kg/liter)	0,466	0,473	0,541
B) Average of above	(kg/liter)	0,493		
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate		0,950	0,949	0,950
W) Unit Weight of Water	(kg/liter)	0,998		
Void	(%)	48,001	47,946	48,001
Average		47,983		
$d = c - a$ $e = b - a$		$f = \frac{d}{e}$		Void (%) $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$

**SIEVE ANALYSIS OF COARSE AGGREGATE
(ASTM C 330 – 03)**

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah botol plastik (HDPE)
 Date Tested : November, 12th 2007

Sieve Size	Sample No.1			Sample No.2			Average		
	Weight	Ind	Cum	Weight	Ind	Cum	Ind	Cum	Average

(mm)	Ret Grams	% Ret	% Ret	Ret Grams	% Ret	% Ret	% Ret	% Ret	Passing %
25,4	976	19,52	25,84	934	18,68	22,04	19,1	23,94	76,06
19	1.541	30,82	56,66	1.607	32,14	54,18	31,48	55,42	44,58
12,5	916	18,32	74,98	987	19,74	73,92	19,03	74,45	25,55
9,5	885	17,7	92,68	849	16,98	90,9	17,34	91,79	8,21
4,76	204	4,08	96,76	287	5,74	96,64	4,91	96,7	3,3
2,36	104	2,08	98,84	116	2,32	98,96	2,2	98,9	1,1
PAN	58	1,16	100	52	1,04	100	1,1	100	0
TOTAL	5.000			5.000					



PENGUJIAN KEAUSAN (ABRASION) UNTUK AGREGAT KASAR DENGAN MENGGUNAKAN MESIN LOS ANGELES (AASHTO T.96-77)

Sample : Agregat kasar ringan buatan
Source : Limbah botol plastik (HDPE)
Date Tested : October, 31th 2008

Ukuran Saringan		Ukuran Berat Contoh (gram)		
Lolos	Tertahan	Grading - 1	Grading-2	Grading-3
76,2	3"			
63,5	2½"			
50,8	2"			
37,5	1½"			
25,4	1"			
19,0	¾"			
12,5	½"		2.500	
9,5	3/8"		2.500	
6,3	¼"			
4,75	# 4			
4,75	# 4			
Berat total contoh sebelum di uji (A)			5.000	
Berat contoh tertahan pada saringan 1,7 mm setelah di uji (B)			4.742	
Keausan = $\frac{A-B}{A} \times 100\%$			5,16%	

**PENGUJIAN BERAT JENIS PLASTIK HDPE BOTOL SHAMPO
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK KUBUS (15×15×15)**

Sample	Berat SSD spesimen di udara (gr)	Berat Spesimen dalam air (gr)	Bulk Specific Gravity	Kuat Tekan (kg/cm ²)

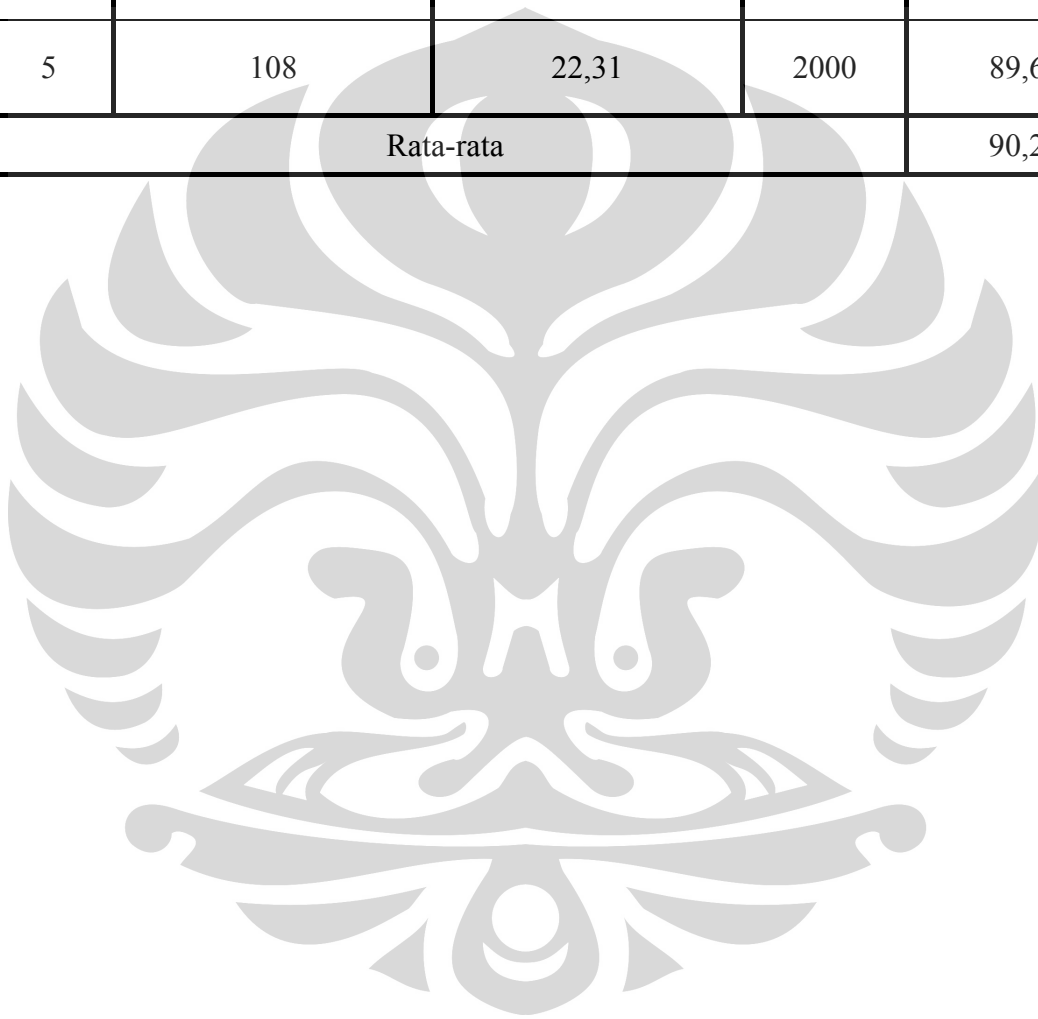
1	2695	-97	0,965	34,21
2	2727	- 96	0,965	38,28
3	2720	- 98	0,965	36,74
Rata-rata			0,965	35,05



**PENGUJIAN KUAT TEKAN PLASTIK HDPE BOTOL SHAMPO
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK KUBUS (5×5×5)**

Sample	Berat SSD spesimen (gr)	Luas permukaan (cm²)	Tegangan (kg)	Kuat Tekan (kg/cm²)
---------------	------------------------------------	--	--------------------------	---

1	109	23,03	1875	81,42
2	108	21,86	1700	77,78
3	107	22,8	2400	105,26
4	108	21,62	2100	97,13
5	108	22,31	2000	89,65
Rata-rata				90,25



KONTROL VOLUME BETON (*YIELD CHECK*)

SAMPLE PENGADUKAN	
a) Weight of Container + Concrete (kg)	19932

b) Weight of Container	(kg)	5,089
c) Weight of Concrete	(kg)	14,843
d) Volume of Container	(m ³)	0,009123
e) Unit Weight of Concrete	(kg/m ³)	1628

$$c = a - b$$

$$e = \frac{c}{d}$$

**TEST FOR SPECIFIC GRAVITY
AND ABSORPTION-TEST OF FINE AGGREGATE**

Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok
 Date Tested : September, 3th 2008

Sample	I	II
A) Weight of Oven-Dry Specimen in Air (gr)	478	478
B) Weight of Pycnometer Filled with Water (gr)	663	657
C) Weight of Pycnometer with Specimen and Water	964	953

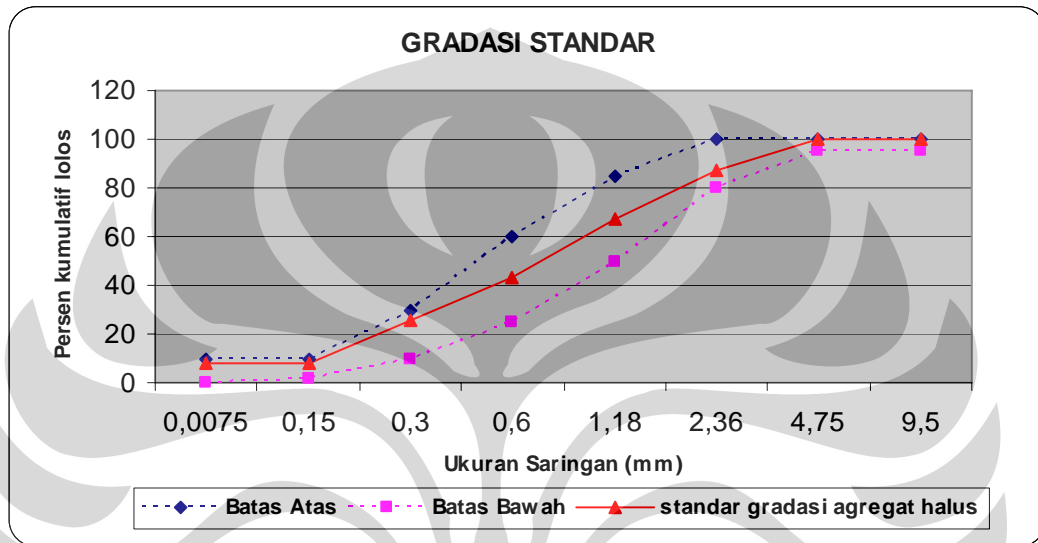
to Calibration Mark (gr)		
Bulk Specific Gravity = $\frac{A}{B + 500 - C}$	2,402	2,343
Average of Above	2,373	
Bulk Specific Gravity (Saturated-Surface-Dry Basis) = $\frac{500}{B + 500 - C}$	2,513	2,451
Average of Above	2,482	
Apparent Specific Gravity = $\frac{A}{B + A - C}$	2,700	2,685
Average of Above	2,693	
Absorption (%) = $\frac{500 - A}{A} \times 100\%$	4,603	4,603
Average of Above (%)	4,603	

SIEVE ANALYSIS OF FINE AGGREGATE

Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok
 Date Tested : September, 3th 2008

Sieve Size (mm)	Sample No. 1			Sample No. 2			Average		
	Weight Ret Grams	Ind % Ret	Cum % Ret	Weight Ret Grams	Ind % Ret	Cum % Ret	Ind % Ret	Cum % Ret	Average Passing (%)
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,36	63	12,6	12,6	61	12,2	12,2	12,4	12,4	87,6

1,18	110	22	34,6	94	18,8	31	20,4	32,8	67,2
0,60	121	24,2	58,8	119	23,8	54,8	24	56,8	43,2
0,30	86	17,2	76	94	18,8	73,6	18	74,8	25,2
0,15	80	16	92	93	18,6	92,2	17,3	92,1	7,9
0,074	0	0	92	0	0	92,2	0	0	7,9
PAN	40	8	100	39	7,8	100	7,9	100	0
FM	2,740			2,638			2,689		

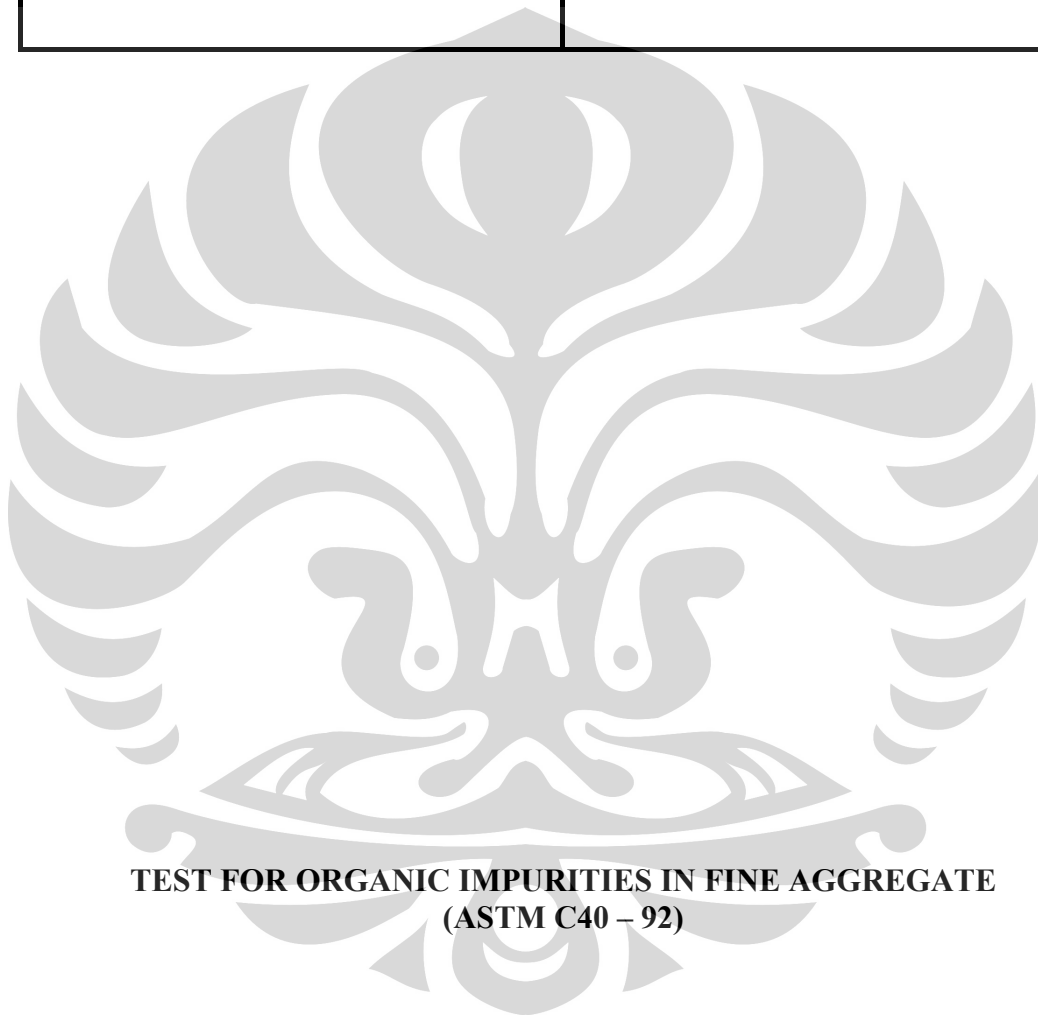


**TEST FOR MATERIALS FINER THAN NO. 200 SIEVE
IN MINERAL AGGREGATES BY WASHING**

Sample : Pasir alam
Source : Cimangkok
Date Tested : September, 3th 2008

SAMPLE	I	II
B) Original dry weight of sample (gr)	500	500

C) Dry weight of sample (gr)	489	490
A) Percentage of material finer than a No. 200 sieve by washing (%) $A = \frac{B - C}{B} \times 100\%$	2,20	2,00
Average of above (%)	2,10	



**TEST FOR ORGANIC IMPURITIES IN FINE AGGREGATE
(ASTM C40 – 92)**

Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok
 Date Tested : September, 3th 2008

Nearest Color of The Liquid of the Test Sample	Organic Plate Number
Lighter	1
	2

/ Equal / Darker Color to	3 (standard)
	4
	5

Determination of Color Value

Lighter / equal / darker color to that of the reference standard (No.3)



TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOIDS IN FINE AGGREGATE

Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok
 Date Tested : September, 3th 2008

	I	II
a) Weight of Measure (kg)	1,055	1,055
b) Weight of Measure + Water (kg)	3,055	3,055
c) Weight of Measure and Sample (kg)	3,944	3,828

d) Weight of Sample (kg)	2,889	2,773
e) Volume of Measure (liter)	2	2
f) Unit weight of aggregate (kg/liter)	1,445	1,387
B) Average of above (kg/liter)	1,416	
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate	2,482	
W) Unit Weight of Water (kg/liter)	0,998	
Void (%)	42,855	42,855
Average	42,855	
$d = c - a$ $e = b - a$		$f = \frac{d}{e}$ $\text{Void (\%)} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100\%$

**PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON RINGAN
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK SILINDER (15×30)cm**

Sample : Beton Silinder ukuran (15×30)
Location : Lab bahan FTUI

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan Beton (kg/cm ²)
7	8384	13000	176,716	73,565
7	8281	15000	176,716	84,883
7	8932	15000	176,716	84,883
7	9032	14000	176,716	79,224
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 7 hari				80,639

Umur	Berat	Beban	Luas Penampang	Kuat Tekan Beton
------	-------	-------	----------------	------------------

(hari)	(g)	(kg)	(cm ²)	(kg/cm ²)
14	9119	16250	176,716	91,956
14	8100	16000	176,716	90,541
14	8042	16250	176,716	91,956
14	8296	15500	176,716	87,712
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari				90,541

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan Beton (kg/cm ²)
28	8450	17500	176,716	99,030
28	8420	17000	176,716	96,200
28	8220	16500	176,716	93,371
28	8415	20000	176,716	113,177
28	8420	17500	176,716	99,030
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari				100,162

**PENGUJIAN KUAT TARIK BETON RINGAN
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK SILINDER (15×30)cm**

Sample : Beton Silinder ukuran (15×30)
Location : Lab bahan FTUI

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (N)	Panjang (mm ²)	Diameter (mm ²)	Kuat Tarik Beton (N/mm ² = MPa)
7	8242	60000	300	150	0,849
7	8359	75000	300	150	1,061
7	8081	70000	300	150	0,990
7	8296	70000	300	150	0,990
Rata – Rata Kuat Tarik Beton Dalam Silinder					0,873

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (N)	Panjang (mm ²)	Diameter (mm ²)	Kuat Tarik Beton (N/mm ² = MPa)
14	8034	80000	300	150	1,132

14	8032	80000	300	150	1,132
14	8907	75000	300	150	1,061
14	8018	75000	300	150	1,061
Rata – Rata Kuat Tarik Beton Dalam Silinder					1,096

Umur (hari)	Berat (g)	Beban (N)	Panjang (mm ²)	Diameter (mm ²)	Kuat Tarik Beton (N/mm ² = MPa)
28	8194	90000	300	150	1,273
28	8335	97500	300	150	1,379
28	8263	90000	300	150	1,273
28	8024	85000	300	150	1,203
Rata – Rata Kuat Tarik Beton Dalam Silinder					1,282

PENGUJIAN BERAT ISI SEGAR BETON RINGAN

No	Berat Beton Segar+Wadah (kg)	Berat Wadah (kg)	Berat Beton Segar (kg)	Volume Wadah (m ³)	Berat Isi Segar (kg/m ³)
1	19,932	5,089	14,843	0,009123	1627
2	19,956	5,089	14,867	0,009123	1630
3	19,947	5,089	14,858	0,009123	1629
Rata-Rata Berat Isi Beton Segar					1628,67
Koreksi terhadap berat isi rencana					14,04 %

PENGUJIAN BERAT ISI KERING BETON RINGAN

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
--------	------------	---------------	-------------	--------------------------	---------------------------------------

1	8,242	15	30	0,00530	1555
2	8,359	15	30	0,00530	1577
3	8,263	15	30	0,00530	1665
4	8,296	15	30	0,00530	1565
5	9,281	15	30	0,00530	1751
Rata-Rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1623
Koreksi terhadap berat isi rencana					13,74 %

RANCANG CAMPUR BETON RINGAN DENGAN AGREGAT RINGAN PLASTIK BERDASARKAN METODE SNI 03-3449-2002

I. Data Perencanaan

- Kuat tekan beton ringan (f'_{cB}) = 110 kg/cm²
- Nilai tambah/margin (M) $M = k \times s$
dengan : M = nilai tambah
k = tetapan statistik (1,64)
s = deviasi standar (70 kg/cm²)
M = 1,64 x 3,67 kg/cm² = 6,02 kg/cm²
- Kuat tekan beton ringan yang ditargetkan (f'_{cBr})

$$f'_{cBr} = f'_{cB} + M$$

$$= 110 + 6,02 = 116,20 \sim 120 \text{ kg/cm}^2$$
- Berat Isi beton ringan yang disyaratkan (BI_{Br}) = 1600 kg/m³
- Semen yang digunakan OPC (type I / S-550)

- Agregat kasar ringan yang digunakan adalah agregat kasar dari limbah botol plastik (HDPE) dengan sifat – sifat yang didapat dari hasil pengujian laboratorium sebagai berikut :

Sifat – sifat	Agregat Plastik
Berat Jenis, ssd	0,950
Penyerapan Air, % berat	1,297
Kadar Lemas, % berat	0

- Agregat halus yang digunakan adalah agregat halus normal (Pasir Beton) dengan sifat – sifat dari hasil pengujian laboratorium sebagai berikut:

Sifat – sifat	Agregat Halus
Berat Jenis (<i>Bulk Spesific Gravity</i>)	2,482
Penyerapan Air, % berat	4,063
Kadar Lemas, % berat	5,980

Perhitungan Rancang Campur

Kuat Tekan Adukan (Mortar) terhadap Kuat Tekan Hancur Agregat

- Berdasarkan pengujian terhadap agregat kasar ringan di laboratorium, di dapat kuat tekan hancur agregat (f'_{cA}) = 84,175 kg/cm².
- Berdasarkan pengujian terhadap adukan mortar di laboratorium, di dapat kuat tekan adukan mortar (f'_{cM}) = 168,095 kg/cm².
- Kuat Tekan Beton Ringan yang ditargetkan (f'_{cBr}) = 120 kg/cm²
- Syarat Jumlah Fraksi Agregat Kasar Ringan, n_f : $0,35 \leq n_f \leq 0,50$

Maka didapat nilai n_f :

$$n_f = \frac{\log(f'_{c_{Br}}/f'_{c_M})}{\log(f'_{c_A}/f'_{c_M})}$$

$$n_f = \frac{\log(120/168,095)}{\log(84,176/168,095)}$$

$$n_f = 0,48 \text{ (memenuhi syarat } 0,35 \leq n_f \leq 0,5)$$

Menentukan Susunan Campuran Adukan (BI_M)

Didapatkan susunan campuran adukannya, sebagai berikut :

• Semen	= 435	kg/m ³	
• Pasir	= 1731	kg/m ³	
• Air	= 164	kg/m ³	+
Jumlah = Bobot isi total adukan		= 2330	kg/m ³

Menentukan Susunan Campuran Beton (BI_{Br}) tiap m³

• Semen	= 358 × 0,48	= 211,981	kg
• Air	= 135 × 0,48	= 80,129	kg
• Pasir	= 1425 × 0,48	= 843,686	kg
• Agregat Kasar	= 1000 × 0,48 × 0,950	= 462,948	kg
Jumlah = Bobot isi beton		= 1598,743	

$$\text{Volume pekerjaan} = 30 \text{ Silinder } (\varnothing = 15 \text{ cm; } h = 30 \text{ cm}) = 0,1950 \text{ m}^3$$

Proporsi Bahan =

• Semen	= 212 × 0,1590 =	34	kg
• Air Pencampur	= 80 × 0,1590 =	13	kg
• Pasir	= 844 × 0,1590 =	134	kg
• Agregat ringan kasar	= 463 × 0,1590 =	74	kg

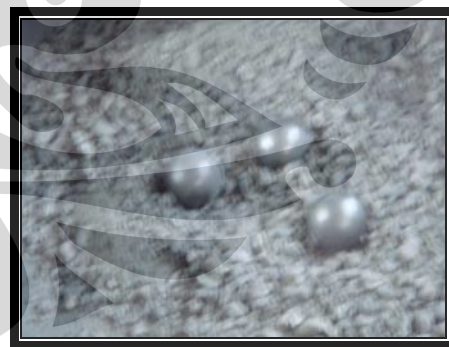




PROSES PEMBUATAN AGREGAT RINGAN HDPE

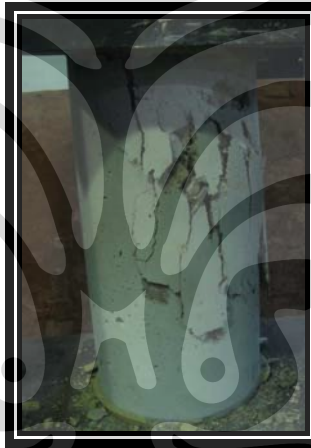


PENGUJIAN PUNDIT





PENGUJIAN AGREGAT KASAR



PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT TEKAN





PEMBUATAN BENDA UJI MORTAR



PENGUJIAN BERAT ISI DAN SLUMP



PENGUJIAN KUAT TARIK



PROSES PENGADUKAN BETON