



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK AGREGAT KASAR
RINGAN HASIL DAUR ULANGBOTOL SHAMPO PLASTIK
HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) WARNA PUTIH
BERSERAT METAL SERTA PENGARUHNYA PADA KUAT
TEKAN BETON RINGAN**

SKRIPSI

**RACHMANIAR
06 06 04 158 6**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JULI 2009**

148/FT.EKS.01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK AGREGAT KASAR
RINGAN HASIL DAUR ULANG BOTOL SHAMPO PLASTIK
HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) WARNA PUTIH
BERSERAT METAL SERTA PENGARUHNYA PADA KUAT
TEKAN BETON RINGAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RACHMANIAR

06 06 04 158 6

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK
JULI 2009**

148/FT.EKS.01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES STUDY OF
LIGHTWEIGHT COARSE AGGREGATES FROM
RECYCLED HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)
WHITE SHAMPOO BOTTLE METAL FIBROUS AND ITS
EFFECT TO THE COMPRESSIVE STRENGTH OF
LIGHTWEIGHT CONCRETE**

FINAL ASSIGNMENT

This assignment was submitted to complete the graduation requirement for
Undergraduate Program

RACHMANIAR
06 06 04 158 6

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
ENGINEERING FACULTY UNIVERSITY OF INDONESIA
DEPOK
JULY 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 : Rachmaniar

NPM : 0606041586

Tanda Tangan :

Tanggal : 9 Juli 2009

STATEMENT OF ORIGINALITY

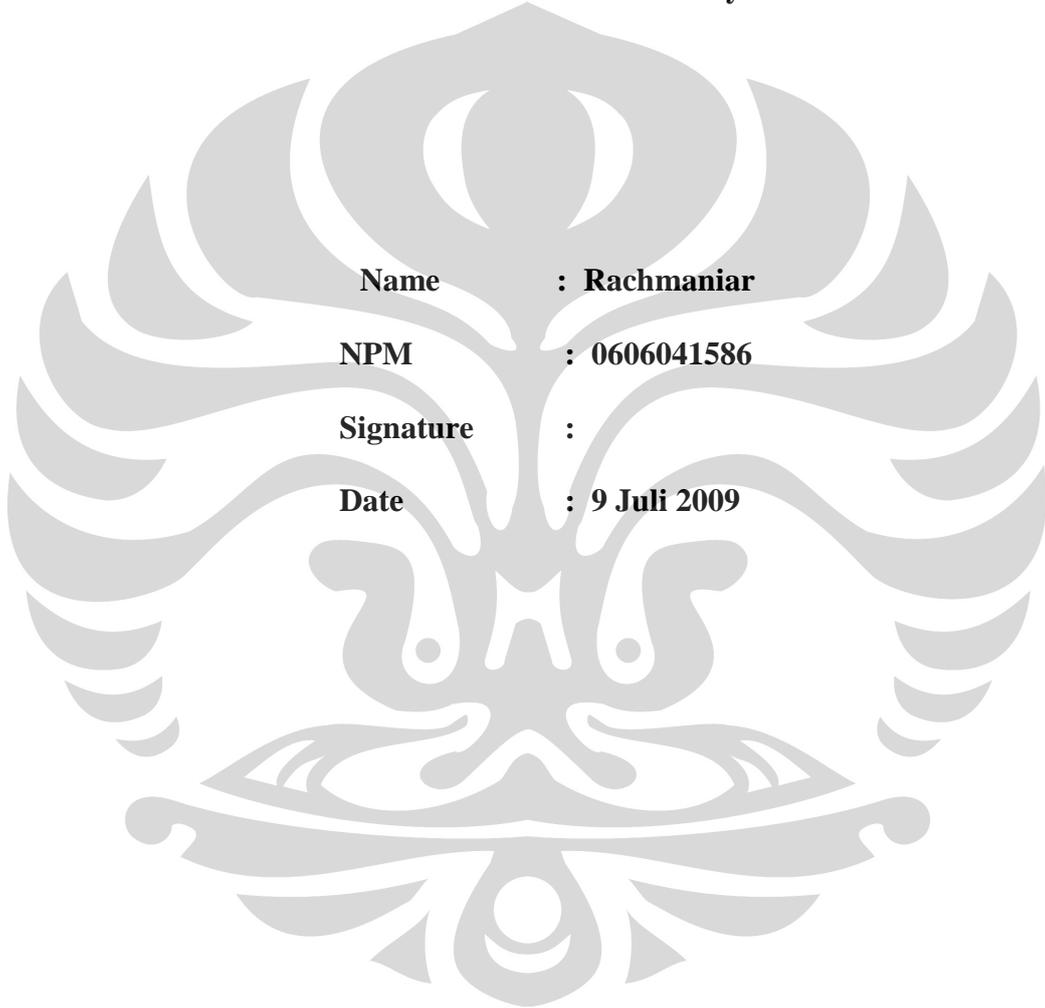
This final assignment is my own work, and all resources both cited and referred i have stated truly .

Name : Rachmaniar

NPM : 0606041586

Signature :

Date : 9 Juli 2009



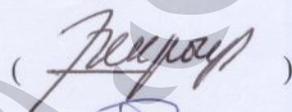
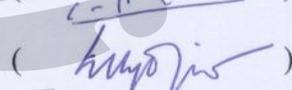
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rachmaniar
NPM : 0606041586
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Kajian Sifat Fisik dan Mekanik Agregat Kasar Ringan Hasil Daur Ulang Botol Shampoo Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Warna Putih Berserat Metal Serta Pengaruhnya Pada Kuat Tekan Beton Ringan

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 : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 09 Juli 2009

SHEET OF APPROVAL

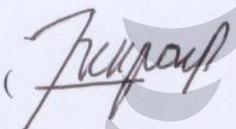
This final assignment submitted by:

Name : Rachmaniar
NPM : 0606041586
Study Program : Civil Engineering
Title : Physical and Mechanical Properties Study Of
Lightweight Coarse Aggregates From Recycled
High Density Polyethylene White Shampoo Bottle
and Its Effect to The Compressive Strength Of
Lightweight Concrete

Have succeeded to be submitted in examiner board and accepted as partial
fullfilment needed to obtain S1 Degree in Civil Engineering Department,
Faculty of Engineering, University of Indonesia

EXAMINER BOARD

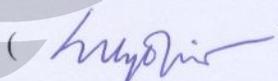
Counselor : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA

()

Examiner I : Ir. Essy Ariyuni, MSc, PhD

()

Examiner II : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

()

Decided in : Depok

Date : 09 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'Alamiin. Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini.

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

1. Bapak Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini
2. Bapak Prof. Dr. Irwan Katili, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
3. Ibu Dr. Ir. Essy Ariyuni, MSc, PhD, sebagai dosen penguji.
4. Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA, sebagai dosen penguji.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, atas ilmu dan pengalamannya yang penyusun dapat.
6. Seluruh Staf Departemen dan seluruh Staf Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, atas kemudahan dan bantuan.
7. Keluarga tercinta, Mama, Papa dan Adik-adik (Iz dan Rezy) yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral serta mendoakan.
8. Teman-teman Mahasiswa Teknik Sipil Ekstensi 2006 Universitas Indonesia antara lain Elva, Pretty, Nana, Randy, Afid, Yudith, Rangga, Ronny, Ruben, Mamat, Windi, Lau, Daniel, Andri, Dito, Arya, Djodi, Fajar, Hanafi, Hilmi, Kusmulyono, K'evy, Mba Atik, Silvi, Mega, Santi, Ichan, Anggoro, Mamed, Taufik, Lita, Mas Cipto, Mas Supri, Darwin, Angga, Mas Yopie, Petrus, Adi Oscar, Ramon dan Teguh yang memberikan masukan, dukungan dan bantuan.
9. Hanan, Malvi, Khris, Rekha, Liria, Reza, Bayu, Sendy dan teman-teman Mahasiswa Teknik Sipil Ekstensi 2007 Universitas Indonesia yang lain atas dukungannya.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, untuk itu penyusun mengharapkan kritikan dan saran yang membangun.

Dengan diselesaikannya skripsi ini, penyusun berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Akhir kata, semoga Allah SWT selalu meridhai kita semua. Amin.

Jakarta, 9 Juli 2009

Penulis



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

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

Nama : Rachmaniar
NPM : 0606041586
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:

**KAJIAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK AGREGAT KASAR RINGAN
HASIL DAUR ULANG BOTOL SHAMPO PLASTIK HIGH DENSITY
POLYETHYLENE (HDPE) WARNA PUTIH BERSERAT METAL SERTA
PENGARUHNYA PADA KUAT TEKAN BETON RINGAN**

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 : Juli 2009

Yang menyatakan

(Rachmaniar)

ABSTRAK

Nama : Rachmaniar
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Kajian Sifat Fisik dan Mekanik Agregat Kasar Ringan Hasil Daur Ulang Botol Shampo Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Warna Putih Berserat Metal Serta Pengaruhnya Pada Kuat Tekan Beton Ringan

Daur ulang botol plastik HDPE putih tanpa botol oli dicampur serat metal staples sebagai bahan baku pembuatan agregat kasar ringan pada beton ringan. Agregat kasar ringan dihasilkan dari pembakaran botol plastik HDPE dengan campuran serat staples dan dilakukan pengujian terhadap agregat kasar ringan tersebut antara lain didapatkan hasil berat jenis 0,953, penyerapan air 1,937%, berat isi 500 kg/m³, rongga udara antar agregat 48,207%, abrasi 11,66%, serta 9,903 MPa kuat tekan silinder (15×30) cm. Pengujian beton ringan umur 28 hari didapatkan hasil sebagai berikut berat isi beton segar 1625 kg/m³, slump 7 cm, kuat tekan 12,902 MPa, kuat tarik belah 1,299 MPa, modulus elastisitas 9175,917 MPa, dan rasio poisson 0,2544.

Kata kunci :

High Density Polyethylene (HDPE), Botol Shampo Plastik, Serat Metal Alloy (Staples), Agregat Kasar Ringan, Beton Ringan

ABSTRACT

Name : Rachmaniar
Study Program : Teknik Sipil
Title : Physical and Mechanical Properties Study of Lightweight Coarse Aggregates From Recycled High Density Polyethylene (HDPE) White Shampoo Bottle Metal Fibrous and Its Effect to The Compressive Strength of Lightweight Concrete

Recycled white plastic bottle HDPE with no oil bottle mixed alloy metal (staples) fiber as raw material on processing the lightweight coarse aggregate in lightweight concrete. Lightweight coarse aggregate produced by burning the plastic bottle HDPE with staples fiber and testing the lightweight coarse aggregate resulted specific gravity 0,953, absorption 1,937%, unit weight 500 kg/m^3 , void between aggregate 48,207%, abrasion 11,66%, and 9,903 MPa cylinder (15×30) cm compressive strength. In lightweight concrete testing at average air dry 28-day obtained result as unit weight fresh concrete 1625 kg/m^3 , slump 7 cm, compressive strength 12,902 MPa, splitting tensile strength 1,299 MPa, modulus of elasticity 9175,917 MPa, and poisson's ratio 0,2544.

Key words :

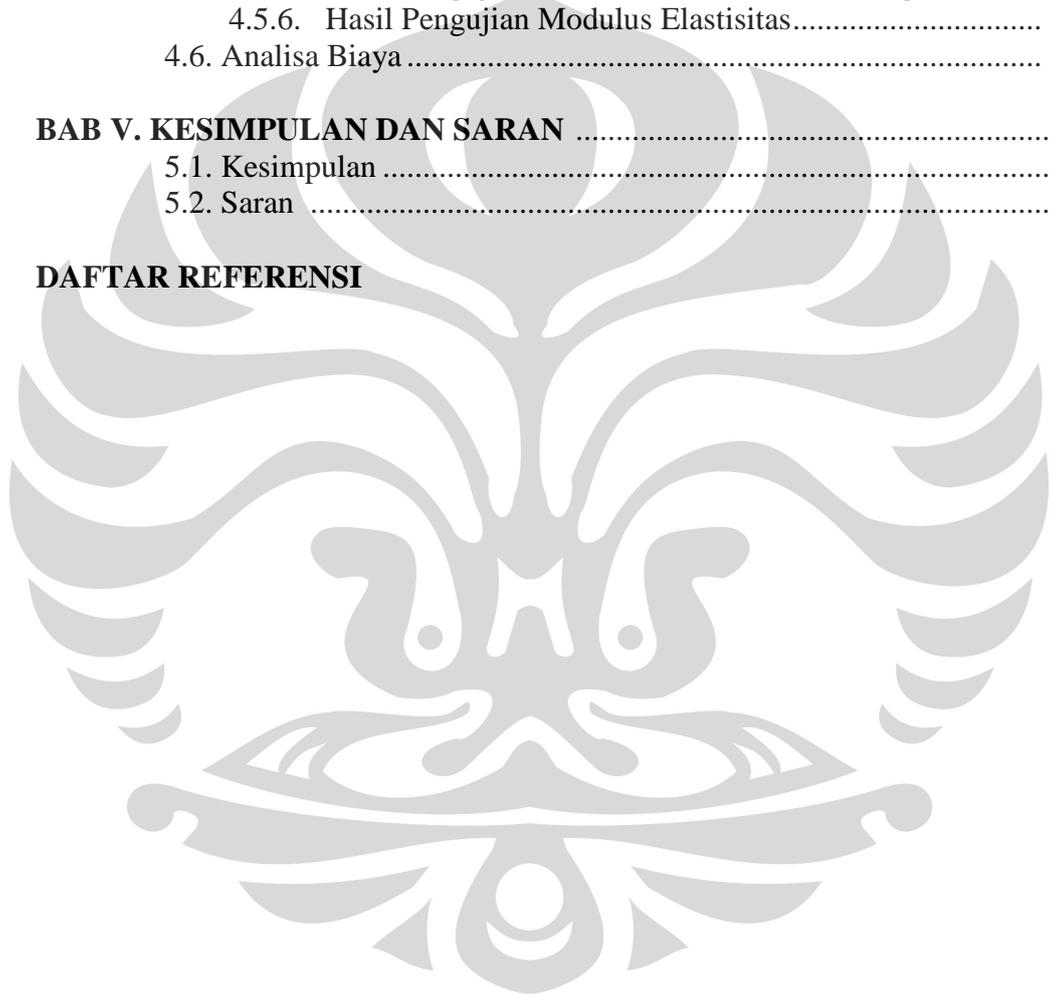
High Density Polyethylene (HDPE), Plastic Shampoo Bottle, Alloy Metal Fiber (Staples), Lightweight Coarse Aggregate, Lightweight Concrete

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Hipotesis	4
1.3. Perumusan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Metodologi Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan	7
BAB II. DASAR TEORI	8
2.1. Tinjauan Pustaka	8
2.2. Beton	8
2.2.1. Pengertian Beton	8
2.2.2. Jenis-Jenis Beton	9
2.2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Mutu Beton	12
2.4.4. Karakteristik Beton	13
2.4.5. Aktivitas Pengerjaan Beton	16
2.3. Mortar	17
2.3.1. Komposisi Mortar	18
2.3.2. Properti Mortar	18
2.3.2.1. Mortar Plastis	18
2.3.2.1. Mortar Keras	19
2.4. Agregat	20
2.4.1. Agregat Berdasarkan Berat	20
2.4.2. Karakteristik Agregat	21
2.5. Semen	25
2.6. Air	26
2.7. <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)	27
2.7.1. Molekul HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	32
2.7.2. Aplikasi HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	36
2.8. Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE	37
2.9. Serat Metal	43
2.9.1. Bentuk Serat Metal	43
2.9.2. Ukuran Serat Metal	44
2.9.3. Kadar Serat Metal	45

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1. Rancangan Penelitian.....	46
3.2. Bahan-bahan Penelitian	47
3.3. Proses Pembuatan Benda Uji Agregat Kasar Ringan Dari Daur Ulang Limbah Botol Shampo Plastik HDPE Berserat Metal Alloy (Staples)	47
3.3.1. Pembuatan Agregat Kasar Ringan Buatan HDPE Berserat Metal Alloy (Staples)	47
3.3.2. Pembuatan Benda Uji Agregat Kasar Ringan Berserat Metal Alloy (Staples) pada Beton Bentuk Spesimen Kubus (5×5×5) cm, Kubus (15×15×15) cm dan Silinder (15×30) cm.....	50
3.4. Pengujian Agregat Kasar Ringan	52
3.4.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	54
3.4.2. Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Antar Agregat	55
3.4.3. Pengujian Analisa Ayakan	58
3.4.4. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi <i>Los Angeles</i>	58
3.5. Pengujian Agregat Halus Normal	59
3.5.1. Pengujian Berat Jenis	60
3.5.2. Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Antar Agregat	61
3.5.3. Pengujian Kadar Air	63
3.5.4. Pengujian Kadar Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)	64
3.6. Campuran Beton Ringan.....	65
3.6.1. Metode Rancang Campur Beton Ringan	66
3.6.2. Pembuatan Benda Uji Beton Ringan	67
3.6.3. Pengujian Beton Ringan	68
3.6.4. Prosedur Pengujian Beton Ringan	69
3.6.4.1. Pengujian Slump	69
3.6.4.2. Pengujian Berat Isi Beton Segar	70
3.6.4.3. Pengujian Kuat Tekan Beton	70
3.6.4.4. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	71
3.6.4.5. Pengujian Pengujian Modulus Elastisitas Beton...	72
BAB IV. HASIL DAN ANALISA	73
4.1. Karakteristik Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE.....	73
4.2. Hasil dan Pembahasan Pengujian Agregat.....	78
4.2.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar Ringan dari Daur Ulang Limbah Botol Shampo Plastik HDPE dengan Campuran Serat Metal Alloy (Staples)	78
4.2.2. Hasil Pengujian Agregat Halus	82
4.2.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat Kasar Ringan Buatan dari Limbah Botol Shampo Plastik HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>) dengan Campuran Serat Metal Staples	84
4.2.4. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Agregat Kasar	

Ringan Buatan dari Limbah Botol Shampo Plastik HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>) dengan Campuran Serat Metal Staples	85
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar	87
4.3. Rancang Campur Beton Ringan	89
4.5. Hasil dan Pembahasan Pengujian Beton Ringan	89
4.5.1. Hasil Pengujian Slump.....	90
4.5.2. Hasil Pengujian Berat Isi Segar Beton Ringan	91
4.5.3. Hasil Pengujian Berat Isi Kering Beton Ringan	92
4.5.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan	94
4.5.5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan	99
4.5.6. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas.....	102
4.6. Analisa Biaya	107
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	109
5.1. Kesimpulan	109
5.2. Saran	112
DAFTAR REFERENSI	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Berat Isi Beton.....	11
Gambar 2.2.	Tegangan Tekan Benda Uji Beton	15
Gambar 2.3.	Bagan Alir Aktivitas Pengerjaan Beton	17
Gambar 2.4.	Beberapa Contoh Monomer	28
Gambar 2.5.	Monomer akrilonitril	29
Gambar 2.6.	Monomer <i>ethylene</i>	30
Gambar 2.7.	Gas Metana	32
Gambar 2.8.	<i>Ethylene</i>	32
Gambar 2.10.	Rantai Molecular <i>Polyethylene</i>	33
Gambar 3.1.	Proses Pembuatan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal	49
Gambar 3.2.	Bentuk dan Ukuran Benda Uji Agregat Kasar Ringan HDPE Berserat Metal	51
Gambar 3.3.	Hierarki Penelitian	52
Gambar 4.1.	Cara Pembuatan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples	74
Gambar 4.2.	Agregat Kasar Ringan Buatan HDPE Berserat Metal Staples	74
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan Suhu dengan Waktu Pembakaran Botol Shampo Plastik HDPE	76
Gambar 4.4.	Proses Pembuatan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Staples	77
Gambar 4.5.	Pengujian Berat Isi Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples	79
Gambar 4.6.	Pengujian Abrasi Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	80
Gambar 4.7.	Grafik Gradasi Aktual Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Staples.....	81
Gambar 4.8.	Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Staples	81
Gambar 4.9.	Pengujian Agregat Halus	83

Gambar 4.10. Sampel Silinder Plastik HDPE Berserat Staples (15×30) cm	84
Gambar 4.11. Kurva Modulus Elastisitas (E) dengan Kecepatan Gelombang (V) Berdasarkan Manual Pundit	86
Gambar 4.11a. Pengujian Pundit.....	87
Gambar 4.12. Grafik Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Faktor Air Semen .88	
Gambar 4.13. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Kuat Tekan Mortar	88
Gambar 4.14. Pengujian Slump	91
Gambar 4.15. Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari	95
Gambar 4.16. Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari	96
Gambar 4.17. Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari	96
Gambar 4.18. Pola Retak Beton Ringan	97
Gambar 4.19. Pola Retak menurut ASTM C 39/C 394-04a	98
Gambar 4.20. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Isi Kering Beton Ringan	98
Gambar 4.21. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari	99
Gambar 4.22. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari	100
Gambar 4.23. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari	100
Gambar 4.24. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Berat Isi Kering Beton Ringan	101
Gambar 4.25. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton Ringan	102
Gambar 4.26. Pengujian Modulus Elastisitas Beton Ringan	105
Gambar 4.27. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan dengan Modulus Elastisitas Beton Ringan	106

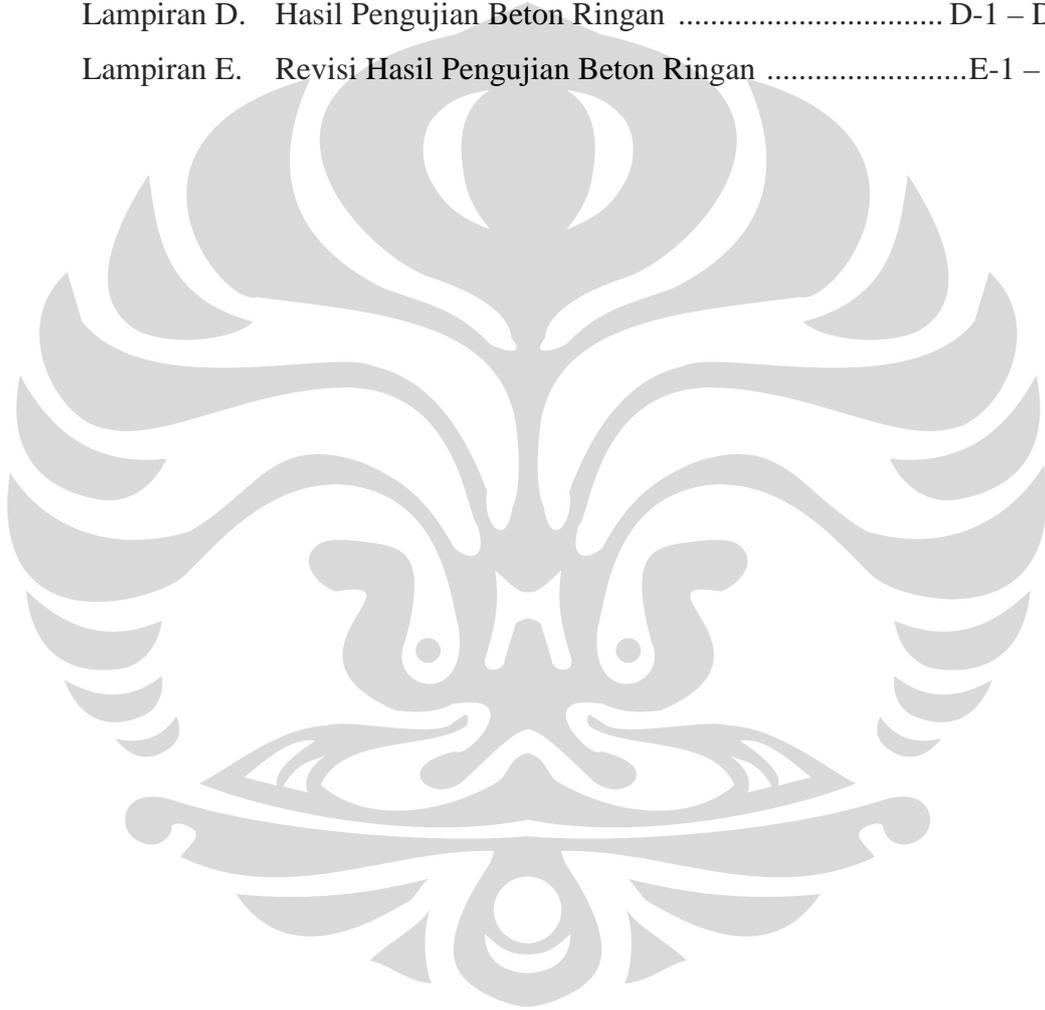
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Data Beton Tanpa Agregat Halus	12
Tabel 2.2.	Klasifikasi Bentuk Butiran Agregat	23
Tabel 2.3.	Gradasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural	25
Tabel 2.4.	Thermoplastic Polymers With Carbon Backbone.....	30
Tabel 2.5.	Klasifikasi <i>Polyethylene</i>	31
Tabel 2.6.	Struktur HDPE, LDPE dan L-LDPE	32
Tabel 2.7.	Typical Properties of Commercial Thermoplastic Polymers.....	35
Tabel 2.8.	Berbagai Aplikasi HDPE	37
Tabel 2.9.	Warna Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE.....	38
Tabel 2.10.	Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE.....	38
Tabel 2.11.	Data Rancang Campur Beton Ringan Rencana	39
Tabel 2.12.	Data Penambahan Kebutuhan Air Pada Rancang Campur.....	39
Tabel 2.13.	Data Rancang Campur Beton Ringan Aktual Pelaksanaan	39
Tabel 2.14.	Nilai Berat Isi Beton Ringan Segar.....	40
Tabel 2.15.	Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR _A -S ₁₅ Silinder	41
Tabel 2.16.	Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR _B -S ₁₅ Silinder.....	41
Tabel 2.17.	Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR _A -K ₁₅	41
Tabel 2.18.	Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR _B -K ₁₅	42
Tabel 2.19.	Nilai Rata-rata Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Beton Ringan.....	42
Tabel 3.1	Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.....	54
Tabel 3.2.	Batas Kekuatan Konstruksi Beton Ringan.....	66
Tabel 4.1.	Karakteristik Geometrik Agregat Kasar Ringan Plastik.....	73
Tabel 4.2.	Hubungan Suhu dengan Waktu Pembakaran Botol Shampo Plastik HDPE	76
Tabel 4.3.	Perbandingan Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE tanpa Serat dan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples	78
Tabel 4.4.	Perbandingan Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Alami dan	

	Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples	78
Tabel 4.5.	Gradasi Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Staples	80
Tabel 4.6.	Hasil Pengujian pada Agregat Halus	82
Tabel 4.7.	Berat Jenis dan Kuat Tekan Silinder Plastik HDPE Berserat Staples (15 × 30) cm	84
Tabel 4.8.	Hubungan Antara V dan E Beton	86
Tabel 4.9.	Nilai Modulus Elastisitas Dinamik dan Statik Menggunakan Alat Pundit	87
Tabel 4.10.	Pengujian Kuat Tekan Adukan Mortar dengan Spesimen Berbentuk Kubus (5×5×5) cm	89
Tabel 4.11.	Data Rancang Campur Beton Ringan Aktual Pelaksanaan dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples	89
Tabel 4.12.	Data Rancang Campur Beton Ringan Aktual Pelaksanaan dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE	89
Tabel 4.13.	Nilai Berat Isi Beton Segar dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples	91
Tabel 4.14.	Nilai Berat Isi Beton Segar dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE	92
Tabel 4.15.	Berat Isi Kering Beton Ringan Bentuk Silinder Ukuran (15×30) cm Umur 7 Hari	93
Tabel 4.16.	Berat Isi Kering Beton Ringan Bentuk Silinder Ukuran (15×30) cm Umur 14 Hari	93
Tabel 4.17.	Berat Isi Kering Beton Ringan Bentuk Silinder Ukuran (15×30) cm Umur 28 Hari	94
Tabel 4.18.	Nilai Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari	95
Tabel 4.19.	Nilai Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari	95
Tabel 4.20.	Nilai Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari	96
Tabel 4.21.	Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari	99
Tabel 4.22.	Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari	100
Tabel 4.23.	Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari	100
Tabel 4.24.	Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Berdasarkan Berat Isi.	102
Tabel 4.25.	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Beton.....	106

LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran A.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	A-1 – A-8
Lampiran B.	Hasil Pengujian Agregat Halus	B-1 – B-5
Lampiran C.	Rancang Campur Beton Ringan dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Staples Berdasarkan Metode SNI 03-3449-2002	C-1 – C-6
Lampiran D.	Hasil Pengujian Beton Ringan	D-1 – D-10
Lampiran E.	Revisi Hasil Pengujian Beton Ringan	E-1 – D-5



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi konstruksi dari tahun ketahun mengalami perkembangan yang cukup pesat. Sejumlah penelitian terus dikembangkan untuk menghasilkan teknologi konstruksi yang memadai dari sisi kualitas sekaligus dapat lebih memudahkan dalam pengerjaannya. Demikian pula dengan bahan-bahan pendukung maupun bahan tambahan untuk kepentingan dunia konstruksi itu terus dikembangkan.

Penggunaan polimer dalam kehidupan sehari-hari tidak dapat dihindari karena hampir semua peralatan rumah tangga, produk elektronik, kemasan produk-produk (makanan, minuman, kosmetik, kimia), industri otomatis, transportasi, industri konstruksi dan masih banyak lagi aplikasi yang menggunakan polimer, sehingga kita tidak menyadari bahaya polimer serta komponen-komponen kimia yang terkandung di dalamnya. Walaupun demikian penggunaan polimer dalam kemasan makanan sebenarnya cukup aman asal memperhatikan jenis-jenisnya dan cara-cara penggunaannya. Polimer yang dikenal sebagai plastik berasal dari produk samping proses *cracking* minyak bumi yang setelah melalui proses polimerisasi menghasilkan polimer, biasanya berbentuk bubuk putih. Setelah proses lebih lanjut akan dihasilkan produk jadi plastik.

Dilihat dari sifatnya, plastik dibagi menjadi *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* mempunyai sifat jika dipanaskan akan menjadi plastis dan jika terus dipanaskan sampai suhu lebih dari 200° C bisa mencair. Bila temperatur kemudian diturunkan (didinginkan) material plastik akan mengeras dan dapat dibentuk kembali. Sedangkan *thermosetting* setelah diproses menjadi produk tidak dapat kembali seperti bentuk semula.

Jenis-jenis plastik berdasarkan monomernya, antara lain seperti PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), PS (*Polystyrene*) dan PC (*Polycarbonat*). Untuk memudahkan proses daur

ulang plastik dan memudahkan masyarakat mengenali jenis plastik, yaitu dengan memperhatikan kode nomor yang tertulis di tengah-tengah lambang segitiga daur ulang. Pengkodean yang ada, antara lain :

Kode 1 adalah PET. Jenis plastik ini biasanya digunakan untuk botol minuman, minyak goreng, kecap, sambal, obat dan kosmetik;

Kode 2 adalah HDPE. Jenis plastik ini biasanya digunakan untuk botol shampo, botol detergen, botol kosmetik, botol bedak, obat, minuman, tutup plastik, cairan kimia botol pelumas kendaraan bermotor, kantong pupuk, kantong makanan, pipa gas, pipa air dan lain-lain;

Kode 3 adalah PVC. Jenis plastik ini biasanya digunakan untuk cling film, *tray* transparan, selang, pipa bangunan, taplak meja plastik, *cover* kursi, botol kecap, dan botol sambal;

Kode 5 adalah LDPE. Jenis plastik ini biasanya digunakan untuk kantong/tas kresek, plastik tipis lainnya;

Kode 6 adalah PS. Jenis plastik ini biasanya digunakan untuk *stryrene foam*, sendok, garpu, *CD case*, gelas minuman pesawat terbang;

Kode 7 adalah lain-lain. Jenis plastik ini contohnya PC (*Polycarbonate*) untuk botol galon air minum, botol susu bayi, melamin untuk gelas, piring mangkok alat makan.

Berkembangnya penggunaan plastik yang semakin tinggi menghasilkan limbah yang dapat merugikan jika tidak ditangani secara benar. Hal ini terjadi karena banyak produk plastik yang digunakan belum ramah lingkungan dalam artian sulit untuk terurai atau terdegradasi.

Salah satu bahan perlengkapan makanan dan minuman yang sering digunakan adalah melamin yang tergolong jenis plastik *thermosetting* yang tergolong dalam "*food grade*" dan dapat digunakan sampai 140° C. Saat ini beredar perlengkapan makanan melamin palsu yang terbuat dari bahan urea *formaldehyde*. Melamin jenis plastik ini mengandung formalin kadar tinggi yang tidak tahan panas dan dapat mengeluarkan formalin yang dapat mengkontaminasi makanan.

Agar plastik aman digunakan, penting mengetahui sifat plastik bila dipanaskan terutama *thermoplastic*. Hampir di semua negara pemakai

material plastik untuk kebutuhan manusia mengacu pada standar, seperti di Indonesia standar yang digunakan adalah SNI (Standar Nasional Indonesia). Beberapa produk plastik yang sudah memiliki SNI yaitu PVC, botol untuk air dalam kemasan dan tahun ini akan keluar SNI untuk melamin dan *polystyrene*.

Polimer adalah molekul besar (*makromolekul*) yang tersusun dari satuan kimia sederhana yang disebut *monomer*. Sifat-sifat polimer tergantung pada struktur geometri dari polimer itu sendiri. Contoh polimer antara lain polimer dengan rantai kimia linier atau disebut polimer linier dan polimer dengan rantai kimia bercabang atau disebut polimer bercabang. Polimer linier ini memiliki sifat fisik (*makrostruktur*) yang cukup teratur sehingga dapat bersifat kristal (mengalami kristalisasi) atau mengeras bila dipanaskan.

Dilihat dari sifat polimer *thermoplastic* yang dapat mengkristal atau mengeras bila dipanaskan maka dalam penelitian ini akan dicoba mengkaji penggunaan polimer *thermoplastic* tersebut untuk dijadikan bahan utama pembuatan agregat kasar. Polimer *thermoplastic* yang digunakan adalah limbah botol plastik jenis HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli, kemudian dilakukan pengkajian penggunaannya sebagai bahan baku pembuatan agregat kasar ringan.

Saat ini kebutuhan akan kemasan produk kosmetik sangat tinggi sejalan dengan kemajuan teknologi. Kebutuhan akan botol plastik untuk kemasan produk shampo, bedak, sabun cair dan lain-lain sangat tinggi. Botol plastik ini merupakan polimer dari jenis *polyethylene* yaitu *high density polyethylene* atau HDPE (pada botol plastik dengan simbol daur ulang 2). HDPE (*high density polyethylene*) mempunyai berat jenis yang jauh lebih ringan bila dibandingkan dengan agregat kasar normal.

Berdasarkan perbandingan berat jenisnya, penulis mengklasifikasikan agregat kasar yang dihasilkan dari pengolahan daur ulang limbah botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dengan campuran 1% serat metal aloy (staples) adalah agregat kasar ringan. Setelah dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*),

agregat kasar ringan tersebut digunakan sebagai bahan baku utama beton ringan.

1.2. Hipotesis

Penggunaan agregat kasar ringan hasil dari daur ulang limbah plastik HDPE warna putih tanpa botol oli dengan campuran serat metal staples dalam beton ringan yang diharapkan dapat menggantikan agregat kasar alami. Berdasarkan sifat fisik pada agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples diharapkan dapat menghasilkan beton ringan. Tekstur permukaan agregat kasar ringan yang licin dapat mengakibatkan berkurangnya ikatan antara mortar dengan agregat tersebut, sehingga kuat tekan yang direncanakan akan sulit tercapai.

1.3. Perumusan Masalah

Peneliti berkeinginan untuk mengetahui pengaruh dari agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal terhadap beton ringan yang dihasilkan, dengan identifikasi sebagai berikut :

- a. Apakah penggunaan limbah botol plastik tipe HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dan serat metal alloy (staples) sebagai bahan baku utama dapat memenuhi persyaratan mutu pada pembuatan agregat kasar ringan.
- b. Apakah pengaruh agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal untuk bahan campuran beton ringan terhadap sifat fisik dan mekanis beton ringan yang dihasilkan, baik dari segi keuntungan maupun kerugiannya.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dengan campuran serat metal staples (1% dari berat botol plastik yang akan dibakar) seperti berat jenis, penyerapan air, berat isi, kuat tekan dan lainnya. Kemudian agregat kasar

ringan tersebut digunakan sebagai bahan baku campuran beton ringan. Selain itu, untuk mengetahui pengaruh agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal terhadap sifat fisik beton segar yaitu berat isi dan slump. Dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian tentang sifat-sifat mekanis beton ringan yang akan dihasilkan seperti kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas.

Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh kuat tekan, kuat tarik belah dan nilai modulus elastisitas dari beton ringan yang menggunakan agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dengan campuran serat metal staples (1% dari berat botol plastik yang akan dibakar). Kemudian menyimpulkan apakah limbah ini efektif digunakan sebagai bahan baku pembuatan agregat kasar ringan dan sebagai pengganti agregat kasar alami untuk membentuk beton ringan struktural.

1.5. Batasan Masalah

Lingkup penelitian ini terbatas pada karakteristik material pembentuk beton ringan yaitu agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal dan beton ringan itu sendiri terutama sifat-sifat mekanisnya. Selain itu temperatur pembakaran agregat tidak ditentukan dan tidak semua jenis produk botol plastik dipakai, hanya botol plastik jenis HDPE (*high density polyethylene*) berwarna putih tanpa botol oli. Kadar serat metal alloy (staples) yang dimasukkan ke dalam lelehan plastik HDPE yaitu 1% dari berat botol plastik yang akan dibakar.

Penelitian terhadap material pembentuk beton lebih dikhususkan pada agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) dengan campuran serat metal alloy (staples) yang mengacu pada standar ASTM C.330-00, "*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*". Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar ringan ini, diantaranya :

- ◆ Pengujian berat jenis dan penyerapan air.
- ◆ Pengujian berat isi dan rongga udara antar butir agregat.

- ◆ Pengujian analisa ayakan.
- ◆ Pengujian keausan (abrasion) menggunakan mesin *Los Angeles*.
- ◆ Pengujian mekanik yaitu kuat tekan agregat.

Pengujian juga dilakukan pada agregat halus, diantaranya :

- Pengujian berat jenis dan penyerapan air.
- Pengujian berat isi dan rongga udara antar butir agregat.
- Pengujian analisa ayakan.
- Pengujian lolos ayakan no.200.
- Pengujian kotoran organik.

Pengujian beton segar dengan agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal dibatasi pada pengujian berat isi dan pengujian slump. Pengujian beton kering yang menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal, antara lain :

1. Pengujian berat isi kering udara.
2. Pengujian kuat tekan.
3. Pengujian kuat tarik belah.
4. Pengujian modulus elastisitas dan angka poisson.

1.6. Metodologi Penelitian

Metode penelitian merupakan tata cara pelaksanaan penelitian yang didasari hipotesis yang dibuat dengan menggunakan benda uji sebagai acuan kesesuaian antara hipotesis dengan tujuan yang dibuat.

Tahap awal dari penulisan ini adalah dengan penelusuran literatur untuk memahami karakteristik plastik terutama HDPE (*high density polyethylene*), karakteristik agregat kasar ringan beserta klasifikasinya, karakteristik beton ringan beserta klasifikasinya, metode rancang campur (*mix design*) yang tepat digunakan dalam rancang campur beton ringan.

Metode penelitian yang dipakai adalah jenis metode eksperimental di laboratorium yaitu dilakukan proses pembuatan agregat kasar ringan dari daur ulang limbah plastik botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dengan campuran serat metal staples (1% dari berat botol plastik yang akan dibakar). Selanjutnya pengujian terhadap

agregat kasar ringan HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal, melakukan perhitungan rancang campur beton untuk mendapatkan proporsi yang tepat dengan menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal, pengujian terhadap beton ringan yang dihasilkan baik beton segar (*fresh concrete*) dan beton keras (*hardened concrete*).

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini mencakup :

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang, hipotesis, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas.

BAB II DASAR TEORI

Menjelaskan tentang tinjauan pustaka, karakteristik beton, mortar, agregat, semen, air, HDPE (*high density polyethylene*), agregat kasar ringan HDPE, dan serat metal aloy (staples).

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang proses pembuatan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal, pengujian agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal, pengujian agregat halus, proses pembuatan beton dengan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal, dan pengujian beton.

BAB IV ANALISIS DATA

Menguraikan tentang data analisis pengujian agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal, pengujian agregat halus, pengujian kuat tekan mortar, dan pengujian beton ringan yaitu slump, berat isi beton segar, kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Bertambahnya penggunaan beton sebagai material perkuatan struktur dan berkembangnya teknologi beton yang selalu dinamis, didorong oleh perkembangan dunia dalam bidang konstruksi di Indonesia. Manusia berusaha untuk memanfaatkan seluruh potensi yang dimiliki oleh alam untuk kepentingan dunia konstruksi tersebut. Dengan kemajuan teknologi saat ini, sejumlah limbah industri dicoba dijadikan bahan campuran material bangunan. Limbah ini telah melalui banyak proses agar menjadi limbah yang ramah lingkungan dan aman terhadap kesehatan.

Limbah ini dikembangkan untuk mengurangi dampak negatif dari bahan tersebut terhadap lingkungan. Itu terjadi akibat makin berkembangnya kegiatan industri dan aktivitas lainnya yang menghasilkan limbah ini. Secara umum, limbah adalah bahan buangan dari suatu proses kegiatan dalam jumlah tertentu dan jika tidak ditangani secara baik akan menimbulkan gangguan lingkungan.

Pada penelitian ini membahas tentang memanfaatkan limbah botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dengan campuran serat metal staples sebagai bahan baku utama pembuatan agregat kasar ringan.

2.2. Beton

2.2.1. Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat [SNI 03-2847-2002][20]. Selain itu, beton juga dapat didefinisikan sebagai material atau bahan dasar yang diperlukan untuk berbagai jenis pekerjaan konstruksi yang merupakan gabungan agregat kasar dengan agregat halus yang ditambah air dan semen sebagai bahan pengikat atau pengisi rongga antar agregat, ditambahkan bahan tambah jika diperlukan.

2.2.2. Jenis-jenis Beton

Secara langsung agregat yang digunakan berpengaruh terhadap volume beton yang dihasilkan. Beton terdiri dari beberapa jenis, yaitu :

a. Beton Berat

Beton berat adalah beton yang mempunyai berat isi lebih dari 2500 kg/m³. Beton ini adalah hasil campuran agregat yang mempunyai berat jenis lebih besar dari 2,9 kg/m³. Agregat yang mempunyai berat jenis besar antara lain barium sulfat yang mempunyai berat jenis 4,1 kg/m³ atau agregat alam dengan bahan lainnya seperti biji besi, magnetite, limonite, hematite, ilmenite (FeTiO₃) dan goethite.

b. Beton Normal

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat satuan 2200 kg/m³ – 2500 kg/m³ atau 2,2 ton/m³ – 2,5 ton/m³ dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah [SNI 03-2847-2002][20]. Agregat alam yang dipakai berupa agregat halus yaitu pasir dan agregat kasarnya yaitu kerikil, keduanya merupakan hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dengan ukuran butir antara 5 – 40 mm. Berat jenis rata-rata agregat alam yang dipakai adalah 2,4 kg/m³ – 2,9 kg/m³.

c. Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m³ [SNI 03-2847-2002][20]. Berat jenis agregat yang digunakan untuk beton ringan biasanya lebih kecil dari 2,4 kg/m³. Agregat ringan pada beton ringan dapat diperoleh dari bahan dasar alami (agregat ringan alami) maupun buatan (agregat ringan buatan).

Menurut cara pembuatan beton, beton ringan ada 3 jenis, yaitu :

1. *Beton Ringan Agregat*

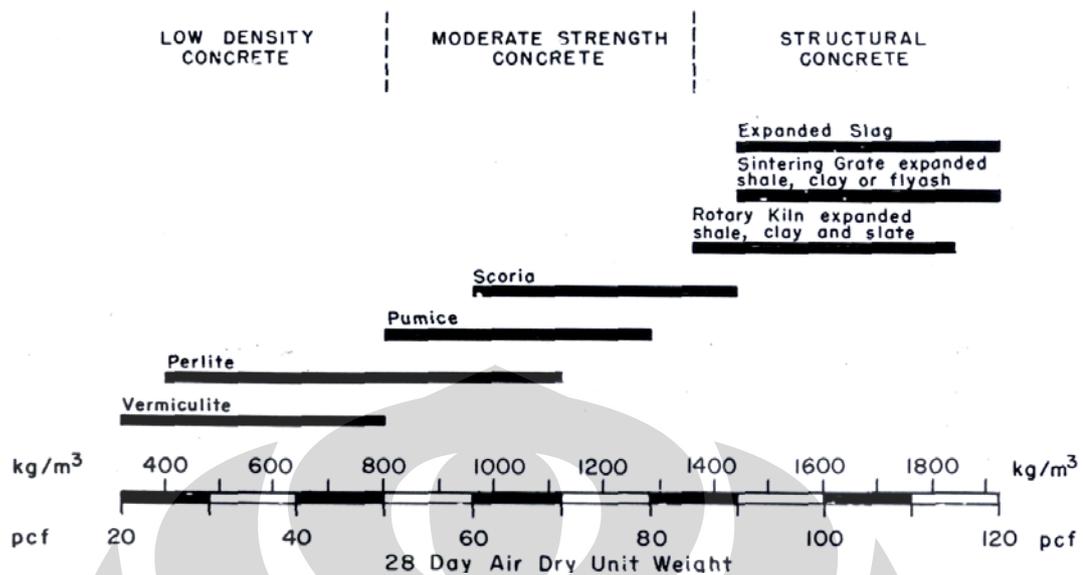
Beton ringan agregat adalah beton ringan yang dibuat dengan memakai agregat ringan yang bersifat berpori dan mempunyai berat jenis yang rendah. Sifat beton ringan agregat sangat dipengaruhi oleh gradasi

agregat, kadar semen, faktor air semen dan tingkat pematatannya. Beton ringan agregat mempunyai sifat-sifat seperti :

- ♦ Mempunyai berat isi yang rendah serta isolasi panas yang tinggi.
- ♦ Perbandingan kuat tarik dan kuat tekan yang jauh, kecuali yang bermutu tinggi tidak begitu jauh dibandingkan dengan beton normal.
- ♦ Modulus elastisitas sekitar $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ nya dibandingkan beton normal pada kuat tekan yang sama.
- ♦ Koefisien daya serap bunyi 2 kali lebih baik dibandingkan beton normal.

Ketahanan beton ringan agregat terhadap api, lebih tinggi dibandingkan beton normal. Agregat ringan adalah agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat isi sebesar 1100 kg/m^3 atau kurang. Karakteristik dan sifat-sifat yang mendasar dari agregat ringan adalah mempunyai porositas yang tinggi dan berat jenis yang rendah sehingga dari hasil penggunaan agregat ringan tersebut dihasilkan beton ringan agregat. Agregat ringan yang umum digunakan pada beton ringan agregat [Mulyono, Tri, *Teknologi Beton*, 2004][7] adalah sebagai berikut: *perlite*, *vermiculite*, *pumice*, *expanded clay*, *shale*, *slate*, *expanded blast-furnace slag*, *clinker aggregate*, agregat abu terbang (*sintered fly-ash aggregates*) dan *herculite*.

Pada gambar 2.1, dapat dilihat klasifikasi beton ringan dengan agregat ringan berdasarkan berat isi beton ringan yang dihasilkan.



Gambar 2.1. Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Berat Isi Beton

Sumber : ACI Committee 213R-79, Manual of Concrete Practice, 1979 [1]

2. Beton Aerasi (*Aerated Concrete*)

Beton ini dibuat dengan memberikan gelembung udara ke dalam mortar sehingga campuran beton menghasilkan banyak rongga udara, dengan berat isi berkisar antara 500-1000 kg/m³. Jenis beton ringan ini biasanya digunakan untuk keperluan insulasi.

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

Beton yang dibuat tanpa agregat halus, melainkan hanya memakai agregat kasar. Dengan hanya memakai satu ukuran butiran, beton yang dihasilkan akan mempunyai berat isi 10% lebih rendah daripada berat isi beton yang memakai agregat bergradasi baik. Berat isi beton apabila memakai agregat ringan bisa mencapai 640 kg/m³ dan 1600 kg/m³ – 2000 kg/m³ bila memakai agregat normal. Kekuatan tekan *no-fines concrete* yang dihasilkan adalah 1,4 MPa – 14 MPa tergantung dari berat isinya, yang juga dipengaruhi oleh kadar semennya. Dapat dilihat pada tabel 2.1. data beton tanpa agregat halus (*no-fines concrete*).

Tabel 2.1. Data Beton Tanpa Agregat Halus

Aggregate/Cement Ratio by volume	Water/Cement ratio by mass	Berat isi beton		Kuat tekan beton umur 28 hari	
		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., Brooks, J.J., Concrete Technology, 1981 [4]

4. Sawdust Concrete

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.

ACI 213R-79 [1] menggunakan berat jenis kering udara pada 28 hari dan kepadatan untuk membuat kategori dari beton ringan [Neville, A.M., 1981][8]. Ada tiga kategori tersebut, yaitu :

1. Beton dengan kepadatan rendah (*low density concrete*)

Beton dengan kepadatan antara 300 kg/m³ sampai 800 kg/m³ (20 lb/ft³ – 50 lb/ft³).

2. Beton dengan kekuatan medium (*moderate strength concrete*)

3. Beton untuk konstruksi (*structural concrete*)

Beton ini mempunyai kepadatan antara 1350 kg/m³ sampai 1900 kg/m³ (85 lb/ft³ – 120 lb/ft³).

2.2.3. Faktor yang Mempengaruhi Mutu Beton

Untuk menjamin agar mutu beton yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang diinginkan, dianjurkan agar dilakukan pengujian terlebih dahulu pada agregat yang akan digunakan. Kemudian membuat benda uji coba beton setelah rancangan campuran dilakukan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu beton antara lain [Mulyono, Tri, *Teknologi Beton*, 2004][7]:

- a. Kualitas semen
- b. Proporsi semen terhadap campuran
- c. Faktor air semen
- d. Mutu bahan agregat
- e. Gradasi / susunan butir bahan batuan
- f. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat
- g. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
- h. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton
- i. Perawatan beton (curing), yaitu perawatan beton untuk mencapai kekuatan yang diinginkan
- j. kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos.

2.2.4. Karakteristik Beton

Karakteristik beton yang diteliti pada penelitian ini, antara lain :

- Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Beton segar merupakan campuran antara air, semen, agregat kasar dan agregat halus dan bahan tambah jika diperlukan, dalam keadaan plastis (sebelum semen mengikat) atau dapat dikatakan campuran material sebelum mengeras. Slump beton adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat [Revisi SNI 03-1972-1990][11]. Percobaan slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan. Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai slump yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain:

- (1) Jumlah air pencampur
 - (2) Kandungan semen
 - (3) Gradasi campuran pasir dan kerikil
 - (4) Bentuk butiran agregat kasar
 - (5) Butir maksimum
 - (6) Cara pemadatan dan alat pematat.
- Berat Isi Beton

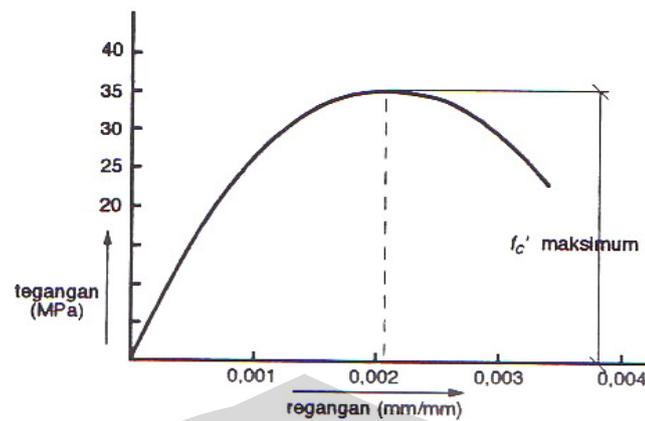
Berat isi teoritis beton adalah perbandingan antara berat total material dalam campuran (kg) dengan total volume absolute (m^3) [SNI 03-1973-200x][13]. Fungsi berat isi yaitu untuk mengoreksi susunan campuran beton jika hasil perencanaan berbeda dengan pelaksanaan. Yang membedakan berat isi dengan berat jenis adalah volumenya. Volume pada berat jenis adalah volume mutlak dari berat itu sendiri. Sedangkan pada berat isi, volumenya adalah volume dari wadah yang diisi benda tadi. Berat isi berguna untuk mengkonversikan sesuatu jumlah dalam satuan berat ke dalam satuan volume.

- Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan Beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan [SNI 03-1974-1990][145]. Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan.

Menurut Standar Nasional Indonesia, Kuat tekan beton yang disyaratkan f_c' adalah kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm). Ada 4 (empat) bagian utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton tersebut, antara lain proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode perancangan, perawatan, dan keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan terutama yang dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu terhadap benda uji sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Dengan demikian, pada gambar 2.2 dapat disimpulkan bahwa tegangan f_c' bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda uji hancur melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton (ϵ_b) mencapai nilai $\pm 0,002$.



Gambar 2.2. Tegangan Tekan Benda Uji Beton

Nilai tegangan f_c' akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai ϵ' mencapai 0,003-0,005. Beton kuat tinggi lebih getas dan akan hancur pada nilai regangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan beton kuat rendah [Dipohusodo Istimawan, *Struktur Beton Bertulang*, 1994][4].

- Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah (*splitting test*) adalah tegangan tarik yang menyebabkan keruntuhan benda uji, dalam satuan MPa [SNI 03-4812-1998][19]. Benda uji kuat tarik belah berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, kemudian ditekan sampai mencapai beban maksimum (P kN).

Kuat tarik belah dapat ditentukan dengan rumus :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi ld}$$

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

P = beban maksimum (N)

l = panjang benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)

Pada umumnya, kuat tarik belah pada beton lebih kecil dibandingkan dengan kuat tekan beton yaitu kurang lebih sekitar 10 sampai 15 % dari nilai kuat tekannya. Hal ini disebabkan oleh bahan pembentuk beton itu sendiri, yaitu semen dan batu alam. Kedua bahan

tersebut juga memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga mempengaruhi terhadap sifat kuat tarik betonnya.

- Modulus Elastisitas

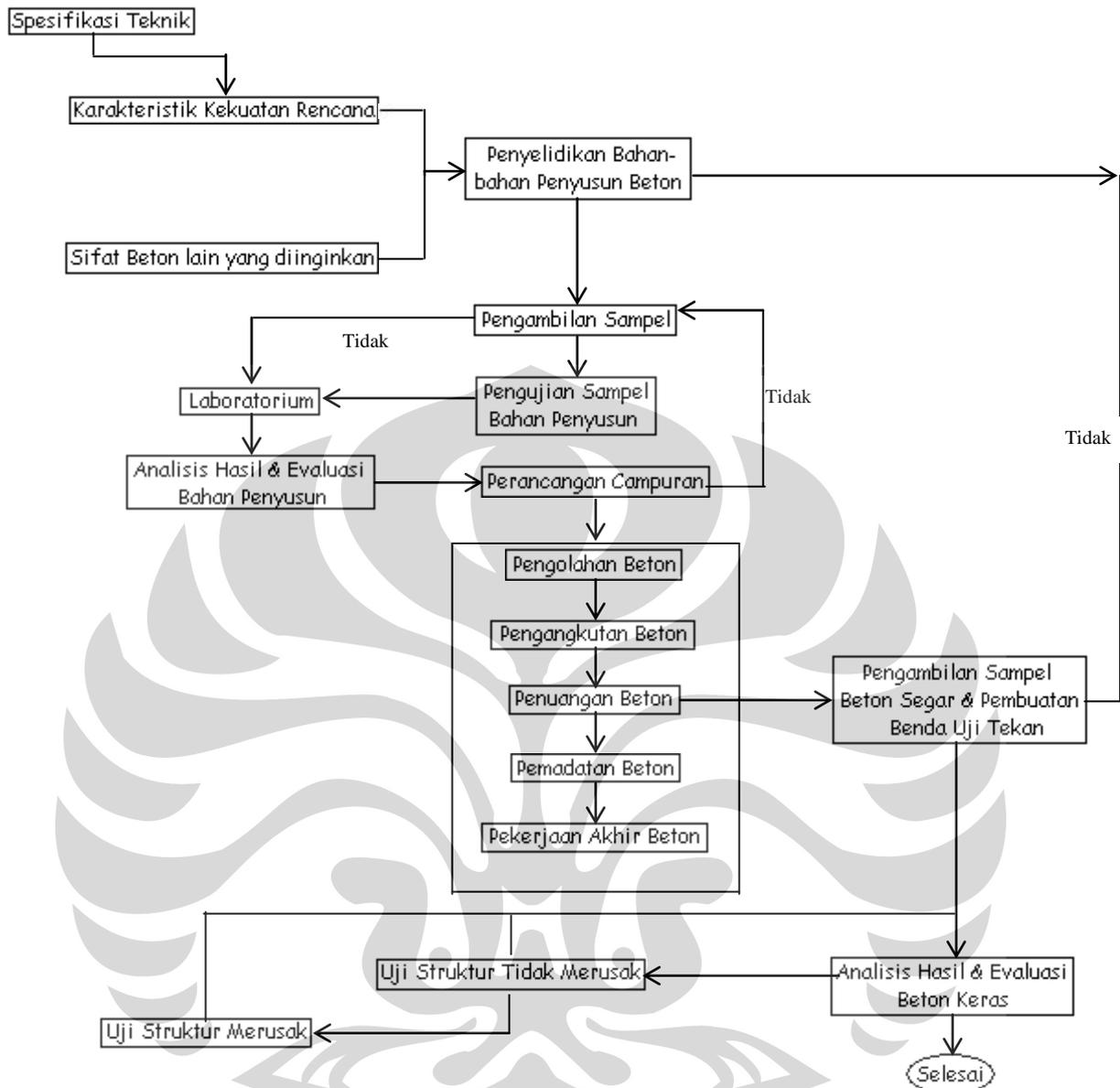
Modulus elastisitas atau *modulus young* adalah nilai tegangan terhadap regangan beton dalam kondisi elastis dimana tegangan mencapai 40% dari kuat tekan maksimum. Rasio poisson adalah perbandingan antara regangan arah melintang dan arah memanjang benda uji akibat tegangan yang diterima atau diberikan [SNI 03-4169-1996][18].

Beton adalah material yang bukan benar-benar elastis, sehingga apabila dibebani, beton akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi yang permanen. Hal ini berbeda dengan baja, dimana baja apabila dibebani tarik, pada daerah elastis panjangnya akan kembali ke semula apabila bebannya dihilangkan.

Menurut ASTM C 469 – 02, daerah elastis beton didapat pada regangan 0,00005 dan tegangan 40% dari tegangan maksimum. Untuk pengujiannya benda uji dibuat berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dibebani sampai mencapai 40% dari beban maksimum.

2.2.5. Aktivitas Pengerjaan Beton

Aktivitas dalam pembuatan beton di lapangan dijelaskan pada gambar 2.3, sebagai berikut :



Gambar 2.3. Bagan Alir Aktivitas Pengerjaan Beton
Sumber : Ir. Tri Mulyono, MT. Teknologi Beton. 2004 [7]

2.3. Mortar

Mortar merupakan bahan yang mengikat agregat kasar sehingga menghasilkan beton yang padat dan kuat. Bahan dasar mortar terdiri dari semen, air dan agregat halus. Penggunaan mortar biasanya digunakan dalam pekerjaan pasangan bata tetapi juga dapat diaplikasikan pada hal lain seperti pembuatan conblok, genteng beton atau panel-panel, beton untuk dinding dan lantai.

2.3.1. 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.

2.3.2. 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.

2.3.2.1. 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.

2.3.2.2. 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 mortar sering dipakai sebagai kriteria untuk menentukan tipe mortar yang akan dipakai, 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 pengujian kubus mortar 2 inch (50,8 mm). Sebab referensi pengujian untuk spesifikasi ini relatif lebih mudah, memberikan hasil yang biasa dipakai dengan konsisten. Kuat tekan dijadikan sebagai dasar untuk memperkirakan kompatibilitas unsur-unsur mortar. Kuat tekan mortar meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi semen dan pengurangan konsentrasi kapur, pasir, udara atau air.

2.4. Agregat

Agregat adalah material berbutir, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolis. Agregat terbagi atas agregat halus dan kasar. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm [SNI 03-2847-2002][20]. Agregat halus umumnya terdiri dari pasir atau partikel-partikel yang lewat dalam saringan # 4 atau 5 mm, sedangkan agregat kasar tidak lewat saringan tersebut.

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman dan keadaan di lapangan, komposisi agregat tersebut berkisar antara 70%-80% dari berat campuran beton [Dwisetyowati, Shinta, Skripsi UI, 2007][12].

2.4.1. Agregat Berdasarkan Berat

1. Agregat Normal

Dihasilkan dari pemecahan batuan dengan quarry atau langsung dari sumber alam. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa dan sebagainya.

2. Agregat Ringan

Agregat ringan adalah agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat isi sebesar 1100 kg/m^3 atau kurang [SNI 03-2847-2002][20]. Agregat ringan ini ada 2 (dua) jenis, yaitu agregat ringan alami dan agregat ringan buatan. Agregat ringan alami adalah agregat yang diperoleh dari bahan-bahan alami seperti batu apung, batu letusan gunung atau batuan lahar. Agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan atau memanaskan bahan-bahan, seperti terak, peleburan besi, tanah liat diatome, abu terbang, tanah serpih, batu tulis dan lempung [SNI 03-2461-2002][15].

3. Agregat Berat

Agregat alam yang biasa digunakan adalah barites (BaSO_4), limonite, goethite, magnetik (FeO_4) dan serbuk besi. Untuk mengetahui apakah suatu agregat termasuk agregat berat, ringan atau normal maka dapat diperiksa berat isinya dengan menggunakan standar ASTM C29.

2.4.2. Karakteristik agregat

a) Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan dan nilai-nilainya adalah tanpa dimensi. Berat jenis curah kering adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat termasuk rongga yang impermeabel dan permeabel di dalam butir partikel, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama.

Berat jenis agregat ada 2 (dua) macam, yaitu : berat jenis SSD dan berat jenis semu. Berat jenis jenuh kering permukaan atau *Saturated Surface Drying* (SSD) ialah perbandingan antara berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi

agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Pengertian berat jenis curah (jenuh kering permukaan) yang lain adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat termasuk berat air yang terdapat di dalam rongga akibat perendaman selama (24 ± 4) jam, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel pada suatu temperatur terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama.

Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Berat jenis semu (apparent) menurut SNI 03-1969-1990 [10] yaitu perbandingan antara berat dari satuan volume suatu bagian agregat yang impermeabel pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama.

Dalam pelaksanaannya, berat jenis curah adalah suatu sifat yang pada umumnya digunakan dalam menghitung volume agregat dalam berbagai campuran yang mengandung agregat termasuk beton semen, beton aspal dan campuran lain yang diproporsikan atau dianalisis berdasarkan volume absolut. Berat jenis curah yang ditentukan dari kondisi jenuh kering permukaan digunakan apabila agregat dalam keadaan basah, yaitu pada kondisi penyerapannya telah terpenuhi. Sedangkan berat jenis curah yang ditentukan dari kondisi kering oven digunakan untuk menghitung ketika agregat dalam keadaan kering atau diasumsikan kering.

Agregat ringan mempunyai struktur yang bersifat seluler sehingga berat jenisnya lebih rendah daripada agregat normal. Berat jenis agregat kasar ringan berkisar antara $1/3 - 2/3$ dari berat jenis agregat normal.

b) Bentuk Partikel dan Permukaan Agregat

Agregat dari sumber yang berbeda akan mempunyai bentuk partikel dan tekstur permukaan yang bervariasi. Bentuk dan tekstur permukaan ini akan mempengaruhi proporsi campuran beton, seperti

workabilitas, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen, serta keperluan air.

Agregat alam maupun batu pecah dapat mempunyai berbagai bentuk butiran. Secara alamiah bentuk agregat dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Jika dikonsolidasikan, butiran yang bulat akan menghasilkan campuran beton yang baik jika dibandingkan dengan butiran yang pipih. Penggunaan pasta semennya pun akan lebih ekonomis. Bentuk-bentuk agregat ini lebih banyak berpengaruh terhadap sifat pengerjaan pada beton segar (*fresh concrete*).

Ditinjau dari bentuknya, agregat dapat digolongkan dalam bentuk-bentuk sebagai berikut :

Tabel 2.2. Klasifikasi Bentuk Butiran Agregat

Klasifikasi	Uraian
Bulat	Bentuk bulat akibat gesekan atau pengausan air
Bentuk tidak Beraturan	Disebabkan oleh alam, akibat gesekan, bentuk sisinya bulat
Bersudut	Sisinya jelas terbentuk pada perpotongan bidang datar yang pemukaannya halus
Pipih	Tebal bahan kecil dibandingkan dengan kedua dimensi lainnya
Memanjang	Bersudut panjang bahan jauh lebih besar dibandingkan dengan kedua sisinya
Pipih dan Memanjang	Panjang bahan jenuh lebih besar dari lebarnya dan lebar jauh lebih besar dibandingkan tebalnya.

c) Berat Isi (*Unit Weight*) Agregat

Berat isi adalah perbandingan antara berat agregat kering (kg) dengan satuan volume (m^3) pada keadaan jenuh. Berat isi agregat ringan juga lebih rendah dari agregat normal. Untuk gradasi dan bentuk agregat yang sama, berat isi agregat berbanding lurus dengan berat jenisnya. Tetapi agregat dengan berat jenis yang sama mungkin akan mempunyai berat isi yang berbeda karena perbedaan persentase rongga dari agregat ringan yang berbeda jenisnya.

d) Penyerapan Air Agregat

Penyerapan air adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dari dalam keadaan kering mutlak (kering oven) sampai menjadi jenuh kering permukaan (SSD) dibandingkan dengan keadaan kering oven. Definisi penyerapan air menurut SNI 03-1969-1990 [10] adalah penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel dan dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya.

Daya absorpsi agregat ringan jauh lebih tinggi dari agregat normal karena sifatnya yang berpori. Berdasarkan pengujian absorpsi selama 24 jam, agregat ringan mampu menyerap 5%-20% berat agregat ringan kering sedangkan agregat normal hanya menyerap 2% berat. Kandungan air pada agregat ringan sebagian besar terserap pada struktur dalam agregat, sedangkan pada agregat normal kandungan air terdapat pada permukaan agregat. Kecepatan absorpsi masing-masing agregat berbeda-beda tergantung dari keadaan kandungan air agregat tersebut.

Angka penyerapan digunakan untuk menghitung perubahan berat dari suatu agregat akibat air yang menyerap ke dalam pori di antara partikel utama dibandingkan saat kondisi kering. Ketika agregat tersebut dianggap telah cukup lama kontak dengan air sehingga air telah menyerap ke dalam agregat kasar [SNI 03-1969-1990][10].

e) Ukuran Agregat Ringan

Ukuran maksimum agregat ringan umumnya adalah 3/4 inci (19 mm), 1/2 inci (13 mm), atau 3/8 inci (10 mm). Ukuran maksimum agregat ringan ini berpengaruh pada *workability*, rasio pasir terhadap agregat, kadar semen, kandungan udara optimum, tingkat kekuatan dan susut. Kekuatan beton menjadi meningkat dengan memakai butiran agregat yang lebih kecil. Apabila faktor-faktor tersebut dibandingkan terhadap beton ringan dan beton normal, maka perbandingan harus dilakukan dengan memakai agregat dengan ukuran maksimum yang sama. Pada tabel 2.3. dapat dilihat gradasi agregat ringan menurut ASTM C.330-04.

Tabel 2.3. Gradasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural

Ukuran (mm)	Prosentase (berat) Lolos Ayakan Berukuran Lubang Persegi								
	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 μ m	150 μ m
Agregat Halus									
(4,75 mm - 0)	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat Kasar									
(25,0 mm - 4,75)	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0 mm - 4,75mm)	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5 mm - 4,75 mm)	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5 mm - 2,36 mm)	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi Agregat Halus dan Kasar									
(12,5 mm - 0)	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9,5 mm - 0)	-	-	100	90-100	68-90	35-65	-	10-25	5-15

f) 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, tetapi kekuatan beton yang sering tidak memenuhi syarat adalah beton dengan memakai agregat ringan.

2.5. Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung / tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk / *bulk* tanpa memandang proses pembuatannya yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Semen merupakan bahan pengikat hidrolis, artinya dapat mengikat atau mengeras setelah bereaksi dengan air. Sebagai bahan pengikat (setelah dicampur dengan air), semen mempunyai proses pengerasan yang relatif cepat bila dibandingkan dengan

bahan pengikat lainnya, serta memiliki daya ikat yang tinggi. Di samping itu, faktor penyusutannya relatif rendah dibandingkan dengan kapur / tras. Dari semua bahan perekat hidrolis, semen inilah yang paling banyak dipakai karena memiliki kualitas lebih baik dibandingkan dengan kapur atau *gips*.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Keburukan semen dalam adukan adalah sukar pengerjaannya (*workability* rendah) dan tidak dapat mengikat atau menahan air yang berada dalam adukannya, akibat penghisapan dari batu bata akibat penguapan.

Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO₂) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃ dan Al₂O₃) sekitar 7%-12%.

2.6. Air

Air merupakan perantara proses pengikatan dan pengerasan semen. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya bleeding, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya.

Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak mempunyai rasa atau bau yang mencolok memenuhi syarat sebagai air campuran untuk pembuatan beton. Apabila ketidakmurnian dalam air campuran berlebihan, dapat mempengaruhi tidak hanya waktu pengikatan (*setting time*), kuat beton, dan stabilitas volume (perubahan panjang), tetapi dapat juga mengakibatkan pengefloran (*efflorescence*) atau korosi tulangan. Air yang dipergunakan untuk pembuatan beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton dan atau baja tulangan [SNI 03-2847-2002][20].

Air yang dipergunakan untuk membuat beton pratekan dan beton yang di dalamnya akan tertanam logam alumunium, serta beton bertulang tidak boleh mengandung sejumlah ion klorida. Jangan pakai air asin / air laut / payau. Garam atau substansi berbahaya lainnya yang dibawa agregat atau bahan campuran merupakan tambahan pada jumlah yang mungkin sudah terkandung dalam air campuran. Jumlah tambahan ini harus diperhitungkan dalam mengevaluasi penerimaan ketidakmurnian total yang bisa berbahaya terhadap beton atau baja. Pengujian sederhana yang dilakukan ialah dengan melihat air yang jernih dan tidak terasa pada lidah, serta tidak berbau tajam.

2.7. *High Density Polyethylene (HDPE)*

Plastik adalah salah satu bentuk polimer yang sangat berguna dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa plastik memiliki sifat-sifat khusus, antara lain lebih mudah larut pada pelarut yang sesuai, pada suhu tinggi akan lunak, tetapi akan mengeras kembali jika didinginkan dan struktur molekulnya linier atau bercabang tanpa ikatan silang antar rantai. Proses melunak dan mengeras ini dapat terjadi berulang kali. Sifat ini dijelaskan sebagai sifat *thermoplastic*.

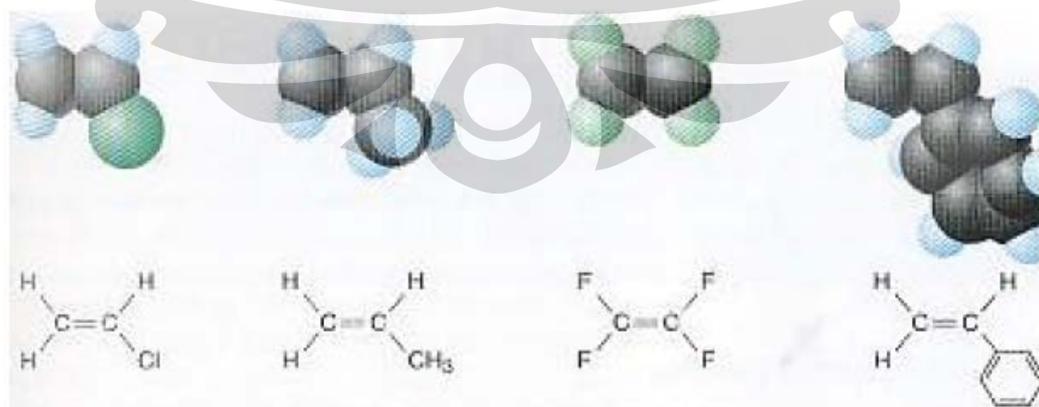
Bahan-bahan yang bersifat *thermoplastic* mudah untuk diolah kembali karena setiap kali dipanaskan, bahan-bahan tersebut dapat dituangkan ke dalam cetakan yang berbeda untuk membuat produk plastik yang baru. *Polietilene (PE)* dan *polivinilklorida (PVC)* merupakan contoh jenis polimer ini. Sedangkan beberapa plastik lainnya mempunyai sifat-sifat tidak dapat larut dalam pelarut apapun, tidak meleleh jika dipanaskan, lebih tahan terhadap asam dan basa, jika dipanaskan akan rusak dan tidak dapat kembali seperti semula dan struktur molekulnya mempunyai ikatan silang antar rantai. Polimer seperti ini disusun secara permanen dalam bentuk pertama kali mereka dicetak, disebut polimer *thermosetting*.

Plastik-plastik *thermosetting* biasanya bersifat keras karena mereka mempunyai ikatan-ikatan silang. Plastik *thermoset* menjadi lebih keras ketika dipanaskan karena panas itu menyebabkan ikatan-ikatan silang

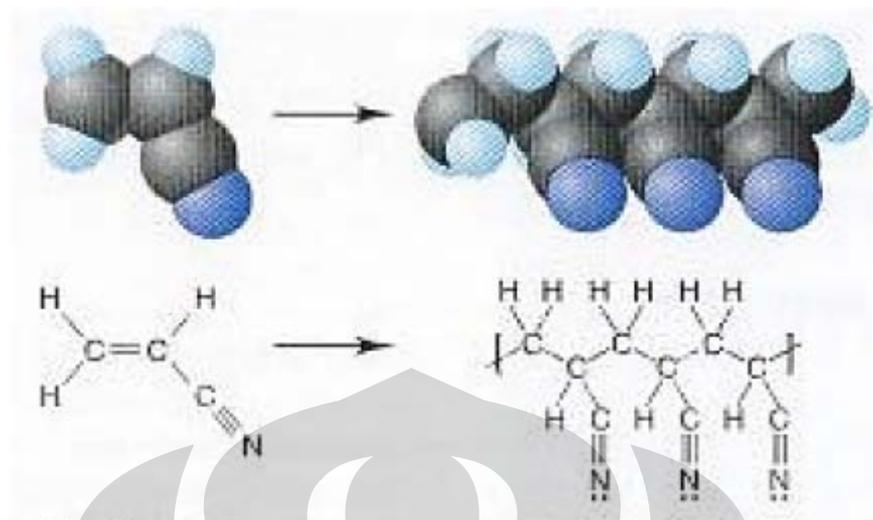
lebih mudah terbentuk. Bakelit, poli (melanin formaldehida) dan poli (urea formaldehida) adalah contoh polimer ini. Sekalipun polimer-polimer termoseting lebih sulit untuk dipakai ulang daripada *thermoplastic*, Namun polimer tersebut lebih tahan lama. Polimer ini banyak digunakan untuk membuat alat-alat rumah tangga yang tahan panas seperti cangkir.

Tata nama polimer biasanya berdasarkan pada tipe monomer yang menyusun polimer. Polimer yang terdiri dari hanya satu jenis monomer disebut homopolimer, contohnya yaitu *Poly(styrene)* yang terdiri dari monomer-monomer *styrene*. Sedangkan polimer yang terdiri dari campuran beberapa monomer disebut kopolimer, contohnya yaitu *Ethylene Vinil Asetat* yang terdiri atas lebih dari satu macam monomer. Molekul polimer yang mengandung sub-unit yang dapat diionisasi disebut sebagai *polyelectrolyte*. *Polyelectrolyte* yang mengandung sub-unit yang fraksi ionisasinya rendah disebut ionomer.

Polyethylene merupakan bahan *thermoplastic* yang diproduksi melalui polimerisasi *ethylene* (C_2H_4) dengan variabel proses seperti energi panas, tekanan dan katalis. Jenis kopolimer *polyethylene* diproduksi melalui polimerisasi *ethylene* dan sedikit penambahan *monomer* lain, *monomer* yang dipakai adalah dari tipe *vinyl monomers*. Tidak seperti senyawa organik *monomer* pada umumnya, *polyethylene* tidak dihasilkan dari molekul – molekul yang sama. *Polyethylene* dihasilkan dari berat molekul yang tidak sama dengan panjang molekul yang bervariasi.



Gambar 2.4. Beberapa Contoh Monomer
(dari kiri ke kanan: vinil klorida, propena, tetra-fluoroetilena, dan stirena)



Gambar 2.5. Monomer akrilonitril

Monomer akrilonitril membentuk polimer poliakrilonitril (PAN), yang dikenal dengan nama orlon, dan digunakan sebagai karpet dan pakaian “rajutan”. Ikatan rangkap pada karbon dalam monomer berubah menjadi ikatan tunggal, dan berikatan dengan atom karbon lain membentuk polimer.

Pada umumnya komposisi polimer yang ada, berdasarkan dari tipe *vinyl monomers* dengan komposisi, yaitu :



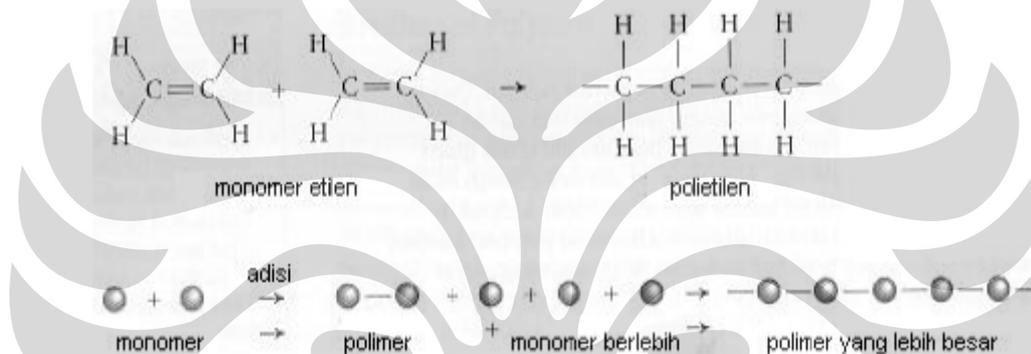
R_1 dan R_2 adalah kelompok bagian yang akan diganti dengan *monomer* lain. Perkiraan nama dari polimer yang terbentuk berdasarkan kesatuan *monomer* utamanya. Beberapa dari nama polimer ini sudah umum kita dengar karena mereka mempresentasikan polimer tersebut dengan bahan yang secara luas telah digunakan. Dalam tabel 2.4 diberikan contoh polimer yang umum digunakan.

Tabel 2.4. 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 : Jurnal HDPE

Perhatikan gambar 2.6 yang menunjukkan bahwa monomer *ethylene* mengandung ikatan rangkap dua, sedangkan di dalam *polyethylene* tidak terdapat ikatan rangkap dua.

Gambar 2.6. Monomer *ethylene*

Monomer *ethylene* mengalami reaksi adisi membentuk polietilena yang digunakan sebagai tas plastik, pembungkus makanan, dan botol. Pasangan elektron ekstra dari ikatan rangkap dua pada tiap monomer etilena digunakan untuk membentuk suatu ikatan baru menjadi monomer yang lain.

Ada beberapa jenis *polyethylene* dengan perbedaan sifat dan variabel yang membedakan sifat *polyethylene*, diantaranya :

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

Pada umumnya, *polyethylene* dikarakterisasi berdasarkan densitas dan berat molekulnya. Dimana densitas *polyethylene* berkaitan dengan cabang ikatan panjang atau pendek. Berdasarkan densitasnya, *polyethylene* dapat diklasifikasikan seperti dibawah ini :

Tabel 2.5. Klasifikasi *Polyethylene*

Klasifikasi	UHMWPE	HDPE	MDPE	LDPE	VLDPE
Densitas (gr/cm ³)	> 0,965	0,941 - 0,965	0,926-0,940	0,910-0,925	< 0,910

Keterangan :

HDPE (*high-density polyethylene*)

MDPE (*medium-density polyethylene*)

LDPE (*low-density polyethylene*)

VLDPE (*very low-density polyethylene*)

UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*)

Densitas *polyethylene* ditentukan dengan jumlah cabang dari ikatan molekul. Bentuk paling sederhana dari molekul polimer adalah rantai lurus atau disebut juga sebagai polimer linear yang terdiri dari satu rantai utama. Fleksibilitas dari rantai polimer yang tidak bercabang di pengaruhi oleh *persistence length*, yaitu sifat dasar mekanis yang mengukur kekakuan dari polimer panjang. Molekul polimer bercabang disusun dari rantai utama dengan satu atau lebih cabang. Beberapa tipe khusus dari polimer bercabang adalah *star polymers*, *comb polymers*, dan *brush polymers*. Jika polimer mengandung rantai cabang yang komposisinya berbeda dengan rantai utama maka itu disebut *grafted polymer*. *Cross-link* menunjukkan dimana titik percabangan dimulai.

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 dengan spesifikasi seperti tabel dibawah ini :

Tabel 2.6. Struktur HDPE, LDPE dan L-LDPE

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

Sumber : Jurnal HDPE [5]

Keterangan :

SCB : *Short Chain Branching*

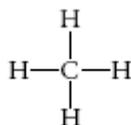
LCB : *Low Chain Branching*

L-LDPE : *Linear Low Density Polyethylene*

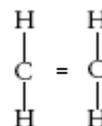
HDPE merupakan bahan termoplastik yang diproduksi melalui polimerisasi ethylene (C_2H_4) dengan variabel proses seperti energi panas, tekanan, dan katalis.

2.7.1. Molekul HDPE (*High Density Polyethylene*)

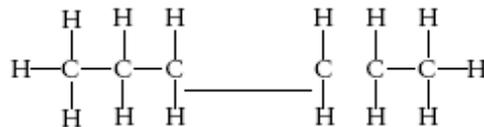
HDPE (*high density polyethylene*) adalah senyawa *thermoplastic* yang disusun dari atom karbon dan hidrogen yang bergabung menghasilkan berat molekul yang tinggi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10. Densitas HDPE (*high density polyethylene*) adalah 935-956 kg/m^3 [Jurnal HDPE][5]. Gas metana (gambar 2.7) dikonversikan menjadi *ethylene* (gambar 2.8), kemudian dengan aplikasi panas dan tekanan, diubah lagi menjadi *polyethylene* (gambar 2.9).



Gambar 2.7. Gas Metana



Gambar 2.8. *Ethylene*



Gambar 2.9. Rantai Molecular *Polyethylene*

Gas metana diubah menjadi etilen, kemudian dengan aplikasi panas dan tekanan, diubah lagi menjadi olietilen. Rantai polimer yang terbentuk memiliki unit karbon berkisar antara 500.000 sampai 1.000.000. Rantai cabang yang panjang atau pendek muncul di sepanjang rantai utama. Semakin panjang rantai jumlah cabang semakin banyak. PE merupakan polimer semikristalin. Resin HDPE memiliki daerah kristalin yang lebih luas dari LDPE. Ukuran dan distribusi luas daerah kristalin menentukan kekuatan tarik dan ketahanan retak dari produk akhir. HDPE dengan rantai yang lebih sedikit dari MDPE atau LDPE, memiliki bagian kristal yang lebih besar sehingga densitasnya lebih besar dan lebih kuat.

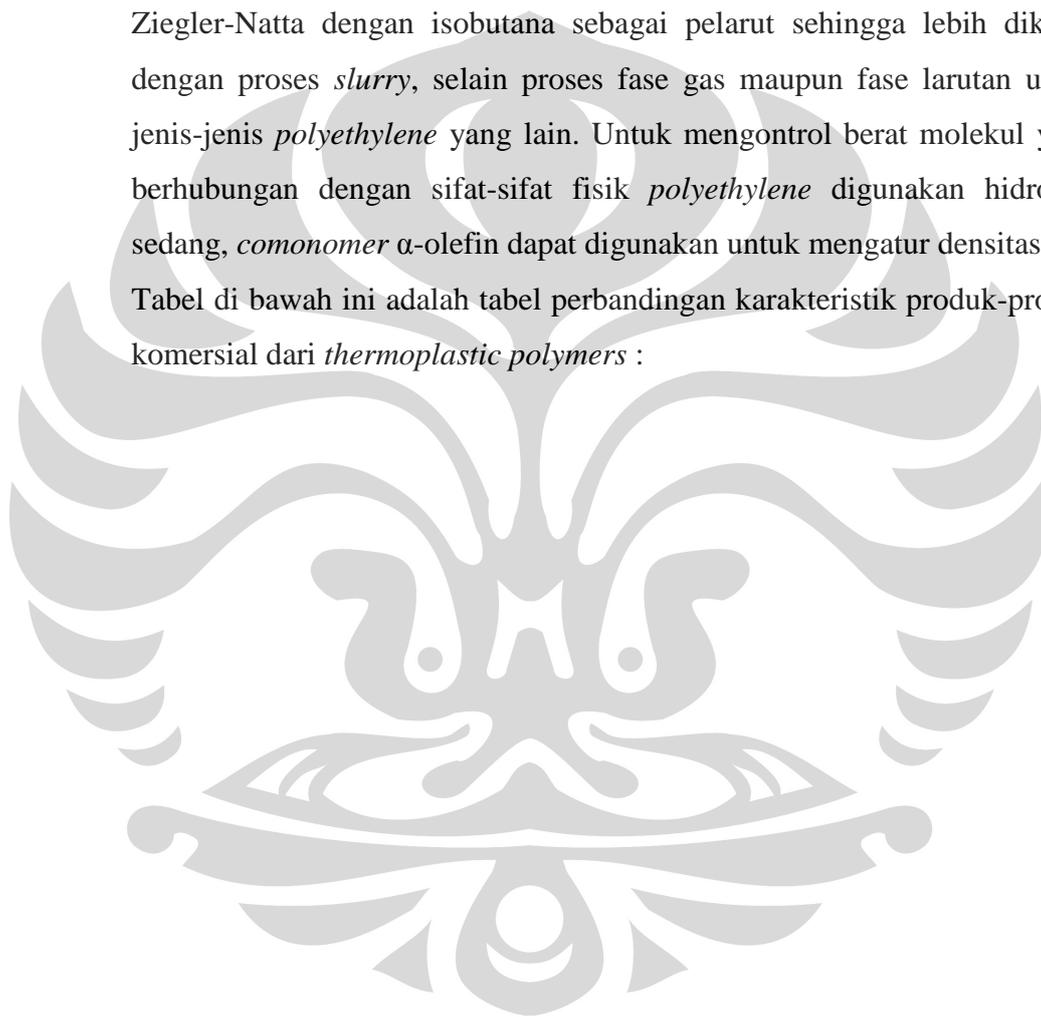
HDPE mempunyai sedikit cabang, yang membuat HDPE memiliki ikatan intermolekular dan kekuatan tarik yang lebih besar dari LDPE. HDPE juga lebih keras dan opak, dan tahan temperatur tinggi (120°C untuk waktu yang singkat, 110°C kontinyu). Sedikitnya cabang dipengaruhi oleh pemakaian katalis yang tepat (contoh katalis Ziegler-Natta) dan kondisi reaksi. Katalis Ziegler Natta mampu memproduksi rantai polimer pendek, sedang, atau panjang. LDPE memiliki cabang panjang dan pendek. Karena daerah kristal lebih sedikit dari HDPE maka lebih fleksibel tapi kurang kuat. LLDPE memiliki struktur yang berbeda dengan LDPE. Strukturnya memiliki cabang yang pendek, yang membuat rantai menjadi sangat dekat. HDPE merupakan material viskoelastis linear yang sifat-sifatnya bergantung dengan waktu.

Berdasarkan hal-hal di atas, maka HDPE memiliki keuntungan sebagai berikut:

- Toughness bagus
- Strength kuat
- Chemical-resistance
- Heat-resistance

- Harga rendah
- Pemrosesan mudah
- Recycleable (dapat di daur ulang)

HDPE (*high density polyethylene*) dapat diproduksi oleh katalisator *chromium/silica* dengan proses reaksi bertekanan rendah antara 5 - 140 kg/cm² dengan temperatur berkisar antara 60° - 300° C. Katalis yang digunakan adalah *slurry* Ziegler-Natta dan katalis *metallocene*. *Slurry* Ziegler-Natta dengan isobutana sebagai pelarut sehingga lebih dikenal dengan proses *slurry*, selain proses fase gas maupun fase larutan untuk jenis-jenis *polyethylene* yang lain. Untuk mengontrol berat molekul yang berhubungan dengan sifat-sifat fisik *polyethylene* digunakan hidrogen sedang, *comonomer* α -olefin dapat digunakan untuk mengatur densitasnya. Tabel di bawah ini adalah tabel perbandingan karakteristik produk-produk komersial dari *thermoplastic polymers* :



Tabel 2.7. Typical Properties of Commercial Thermoplastic Polymers

Property	Polyethylene			Poly(ethylene terephthalate)	Polyimide	Polypropylene	Polysulfone
	Low Density (Branched)	“Linear” Low Density	High Density (Linear)				
Specific gravity (g/cm ³)	0.910–0.925	0.918–0.935	0.941–0.965	1.34–1.39	1.43	0.902–0.906	1.24
Refractive index (n_D^{25})	1.51	1.51	1.54	1.64	—	1.49	1.633
Tensile strength (psi)	600–2300	1900–4000	3100–5500	8500–10,500	10,500	4300–5500	10,200 ^c
Elongation (%)	90–800	100–950	20–1000	50–300	5.0–7.0	200–700	50–100
Tensile modulus (10 ⁵ psi)	0.14–0.38	0.38–0.75	0.6–1.8	4.0–6.0	4.5	1.6–2.3	3.6
Impact strength (ft-lb/in. of notch)	>16	1.0–9.0	0.5–2.0	0.25–0.65	1.1	0.5–2.0	1.3 ^d
Heat-deflection temperature (°F, 264 psi)	90–105	—	110–130	100–106	650	125–140	345
Dielectric constant (1000 cycles)	2.25–2.35	2.25–2.35	2.30–2.35	3.46–4.5	3.4	2.2–2.6	3.13
Dielectric loss (1000 cycles)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.002–0.03	0.002	<0.0005–0.0018	0.001
Water absorption (one-eighth in. bar, 24 hr, %)	<0.015	—	<0.01	0.1–0.2	0.32	<0.01	0.22
Burning rate	Very slow	Very slow	Very slow	Burns	None	Slow	Self-extinguishing
Effect of sunlight	Requires protection	Requires protection	Requires protection	Slight	None	Requires protection	Slight
Effect of strong acids or bases	Resistant	Resistant	Resistant	Resistant	Attacked, alkalis	Resistant	Resistant
Effect of organic solvents	Resistant below 80°C	Resistant	Resistant below 80°C	Resistant	Very resistant	Resistant below 80°C	Soluble
Clarity	Opaque	Opaque	Opaque	Transparent	Opaque	Opaque	Transparent

Sumber : Jurnal HDPE [5]

2.7.2. Aplikasi HDPE (*High Density Polyethylene*)

Sejak dikembangkannya proses pembuatan polimer ini atau HDPE (*high-density polyethylene*), aplikasinya sangat luas dan mampu dengan cepat menembus pasaran baru. Kekakuan, ketangguhan dan mobilitasnya dapat digunakan dalam aplikasi yang sangat luas mulai dari drum-drum besar sampai botol susu dan dari pipa pembuangan sampai pipa lapangan minyak, dsb.

HDPE memiliki ketahanan terhadap banyak larutan dan diaplikasikan secara meluas, mencakup :

1. botol
2. tupperware
3. botol deterjen
4. botol susu
5. tanki pada kendaraan
6. kantong plastik
7. penahan zst kimis tertentu
8. System pipa tahan kimia
9. Pipa ledeng
10. Pelindung korosi untuk pipa saluran baja.

HDPE (*high density polyethylene*) 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 (*high density polyethylene*) dengan distribusi berat molekul sempit (*narrow molecular weight distribution*) digunakan metode fabrikasi seperti *injeksi molding*, *monofilamen*. Dibawah tabel aplikasi HDPE (*high density polyethylene*) serta metode fabrikasinya.

Tabel 2.8. Berbagai Aplikasi HDPE

METODE FABRIKASI	APLIKASI HDPE
Injeksi Molding	Kontainer, kontainer dinding tipis, alat-alat tulis, tutup botol, peralatan industri.
Monofilamen	Tali, jaring (net).
Blow Molding	Industri botol-botol kimia, botol-botol farmasi, botol detergen, pengepakan makanan.
Tali Lentur	Kantong pupuk, kantong makanan.
Blow Film	Film plastik, pengepakan, tas belanja.
Pipa	Pipa gas, pipa air.

Sumber : Jurnal HDPE [5]

2.8. Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE [Mochamad Agus Hariyana, 2008][17]

Agregat kasar ringan HDPE (*high density polyethylene*) menurut Mochamad Agus Hariyana, adalah agregat kasar ringan hasil dari daur ulang limbah botol pelumas kendaraan bermotor dari jenis HDPE. Agregat kasar ringan ini dibuat dengan cara membakar botol pelumas kendaraan bermotor dari jenis HDPE. Jika botol tersebut sudah meleleh, lelehan plastik dimasukkan ke dalam cetakan yang selanjutnya dipecahkan sehingga didapat pecahan-pecahan dengan ukuran-ukuran yang beragam dan bentuk yang menyerupai agregat.

Agregat kasar ringan plastik HDPE ini mempunyai bentuk yang tidak beraturan dan bersudut, bentuk ini didapatkan dari pemecahan agregat secara manual dengan mengunakan palu karet maupun palu besi. Warna agregat kasar ringan plastik HDPE memiliki warna abu-abu coklat dan hijau, warna yang dihasilkan agregat kasar ringan ini tergantung dari warna asal dari botol plastiknya, dapat dilihat di tabel 2.7.

Tabel 2.9. Warna Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE

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

Agregat kasar ringan plastik HDPE ini mempunyai tekstur permukaan yang lebih halus, lebih licin serta mengkilap (*polished*) bila terkena sinar. Hal ini dikhawatirkan dapat mempengaruhi ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan buatan dan dapat menurunkan mutu beton yang dihasilkan. Akan tetapi tekstur permukaan agregat bukanlah suatu kondisi kritis yang dapat mempengaruhi kualitas dari beton ringan yang dihasilkan, namun merupakan sesuatu yang penting untuk diperhatikan.

Dari hasil pengujian agregat kasar ringan ini yang dilakukan oleh Mochamad Agus Hariyana, didapatkan hasil yang ditunjukkan tabel 2.10.

Tabel 2.10. Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE

Pengujian	HDPE
Apparent Spesific Gravity	0,952
Bulk Spesific Gravity	0,954
Absorpsi (%)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-1	0,817
Berat Isi Kering (kg/m^3)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-2	545
Abrasi (%)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-4	29,64

Dari tabel 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 kasar ringan plastik HDPE ini 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. Pada pengujian abrasi terhadap agregat kasar ringan plastik HDPE dengan menggunakan alat *Los Angeles machine* didapat prosentase agregat yang hancur sebesar 29,64 %.

Besarnya nilai slump dari hasil percobaan terhadap dua tipe campuran beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah plastik yaitu berkisar antara 5-7 cm. Sementara ACI 213R-79 mensyaratkan nilai slump berkisar 3in - 4in (8-10 cm). Sedangkan menurut Neville, A.M. yang diambil dari (*in a modified form of Bartos` proposals*) memberikan kategori medium (sedang) untuk nilai slump 3,5-7,5 cm.

Tabel 2.11. Data Rancang Campur Beton Ringan Rencana

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

Tabel 2.12. Data Penambahan Kebutuhan Air Pada Rancang Campur

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

Tabel 2.13. Data Rancang Campur Beton Ringan Aktual Pelaksanaan

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

Dari tabel 2.11, 2.12, 2.13 terlihat bahwa dengan proporsi campuran yang sama dan dengan jumlah air yang hampir sama, nilai slump untuk tipe campuran $BR_A - K_{15}$ dan $BR_A - S_{15}$ (beton ringan tipe A) lebih besar dibandingkan dengan tipe campuran $BR_B - K_{15}$ dan $BR_B - S_{15}$ (beton ringan tipe B). Hal ini bisa dipengaruhi oleh perbedaan kebutuhan air yang digunakan pada kedua tipe campuran walaupun selisihnya hanya 8,76%. Pengaruh yang lain yaitu pada tipe campuran (beton ringan tipe B) tidak menggunakan gradasi pasir normal (4,75 - 0,075) mm namun hanya menggunakan skala ayakan (4,75 - 1,18) mm, maka dalam campuran (beton ringan tipe B) mengalami kenaikan jumlah butiran kasarnya dimana butiran kasar mempunyai luas permukaan yang lebih besar dan daya serap air relatif lebih besar, sehingga dapat mengurangi kebutuhan air yang seharusnya digunakan untuk hidrasi pasta semen dan *workability* dalam hal ini nilai slump.

Berat isi beton ringan plastik ini relatif rendah karena pengaruh dari berat isi agregat kasar ringan plastik yang digunakan hanya sebesar 545 kg/m^3 , hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 2.14 berikut :

Tabel 2.14. Nilai Berat Isi Beton Ringan Segar

Tipe	Berat Beton Segar+Wadah (kg)	Berat Wadah (kg)	Berat Beton Segar (kg)	Volume Wadah (m^3)	Berat Isi Beton Segar (kg/m^3)
$BR_A - K_{15}$ $BR_A - S_{15}$	19,900	5,089	14,811	0,009123	1623
$BR_B - K_{15}$ $BR_B - S_{15}$	20,000	5,089	14,911	0,009123	1634

Dari data diatas terlihat bahwa berat isi beton segar yang dihasilkan lebih rendah dari total berat material yang dicampurkan dalam adukan beton (tabel 2.14), namun perbedaannya tidak terlalu signifikan.

Pengujian berat isi kering beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik HDPE dilakukan pada umur beton 28 hari dengan benda uji silinder masing-masing sebanyak 4 buah untuk tipe campuran $BR_A - S_{15}$, $BR_B - S_{15}$ ditunjukkan pada tabel 2.15. Benda uji mengalami curing selama 27 hari dan selanjutnya dikeringkan udara selama 1 hari kemudian baru dilakukan pengujian.

Tabel 2.15. Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR_A-S₁₅ Silinder

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

Tabel 2.16. Berat Isi Kering Udara Beton Ringan Tipe BR_B-S₁₅ Silinder

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

Pengujian kuat tekan pada beton ringan Agregat Kasar Ringan Plastik dilakukan pada saat beton berumur 7 hari dan 28 hari. Hasil penelitian kuat tekan beton ringan dengan agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol pelumas plastik (HDPE) dapat dilihat pada tabel 2.17 dan 2.18.

Tabel 2.17. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_A-K₁₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	275000	22500	12,222
28	277500	22500	12,333
28	280000	22500	12,444
28	277500	22500	12,333
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari			12,370
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Dalam Silinder			9,401

Tabel 2.18. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Ringan Tipe BR_B-K₁₅

Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ² = MPa)
7	24500	22500	10,889
28	27750	22500	12,333
28	26750	22500	11,889
28	27000	22500	12,000
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari			12,074
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Dalam Silinder			9,176

Dari tabel 2.17 dan 2.18 (beton ringan tipe A dan B) terlihat bahwa dengan proporsi campuran beton yang sama, kuat tekan beton dengan tipe campuran BR_A - K₁₅ (beton ringan tipe A) pada umur beton 28 hari lebih besar $\pm 2\%$ dibandingkan dengan tipe campuran BR_A - K₁₅ (beton ringan tipe B). Hal ini disebabkan karena pada tipe campuran (beton ringan tipe B) mengalami pengurangan jumlah butiran halus karena hanya menggunakan pasir dengan gradasi ukuran (4,75-1,18) mm sehingga akan berpengaruh pada ikatan antara pasir dengan pasta semen dimana akan mengurangi kekuatan dari adukan (mortar) beton ringan.

Hasil penelitian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson beton ringan dengan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE) disajikan pada tabel 2.19 berikut :

Tabel 2.19. Nilai Rata-rata Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Beton Ringan

Jenis Beton	Modulus Elastisitas (E _c) (MPa)	Rata-Rata ME (E _c) (MPa)	Poisson Ratio (ν)	Rata-Rata Poisson Ratio (ν)
BRA - S15 -1	3864.67	3923.66	0.2519	0.2132
BRA - S15 -2	3848.77		0.1858	
BRA - S15 -3	4057.53		0.2018	
LC ₁₅ - P _B -1	3685.27	4099.30	0.2488	0.2474
LC ₁₅ - P _B -2	3987.50		0.2371	
LC ₁₅ - P _B -3	4625.13		0.2563	

Dari tabel 2.19 terlihat bahwa dengan proporsi campuran yang sama pada kedua tipe campuran beton ringan dengan agregat ringan plastik didapat perbedaan nilai modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson yang

tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena modulus elastisitas beton ringan dipengaruhi oleh kandungan pasta semen dan volume agregat kasar ringan dalam campuran beton.

2.9. Serat Metal

Serat metal alloy terbuat dari *carbon steel* atau *stainless steel*. Serat metal memiliki kuat tarik antara 50 sampai 200 ksi (345 – 1300 Mpa). Modulus elastisitas serat metal sekitar 29000 ksi (200 Kpa). Bentuk penampang serat metal dapat berupa lingkaran, setengah lingkaran, persegi atau tidak beraturan. Serat metal mempunyai diameter antara 0,15 – 1,00 mm dan panjang 20 – 60 mm [Devy Nathaniel, 2008][19].

Serat metal sebagai bahan campur agregat kasar ringan, ditambahkan pada saat pembuatan adukan agregat kasar ringan berlangsung yaitu dengan cara menaburkannya perlahan-lahan. Penaburan serat metal secara perlahan-lahan untuk menghindari terjadinya penggumpalan dan untuk memastikan bahwa serat metal terdistribusi dengan baik ada seluruh adukan agregat kasar ringan. Serat metal yang saling menempel (*glued*) dalam agregat kasar ringan dimaksudkan untuk menambah besar kuat tekan beton. Serat metal yang menyatu tersebut (pada tiap rangkaian biasanya terikat 10 – 30 serat metal) akan segera menyebar secara merata keseluruhan campuran agregat kasar ringan. Faktor-faktor yang harus diperhatikan pada saat kita menggunakan serat metal bahan campur pada adukan agregat kasar ringan, yaitu :

- Bentuk serat metal
- Ukuran serat metal
- Kadar serat metal

2.9.1. Bentuk Serat Metal

Serat metal secara umum diproduksi dalam dua bentuk, yaitu serat metal yang lurus dan serat metal yang bengkok pada ujungnya. Serat metal yang bengkok pada ujungnya, memberikan kekuatan penjangkaran yang lebih baik dibandingkan dengan serat metal yang lurus. Baiknya penjangkaran akan meningkatkan kemampuan dalam menahan retak, meningkatkan kekuatan serta keuletan agregat kasar ringan.

Berdasarkan bentuknya, serat metal dapat dibagi atas 3 kelompok, yaitu :

- 1) Serat metal yang bentuknya lurus dan lepas satu dengan yang lain (*Loose Straight Steel Fiber*)
- 2) Serat metal dengan bagian ujung-ujungnya dibengkokkan satu dengan yang lain (*Loose Fiber Hooked End*)
- 3) Serat metal dengan bagian ujung-ujungnya bengkok dan saling menempel (*Glued Fiber Hooked End*)

Dengan meningkatnya kekuatan penjangkaran, jumlah serat metal yang diperlukan untuk mencapai tingkat deformasi yang sama akan lebih sedikit, dibandingkan dengan jumlah serat metal yang berbentuk lurus.

2.9.2. Ukuran Serat Metal

Yang dimaksudkan dengan ukuran dalam hal ini adalah panjang, diameter dan rasio perbandingan antara panjang atau diameter (aspek rasio). Semakin panjang ukuran serat metal dengan rasio yang tinggi akan memberikan kinerja yang baik dalam peningkatan kekuatan dan absorpsi energi.

Serat metal yang baik untuk digunakan adalah serat metal dengan aspek rasio antara 60 – 100. Serat metal yang beraspek rasio diatas 100 akan menyulitkan pada saat pencampuran karena akan terjadi penggumpalan (*balling*) dalam adukan agregat kasar ringan.

Aspek perbandingan serat metal yang direkatkan satu sama lain lebih kecil dari pada serat metal yang berdiri sendiri. Hal ini dapat dibuktikan dengan rumus :

$$SP = n \frac{\pi D^2}{4} = \pi \frac{De^2}{4}$$

Dimana : SP = bagian dari ikatan yang terekat

n = jumlah serat metal yang diberi perekat (1 rangkaian)

D = diameter setiap serat metal

De = diameter ikatan secara ekuivalen

L = Le – panjang serat metal

Dari rumus di atas didapat persamaan :

$$De^2 = n \times D^2$$

$$De = D\sqrt{n}$$

$$\frac{L_e}{D_e} = \frac{L}{D} \times \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Contoh :

$$n = 25$$

$$\frac{L}{D} = 100 \text{ (serat metal 50/50)}$$

Maka serat metal yang terikat akan mempunyai serat metal sebesar :

$$\frac{L_e}{D_e} = 100 \times \frac{1}{\sqrt{n}} = 20$$

Perbandingan yang kecil dapat mempermudah pelaksanaan pengadukan, sebab serat metal tersebut dapat dianggap agregat tambahan.

2.9.3. Kadar Serat Metal

Sampai saat ini kadar maksimum yang pernah ditambahkan adalah 120 kg/m³. Pembatasan kadar serat ini ditentukan oleh beberapa hal, yaitu efektifitas penambahan kinerja yang dihasilkan, kemudahan pencampuran serta faktor ekonomis. Semakin besar kadar serat metal yang ditambahkan tidak selalu menghasilkan prosentase pertambahan kinerja agregat kasar ringan yang lebih baik. Disisi lain, penambahan serat metal dengan kadar yang besar akan meningkatkan kesulitan dalam pencampuran.

Hasil penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan kawat bindrad dengan panjang 60 mm, 80 mm dan 100 mm menunjukkan bahwa tambahan 1% serat dari volume beton mampu menaikkan kuat tekan beton sekitar 25%, kuat tarik sekitar 47% dan modulus elastisitas sekitar 10%. Selain itu beton serat yang bersifat lebih tahan benturan dan lenturan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini akan dipelajari karakteristik dan sifat agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dengan campuran 1% serat metal alloy (staples) dari berat botol plastik sebelum dibakar. Untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar ringan tersebut maka dilakukan pemeriksaan terhadap mutu dan syarat dari agregat kasar buatan berdasarkan standar yang telah ditetapkan. Setelah mengetahui karakteristik agregat kasar ringan tersebut, kemudian membuat rancangan campuran beton ringan agar mengetahui pengaruh agregat kasar ringan tersebut terhadap sifat fisik dan sifat mekanis beton ringan yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen karena HDPE (*high density polyethylene*) merupakan bahan yang bukan umum digunakan untuk beton ringan dan data kuat hancur agregatnya tidak terdapat di dalam ASTM C.330-00 “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”, maka dilakukan pendekatan dengan cara membuat benda uji berbentuk kubus ukuran (5×5×5) cm, kubus ukuran (15×15×15) cm dan silinder (15×30) cm sebagai benda uji yang mewakili data. Benda uji yang berasal dari daur ulang plastik HDPE (*high density polyethylene*) dengan campuran serat metal ini, kemudian digunakan untuk mengetahui kuat hancur agregat (f'_{CA}). Dengan melakukan uji tekan terhadap ketiga sampel tersebut, kemudian data kuat hancur agregat ini akan diperoleh dengan membuat regresi linear dari data benda uji kubus dan silinder hasil pengujian laboratorium.

Tahapan penelitian ini, dilakukan dengan menguji agregat kasar ringan plastik HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal yang akan menjadi bahan pembentuk beton, pengujian beton segar dan pengujian beton kaku. Semua cara pengujian yang dilakukan telah disesuaikan dengan standar yang ada di Indonesia seperti ASTM C.330-00 “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*”.

Sifat fisik dan mekanis agregat kasar ringan HDPE (*high density polyethylene*) berserat metal yang diuji meliputi kuat tekan, berat jenis,

penyerapan air, berat isi dan lainnya. Sifat fisik beton segar yang di uji adalah slump dan berat isi. Sifat fisik dan mekanik beton kaku yang diuji yaitu berat isi kering udara, kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

3.2. Bahan-bahan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap agregat halus normal yaitu pasir alam. Sedangkan semen dan air tidak dilakukan pengujian. Sifat – sifat semen diambil dari standar pabrik dan air yang digunakan sudah memenuhi standar air baku.

Bahan – bahan yang digunakan, yaitu :

- Bahan perekat menggunakan semen PCC merk Tiga Roda (SNI 15-7064-2004).
- Agregat kasar menggunakan agregat kasar ringan plastic HDPE (*high-density polyethylene*) berserat metal.
- Agregat halus menggunakan pasir alam Cimangkok, Jawa Barat.
- Air untuk membuat beton menggunakan air PAM, Laboratorium Beton FT-UI Depok.
- Serat metal alloy yaitu staples.

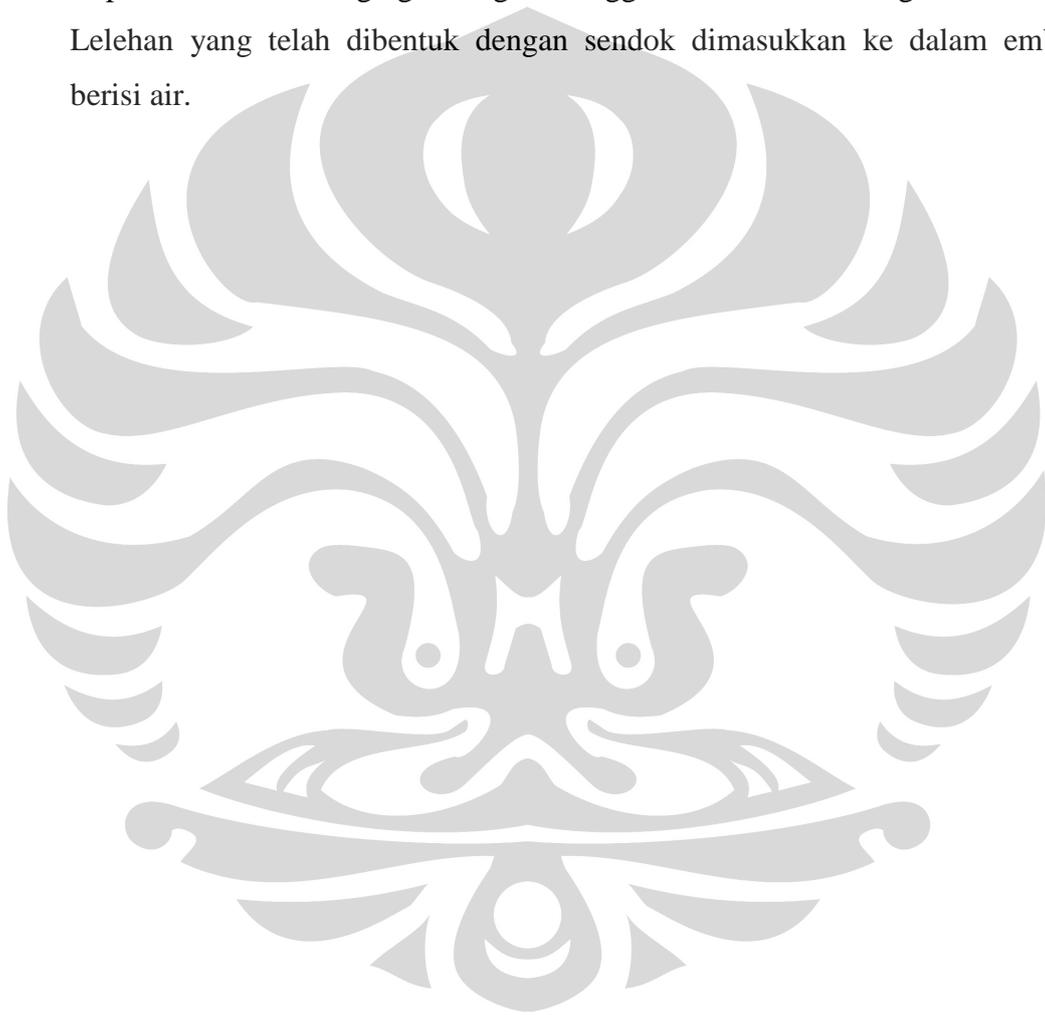
3.3. Proses Pembuatan Benda Uji Agregat Kasar Ringan dari Daur Ulang Limbah Botol Shampoo Plastik HDPE dengan Serat Metal Alloy (Staples) Sebagai Bahan Tambah

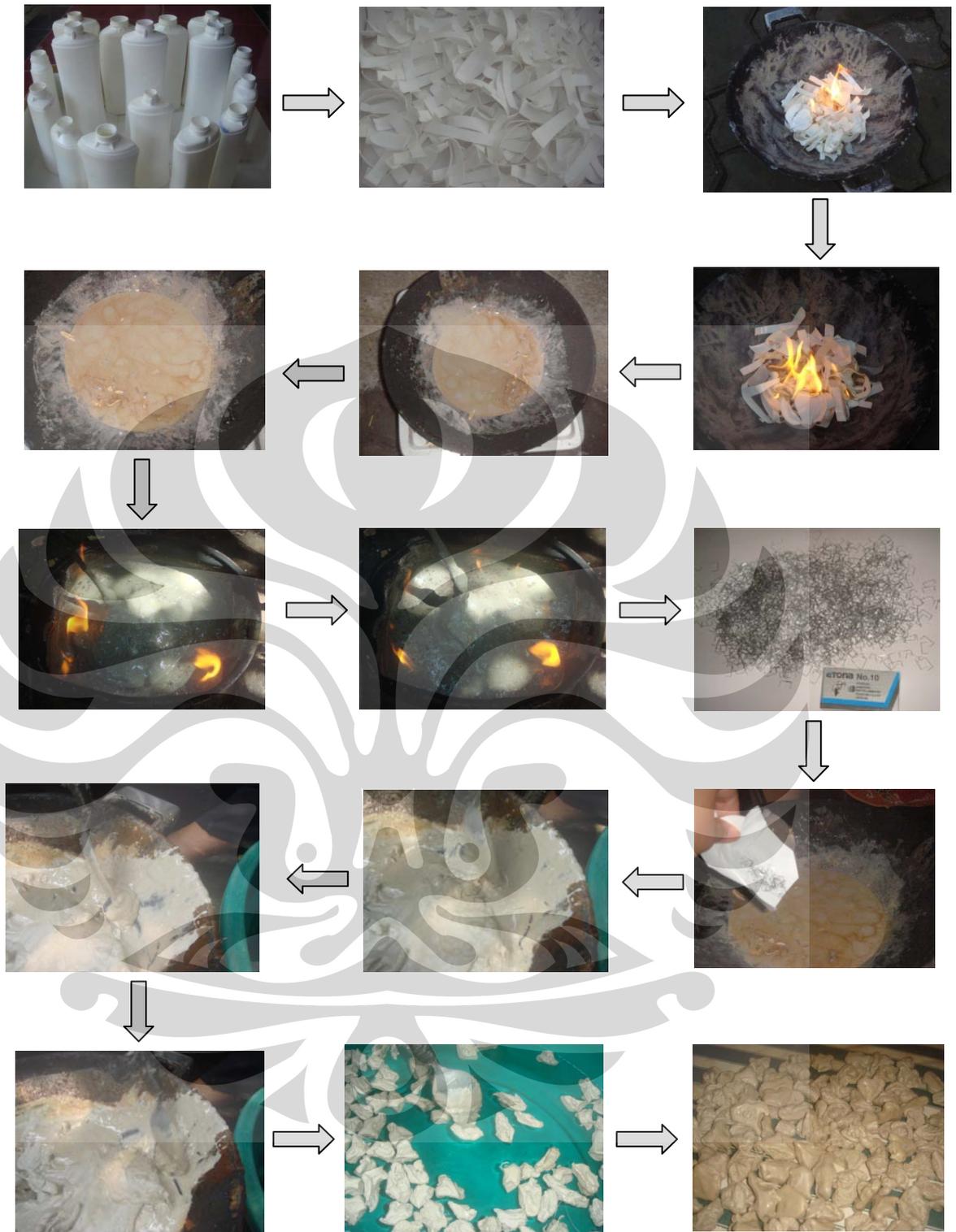
Pembuatan benda uji agregat kasar ringan ini dilakukan dalam dua proses, yaitu pembuatan benda uji agregat kasar ringan untuk keperluan pengujian sifat fisik agregat dan pembuatan benda uji agregat kasar ringan untuk keperluan pengujian kuat tekan hancur agregat dengan menggunakan spesimen kubus (5×5×5) cm, kubus (15×15×15) cm dan silinder (15×30) cm.

3.3.1. Pembuatan Agregat Kasar Ringan Buatan HDPE Berserat Metal Alloy (Staples)

Limbah botol plastik jenis HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dipisahkan antara plastik label dan badannya. Kemudian botol tersebut dipotong–potong menjadi potongan kecil-kecil, ini bertujuan untuk memudahkan pada saat proses melelehkan dengan cara dibakar. Kemudian potongan–potongan plastik tersebut dicelupkan ke dalam ember

yang berisi minyak tanah, ini dimaksudkan agar proses penglelehan lebih cepat. Setelah itu, potongan tersebut dimasukkan dalam wadah berbahan teflon atau wadah yang dilapisi dengan bahan anti lengket. Lalu potongan – potongan plastik tersebut dibakar. Setelah potongan–potongan plastik tersebut meleleh dan mencair, taburkan sebanyak 1% serat metal staples dari total berat botol plastik yang akan dibakar. Misalnya 800 gr botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih dicampurkan dengan 8 gr serat metal staples. Lalu bentuk agregat dengan menggunakan sendok sebagai alat bantu. Lelehan yang telah dibentuk dengan sendok dimasukkan ke dalam ember berisi air.



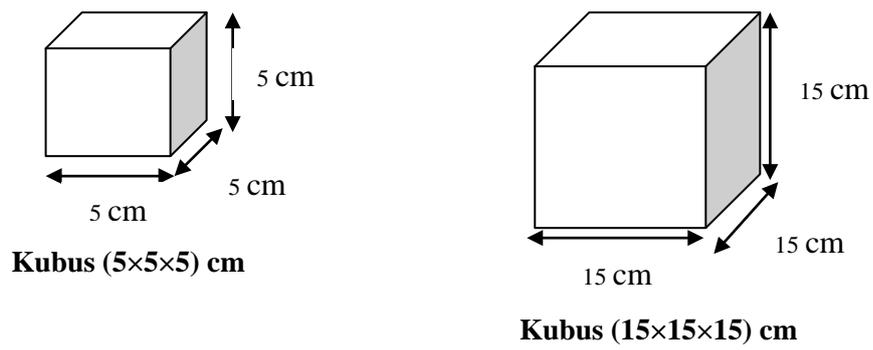


Gambar 3.1. Proses Pembuatan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal

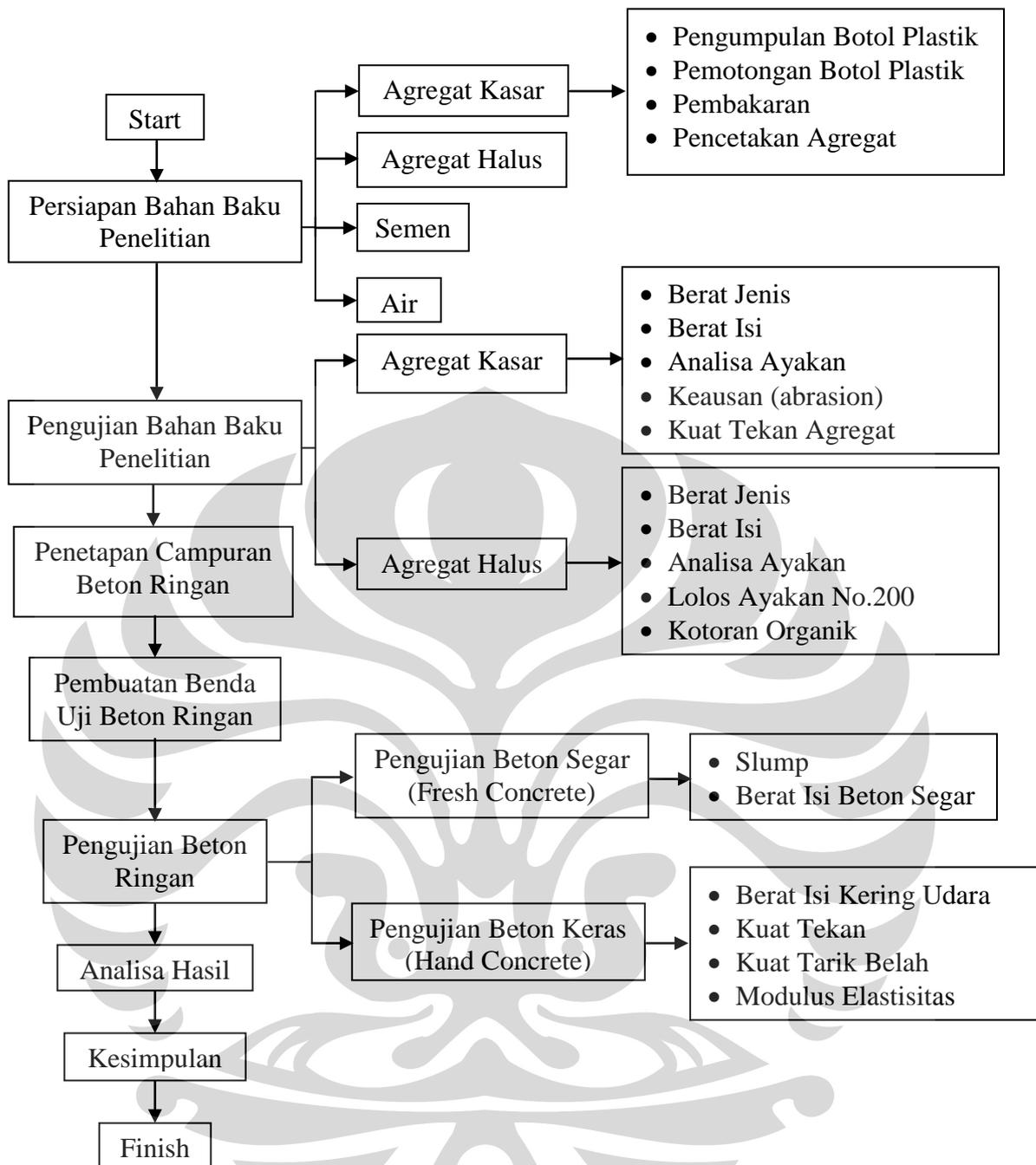
3.3.2. Pembuatan Benda Uji Agregat Kasar Ringan Berserat Metal Alloy (Staples) pada Beton Bentuk Spesimen Kubus (5×5×5) cm, Kubus (15×15×15) cm dan Silinder (15×30) cm.

Limbah botol shampo plastik dari jenis HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa warna lain dipisahkan antara plastik label dan badannya. Kemudian botol tersebut dipotong–potong menjadi potongan kecil–kecil, ini bertujuan untuk memudahkan pada saat proses melelehkan dengan cara dibakar. Kemudian potongan–potongan plastik tersebut dicelupkan ke dalam ember yang berisi minyak tanah, ini dimaksudkan agar proses penglelehan lebih cepat. Setelah itu, potongan tersebut ditiriskan dan dimasukkan ke dalam wadah berbahan teflon atau wadah yang dilapisi dengan bahan anti lengket. Lalu potongan – potongan plastik tersebut dibakar. Setelah potongan plastik telah benar meleleh, lelehan tersebut dimasukkan ke dalam cetakan kubus (5×5×5) cm dan taburkan staples. Setiap lelehan dimasukkan 1/3 tinggi cetakan, bagian luar cetakan diketuk – ketuk agar udara yang terjebak dapat keluar sehingga dapat mengurangi rongga pada hasil cetakan.

Namun ada sedikit perbedaan proses pembuatan kubus (15×15×15) cm dan silinder (15×30), dimana lelehan plastik tidak dibiarkan mengeras pada wajan kecil tetapi terlebih dahulu harus dikumpulkan dalam wajan yang lebih besar dan hasil lelehan dari wajan kecil tetap dipanaskan dalam wajan besar dengan menggunakan kompor. Hal ini dikarenakan volume dari pencetakan untuk kubus (15×15×15) cm dan silinder (15×30) yang relatif besar sehingga bila lelehan langsung dituang ke dalam cetakan kubus (15×15×15) cm dan silinder (15×30) dikhawatirkan hasil lelehan dari wajan – wajan kecil tidak cukup untuk mengisi penuh seluruh ruangan cetakan. Setelah lelehan pada wajan besar dirasa telah mencukupi untuk mengisi cetakan kubus (15×15×15) cm dan silinder (15×30), maka lelehan tersebut dituang ke dalam cetakan secara perlahan – lahan dengan bagian luar cetakan diketuk – ketuk agar udara yang terjebak dapat keluar sehingga dapat mengurangi rongga pada hasil cetakan. Masukkan juga staples (1% dari berat total potongan botol plastik HDPE sebelum dibakar yang dipakai untuk membuat benda uji ini) ke dalam cetakan yang berisi lelehan potongan plastik. Kemudian cetakan yang telah terisi tersebut didiamkan dan didinginkan pada udara terbuka hingga lelehan mengeras selama ± 24 jam sebelum dikeluarkan dari cetakan.



Gambar 3.2. Bentuk dan Ukuran Benda Uji Agregat Kasar Ringan HDPE Berserat Metal



Gambar 3.3. Hierarki Penelitian

3.4. 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 03-2847-2002, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur*”. Dimana pada standar ASTM C.330-00 dan SNI 03-2847-2002 terdapat beberapa pengujian-pengujian yang relevan dilakukan terhadap agregat ringan kasar buatan, diantaranya :

- ASTM C.29/C 29M *Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregates.*
- ASTM C.127 *Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregates.*
- ASTM C.131 *Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Agregat by Abrasion and Impact in The Los Angeles Machine.*
- ASTM C.136 *Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.*
- 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.*

Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar ringan buatan yang diperoleh harus memenuhi spesifikasi dari agregat kasar ringan untuk beton ringan struktural, persyaratan sifat fisis agregat kasar ringan untuk beton ringan struktural dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

No.	Sifat Fisis	Persyaratan
1.	Berat Jenis	1,0 – 1,8
2.	Penyerapan air maksimum (%)	20
3.	Berat isi maksimum : - gembur kering (kg/m ³) - agregat halus (kg/m ³) - agregat kasar (kg/m ³) - campuran agregat kasar dan halus (kg/m ³)	1120 880 1040 60
4.	Nilai persentase volume padat (%)	9-14
5.	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
6.	Kadar bahan yang mentah (clay lumps) (%)	< 1
7.	Nilai keawetan jika direndam dalam larutan magnesium sulfat selama 16 - 18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

Sumber : SNI 03-2461-2002, *Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan Struktural*, 2002 [15]

Prosedur pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal alloy (staples), antara lain :

3.4.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Benda uji yang digunakan adalah agregat yang tertahan saringan 4 mm yang diperoleh dari alat pemisah contoh, kurang lebih sebanyak 5 kg.

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini, antara lain :

- keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm dengan kapasitas 5 kg.
- tangki air dengan kapasitas dan bentuk sesuai bentuk pengujian.
- timbangan dengan ketelitian 0,1 gram kapasitas 5 kg. Dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- alat pemisah contoh.

Langkah kerja pada pengujian ini, yaitu :

- Keringkan benda uji didalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang selama satu sampai tiga jam untuk

contoh uji dengan ukuran maksimum nominal 37,5 mm (saringan No. 1 ½ in.) atau lebih untuk ukuran yang lebih besar sampai agregat cukup dingin pada temperature yang dapat dikerjakan pada temperature (kira-kira 50°C). sesudah itu, rendam agregat tersebut di dalam air pada temperatur kamar selama (24 ± 4) jam. Pada saat menguji agregat kasar dengan ukuran maksimum yang besar, akan memerlukan contoh uji yang lebih besar dan akan lebih mudah diuji dalam dua atau lebih contoh yang lebih kecil.

- 2) Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Aliran udara yang bergerak dapat digunakan untuk membantu pekerjaan pengeringan. Lakukan pengeringan sampai tercapai jenuh permukaan kering (ssd). Tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dan semua berat yang sampai nilai 1,0 gram terdekat atau 0,1 persen yang terdekat dari berat contoh, pilihlah nilai yang lebih besar.
- 3) Setelah ditentukan beratnya, segera tempatkan benda uji yang berada pada kondisi jenuh kering permukaan tersebut di dalam wadah, lalu tentukan beratnya dalam air yang mempunyai kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada temperatur (23 ± 2) °C. Hati-hatilah sewaktu berusaha menghilangkan udara yang terperangkap sebelum menentukan berat tersebut, menggoncangkan wadah dalam kondisi terendam. Wadah tersebut harus terendam dengan kedalaman yang cukup untuk menutup benda uji selama penentuan berat. Kawat yang menggantungkan kontainer tersebut harus memiliki ukuran praktis yang paling kecil untuk memperkecil kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam.

3.4.2. Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Antar Agregat

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat isi lepas dan berat isi padat agregat halus dan rongga udara antar agregat. Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat dapat dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi padat (berat isi padat) dan kondisi gembur (berat isi lepas). Benda uji yang digunakan pada pengujian ini adalah agregat halus yang telah dioven pada suhu (110 ± 5) ° C sampai beratnya tetap.

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini, yaitu :

- a) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- b) talam
- c) tongkat pemadat diameter 15 mm panjang \pm 60 cm
- d) mistar perata
- e) wadah baja

Pengujian ini mempunyai prosedur, sebagai berikut :

- Berat Isi Lepas

- 1) timbang silinder dan catatlah beratnya (W_1).
- 2) masukkan benda uji dengan hati-hati supaya tidak terjadi pemisahan butir, dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
- 3) ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
- 4) timbang dan catatlah berat wadah serta isinya (W_2).
- 5) hitung berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).

- Berat Isi Padat

- Cara tusuk-tusuk

- 1) isi penakar 1/3 dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- 2) tusuk lapisan agregat dengan 25× tusukan batang penusuk.
- 3) isi lagi hingga volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan tusuk sebanyak 25× dengan batang penusuk.
- 4) isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- 5) ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) tentukan berat penakar dan isinya (G), lalu timbang berat penakar itu sendiri (T).
- 7) catat beratnya sampai ketelitian 0.05 kg.

$$8) \text{ hitung berat isi agregat : } M = \frac{(G-T)}{V}$$

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 .

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

dimana :

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

s = Berat jenis agregat dalam kering oven.

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

▪ Cara Tusuk

- 1) isi penakar 1/3 dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- 2) padatkan lapisan dengan cara mengetuk-ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50x.
- 3) isi lagi sampai volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan ketukkan kembali sebanyak 50x.
- 4) isi penakar sampai berlebih dan ketuk lagi.
- 5) ratakan permukaan agregat dengan batang perata sampai rata.
- 6) tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- 7) catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.

$$8) \text{ hitung berat isi agregat : } M = \frac{(G - T)}{V}$$

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 .

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

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 .

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{W_3}{V} \text{ kg / lt}$$

V = Isi wadah atau silinder

3.4.3. Pengujian Analisa Ayakan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir/gradasi agregat dengan menggunakan saringan. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini, antara lain :

- a) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- b) satu set saringan
- c) alat pemisah contoh
- d) mesin getar saringan
- e) talam
- f) sikat halus / kuas / sikat saringan
- g) oven untuk memanasi
- h) sendok dan alat-alat lainnya

Langkah kerja pengujian ini, yaitu :

- 1) benda uji ditimbang.
- 2) saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncangkan dengan tangan atau mesin pengguncang selama 10 – 15 menit.
- 3) timbang berat agregat yang terdapat pada masing-masing ayakan.

Hitung persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

$$FM = \frac{\sum \% \text{ tertahan komulatif diatas ayakan } 0,15 \text{ mm}}{100}$$

3.4.4. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

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

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 sampai 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 di atasnya ditimbang.
 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. Pengujian Agregat Halus Normal

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus normal berdasarkan pada standar ASTM C.33-02A, "*Standard for Concrete Aggregates*". Dimana pada standar ASTM C.33-02A terdapat pengujian agregat halus normal yang akan dilakukan, diantaranya :

ASTM C.29 *Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregates*

ASTM C.128 *Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregates*

ASTM C.136 *Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*

ASTM C.117 *Test Method for Material Finer than 75 μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*

ASTM C.40 *Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*

Prosedur pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus, antara lain :

3.5.1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis agregat halus.

Alat-alat yang digunakan pada pengujian ini, yaitu :

- a) tempat air.
- b) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.
- c) oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- d) saringan 4,75 mm (No.4).
- e) kerucut terpancung
- f) picnometer

Prosedur pada pengujian ini, sebagai berikut :

- 1) keringkan benda benda uji didalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
- 2) buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji atau jika keadaan diluar tidak memungkinkan, maka pengeringan dapat dilakukan dengan memanaskannya diatas kompor (digoreng). Lakukan pengeringan sampai tercapai jenuh permukaan kering (ssd).
- 3) periksa keadaan ssd dengan mengisi benda uji kedalam kerucut terpancung, dalam tiga bagian, padatkan sebanyak $8\times$, $8\times$ dan $9\times$. Lalu angkat kerucut terpancung. Keadaan ssd tercapai bila tinggi benda uji tetap, tetapi lereng masih dalam keadaan tercetak.
- 4) setelah tercapai keadaan ssd, ambil benda uji sebanyak ± 500 gram (B ssd) masukkan ke dalam picnometer. Masukkan air suling sebanyak 90 % dari isi picnometer (dari tanda batas), putar sambil diguncang-guncang agar gelembung udara yang tersekap di dalamnya dapat keluar.

- 5) rendam picnometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C.
- 6) tambahkan air sampai batas tertentu.
- 7) timbang picnometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (BT).
- 8) keluarkan benda uji, keringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
- 9) setelah benda uji dingin lalu timbang (BK).
- 10) tentukan berat picnometer berisi air penuh (B) dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar 25°C.

Perhitungan-perhitungan pada pengujian ini, yaitu :

- Berat jenis = $\frac{BK}{B + B_{ssd} - BT}$
- Berat ssd = $\frac{B_{ssd}}{B + B_{ssd} - BT}$
- BJ semu = $\frac{BK}{B + BK - BT}$
- Penyerapan air = $\frac{B_{ssd} - BK}{BK} \times 100\%$

3.5.2. Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Antar Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi lepas dan berat isi padat agregat halus dan rongga udara antar agregat. Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat dapat dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi padat (berat isi padat) dan kondisi gembur (berat isi lepas). Benda uji yang digunakan pada pengujian ini adalah agregat halus yang telah dioven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap.

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini, yaitu :

- a) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- b) talam
- c) tongkat pemadat diameter 15 mm panjang ± 60 cm
- d) mistar perata
- e) wadah baja

Pengujian ini mempunyai prosedur, sebagai berikut :

- Berat Isi Lepas

- 1) timbang silinder dan catatlah beratnya (W1).
- 2) masukkan benda uji dengan hati-hati supaya tidak terjadi pemisahan butir, dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
- 3) ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
- 4) timbang dan catatlah berat wadah serta isinya (W2).
- 5) hitung berat benda uji ($W3 = W2 - W1$).

- Berat Isi Padat

- Cara tusuk-tusuk

- 1) isi penakar 1/3 dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- 2) tusuk lapisan agregat dengan 25× tusukan batang penusuk.
- 3) isi lagi hingga volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan tusuk sebanyak 25× dengan batang penusuk.
- 4) isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- 5) ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) tentukan berat penakar dan isinya (G), lalu timbang berat penakar itu sendiri (T).
- 7) catat beratnya sampai ketelitian 0.05 kg.

- 8) 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 : 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 yaitu 998 kg/m^3 .

- Cara Tusuk

- 9) isi penakar 1/3 dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.

- 10) padatkan lapisan dengan cara mengetuk-ngetukkan alas penakar secara bergantian di atas lantai yang rata sebanyak 50×.
- 11) isi lagi sampai volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan ketukkan kembali sebanyak 50×.
- 12) isi penakar sampai berlebih dan ketuk lagi.
- 13) ratakan permukaan agregat dengan batang perata sampai rata.
- 14) tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- 15) catat beratnya sampai ketelitian 0.05 kg.

16) 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 : 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 .

Berat isi agregat = $\frac{W3}{V}$ kg / lt

V = Isi wadah atau silinder

3.5.3. Pengujian Kadar Air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air yang terdapat dalam agregat halus dengan cara pengeringan. Alat-alat yang diperlukan, antara lain :

- a) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- b) oven
- c) talam dari logam tahan karat

Prosedur pada pengujian ini, sebagai berikut :

1. ambil agregat halus yang akan diuji dari lapangan dan taruh pada wadah.
2. timbang dan catat berat agregat halus beserta wadah ($W1$).

3. masukkan agregat halus dan pan kedalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai didapat berat yang tetap.
4. setelah kering, timbang dan catat berat agregat halus yang diuji beserta wadah (W2).

$$\text{Perhitungan kadar air : Kadar air} = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100\%$$

3.5.4. Kadar Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan no. 200 mesh (0,075 mm) dengan cara pencucian agregat yaitu berapa agregat yang lolos saringan No. 200 mesh (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih. Bahan yang diperlukan pada pengujian ini adalah agregat halus seberat 100 gr dari lapangan. Alat-alat yang digunakan pada pengujian ini, antara lain :

- a) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- b) oven
- c) saringan no. 16 dan no.200 (1, 18, dan 0.075 mm)
- d) talam dari logam tahan karat

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 (0,075 mm). 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 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan No.200 (0,075 mm) 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) :

- ♦ Berat kering benda uji awal

$$w_3 = w_1 - w_2$$

- ♦ Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$w_5 = w_4 - w_2$$

- ♦ 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)

3.6. 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 [17], 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.

Bahan-bahan yang digunakan dalam membuat beton ringan harus sesuai dengan standar SNI yang berlaku. Kuat tekan dan berat isi beton menurut tujuan konstruksi beton ringan dapat ditunjukkan pada tabel 3.2 berikut ini :

Tabel 3.2. Batas Kekuatan Konstruksi Beton Ringan

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Isi (kg/m ³)	
Struktural <ul style="list-style-type: none"> • Minimum • Maksimum 	17,24 41,36	1400 1850	Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu serpih, lempung, sabak, terak besi, abu terbang
Struktural Ringan <ul style="list-style-type: none"> • Minimum • Maksimum 	6,89 17,24	800 1400	Agregat ringan alam, seperti scoria atau batu apung
Struktural sangat ringan (isolator) <ul style="list-style-type: none"> • Minimum • Maksimum 	- -	- 800	Perlit atau vermikulit

Sumber : SNI 03-3449-2002, Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan[12]

Berdasarkan tabel 3.2, agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal alloy (staples) dalam penelitian ini akan dikategorikan ke dalam struktural ringan yaitu agregat yang dapat menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan antara 6,89 MPa – 17,24 MPa dan berat isi antara 800 kg/m³ – 1400 kg/m³. Dimana agregat kasar ringan ini akan dicoba untuk menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan (f'_{cBr}) sebesar 13,5 Mpa dan dengan berat isi kering udara pada umur 28 hari berkisar antara 800 kg/m³ – 1400 kg/m³.

3.6.1. Metode Rancang Campur Beton Ringan

Langkah – langkah pembuatan rancangan beton ringan standar SNI 03-3449-2002 [17], adalah sebagai berikut :

1. Tentukan kuat tekan beton yang disyaratkan, f'_{cB} pada umur 28 hari
2. Tentukan deviasi standar (S), data hasil pengujian sebelumnya.
3. Hitung nilai tambah (Margin), $M = k \times S$; 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
14. Buat campuran uji, ukur dan catat besarnya slump dan kekuatan tekan yang sesungguhnya seperti pada beton normal dengan memperhatikan hal berikut :
 - ♦ 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.

3.6.2. Pembuatan Benda Uji Beton Ringan

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

1. 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 $2/3$ 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 dituangkat sedikit demi sedikit

2. 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 kali 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.

3. 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.

3.6.3 Pengujian Beton Ringan

Pengujian terhadap beton ringan berdasarkan pada standar ASTM C.330-00, “*Standard Specification for Lightweight for Structural Concrete*” dan SNI 03-2847-2002, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur*”. Acuan pengujian-pengujian yang dilakukan terhadap beton ringan ini, diantaranya :

ASTM C.39 *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

ASTM C.496 *Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

ASTM C.469 *Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*

ASTM C.192 *Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*

ASTM C.617 *Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*

3.6.4. Prosedur Pengujian Beton Ringan

Pengujian beton ringan meliputi pengujian beton segar dan beton keras. Pengujian terhadap beton segar berupa pengujian slump dan berat isi beton ringan segar. Dan pengujian terhadap beton keras meliputi berat isi kering, kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton ringan.

3.6.4.1. Pengujian Slump

Uji ini dimaksudkan untuk mengukur kekentalan adukan beton 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 pada pengujian ini, antara lain:

- a. Alat uji yaitu kerucut terpancung / kerucut *Abram*.
- b. Penggaris
- c. Batang penusuk diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
- d. Alat perata

Proses pengujian :

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

3.6.4.2. Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat isi beton yang dihasilkan pada tahap awal. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini, antara lain :

- a) Timbangan.
- b) Batang penusuk diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
- c) Penggetar Internal
- d) Wadah ukur
- e) Alat perata
- f) Palu karet

Proses pengujian berat isi beton segar menurut SNI 03-1973-200x[13], yaitu :

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), setiap lapisan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan batang penusuk, lalu permukaannya diratakan.
3. Permukaan cetakan dibersihkan dari sisa-sisa beton dan ditimbang beratnya (B).
4. Berat beton segar (*fresh unit weight*) dapat dihitung sebagai berikut :

$$5. \text{ Berat beton segar} = \frac{B - A}{V}$$

3.6.4.3. Pengujian Kuat Tekan Beton

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 diperlukan dalam pengujian ini, yaitu :

- 1) Cetakan silinder, diameter 152 mm dan tinggi 305 mm.
- 2) Tongkat pemadat, diameter 16 mm, panjang 600 mm, dengan ujung dibulatkan, dibuat dari baja yang bersih dan bebas dari karat.
- 3) Mesin pengaduk atau bak pengaduk beton kedap air.
- 4) Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari berat contoh.
- 5) Mesin tekan, kapasitas sesuai kebutuhan.

- 6) Satu set alat pelapis (*capping*).
- 7) Peralatan tambahan, seperti ember, sekop, sendok, sendok perata, dan talam.

Proses pengujiannya adalah sebagai berikut ;

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

3.6.4.4. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton yang menggunakan agregat ringan. Alat-alat yang dipakai pada pengujian ini, antara lain :

- a. Mesin uji tekan.
- b. Pelat atau batang penekan tambahan.
- c. Bantalan bantu pembebanan.

Prosedur pengujian kuat tarik belah [SNI 03-2491-2002] [8], sebagai berikut :

- 1) Tarik garis tengah pada setiap sisi ujung silinder benda uji dengan peralatan bantu yang sesuai, hingga dapat memastikan bahwa kedua garis tengah tadi berada dalam bidang aksial yang sama.
- 2) Bantalan bantu pembebanan bagian bawah dan benda uji silinder, diletakkan pada bagian alas benda uji.
- 3) Letakkan pelat atau batang bantu penekan pada bagian atas benda uji.
- 4) Periksa dua buah bagian tegak yang kegunaannya untuk meletakkan benda uji pada posisi uji, apa pelat atau batang penekan tambahan terlihat tegak lurus sesuai dengan garis tengah pada benda uji.
- 5) Proyeksi dari bidang yang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat berpotongan dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin penguji.
- 6) Lalu benda uji ditekan dengan mesin tekan. Pemberian beban dilakukan secara menerus tanpa sentakan dengan kecepatan pembebanan konstan sampai benda uji hancur.

3.6.4.5. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

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.

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 dalam pengujian ini, antara lain :

- a. Mesin uji tekan
- b. Kompresometer-ekstensometer yang mampu mengukur sampai ketelitian 0,635 μm .
- c. Timbangan dengan ketelitian maksimum 10 gr dan kapasitas minimum 35 kg.
- d. Jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm.

Pelaksanaan pengujian ini, 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 kontinyu 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.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini membahas hasil dan analisa dari prosedur pengujian material yang dilakukan terhadap agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol plastik HDPE (*high density polyethylene*) warna putih tanpa botol oli dengan campuran serat metal staples dan pengujian terhadap campuran beton ringan yang menggunakan agregat kasar ringan tersebut yang berbentuk silinder (15 × 30) cm.

Pengujian yang dilakukan terhadap campuran beton ringan meliputi pengujian terhadap beton segar dan beton yang telah mengeras pada umur 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian yang didapat akan ditampilkan dalam bentuk uraian, tabel dan grafik.

4.1. Karakteristik Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE

Karakteristik yang terlihat dari agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol plastik HDPE dengan campuran serat metal alloy (staples), ditunjukkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.1. Karakteristik Geometrik Agregat Kasar Ringan Plastik

Karakteristik Agregat	HDPE + STAPLES	HDPE*
Bentuk	Tidak beraturan dan bersudut	Tidak beraturan, pipih, dan bersudut
Tekstur Permukaan	Kasar, licin dan mengkilap	Licin (halus) dan mengkilap
Ukuran Maksimum Agregat	25 mm	25 mm
Warna	Abu-abu	Abu-abu, coklat dan hijau
Tebal Maksimum Agregat	25 mm	30 mm

*Sumber : Mochamad Agus H, 2008 [6]

Dari tabel 4.1, terlihat bahwa agregat kasar ringan hasil daur ulang limbah botol plastik HDPE dengan campuran serat metal staples mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan agregat kasar ringan dari daur ulang limbah plastik HDPE yaitu bentuk yang tidak beraturan. Bentuk ini didapat dari mencetak

agregat secara manual dengan menyendokkan lelehan botol plastik ke dalam air, dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Cara Pembuatan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples

Hanya ada sedikit perbedaan yang terlihat, yaitu pada warna agregat kasar ringan plastik. Agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki warna abu-abu sedangkan agregat kasar ringan plastik HDPE tanpa serat berwarna abu-abu, coklat dan hijau. Perbedaan warna terjadi karena warna asal botol plastik yang dipakai untuk membuat agregat ini. Agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples hanya memakai botol plastik berwarna putih, sedangkan agregat kasar ringan plastik HDPE tanpa serat memakai bermacam-macam warna.

Permukaan agregat kasar ringan ini mempunyai tekstur kasar, halus dan licin. Ini dikhawatirkan dapat mempengaruhi ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan, juga dapat menurunkan mutu dan kualitas beton yang dihasilkan. Bentuk agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples dapat dilihat pada gambar 4.2, sebagai berikut :



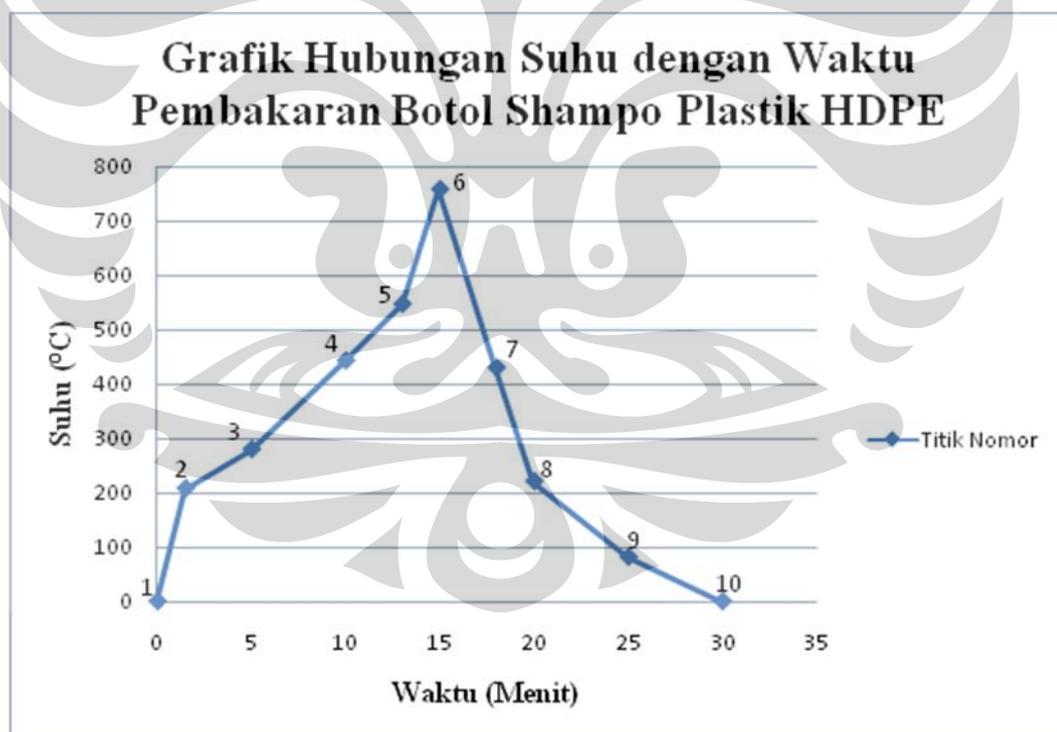
Gambar 4.2. Agregat Kasar Ringan Buatan HDPE Berserat Metal Staples

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran suhu yang terjadi terhadap pembakaran botol shampo plastik HDPE warna putih tanpa botol oli. Pengukuran suhu ini dilakukan dari botol shampo plastik HDPE warna putih sebelum dibakar, plastik mulai meleleh, plastik mencair hingga cairan plastik tersebut mengeras dan berubah menjadi agregat. Proses pembakaran 500 gram botol shampo plastik HDPE warna putih hingga menjadi agregat kasar membutuhkan waktu \pm 30 menit. Dalam penelitian ini, botol shampo plastik HDPE warna putih dicelupkan ke dalam wadah yang berisi minyak tanah sebagai katalisator. Minyak tanah dipakai agar botol shampo plastik ini cepat terbakar. Botol shampo plastik HDPE warna putih dibakar dengan suhu melebihi titik leleh HDPE yaitu 190°C atau pembakaran dilakukan hingga suhu 750°C , maka hasil pembakaran menjadi amorf atau bukan lagi plastik tipe HDPE karena rantai kimia yang berada pada plastik ini sudah terputus.

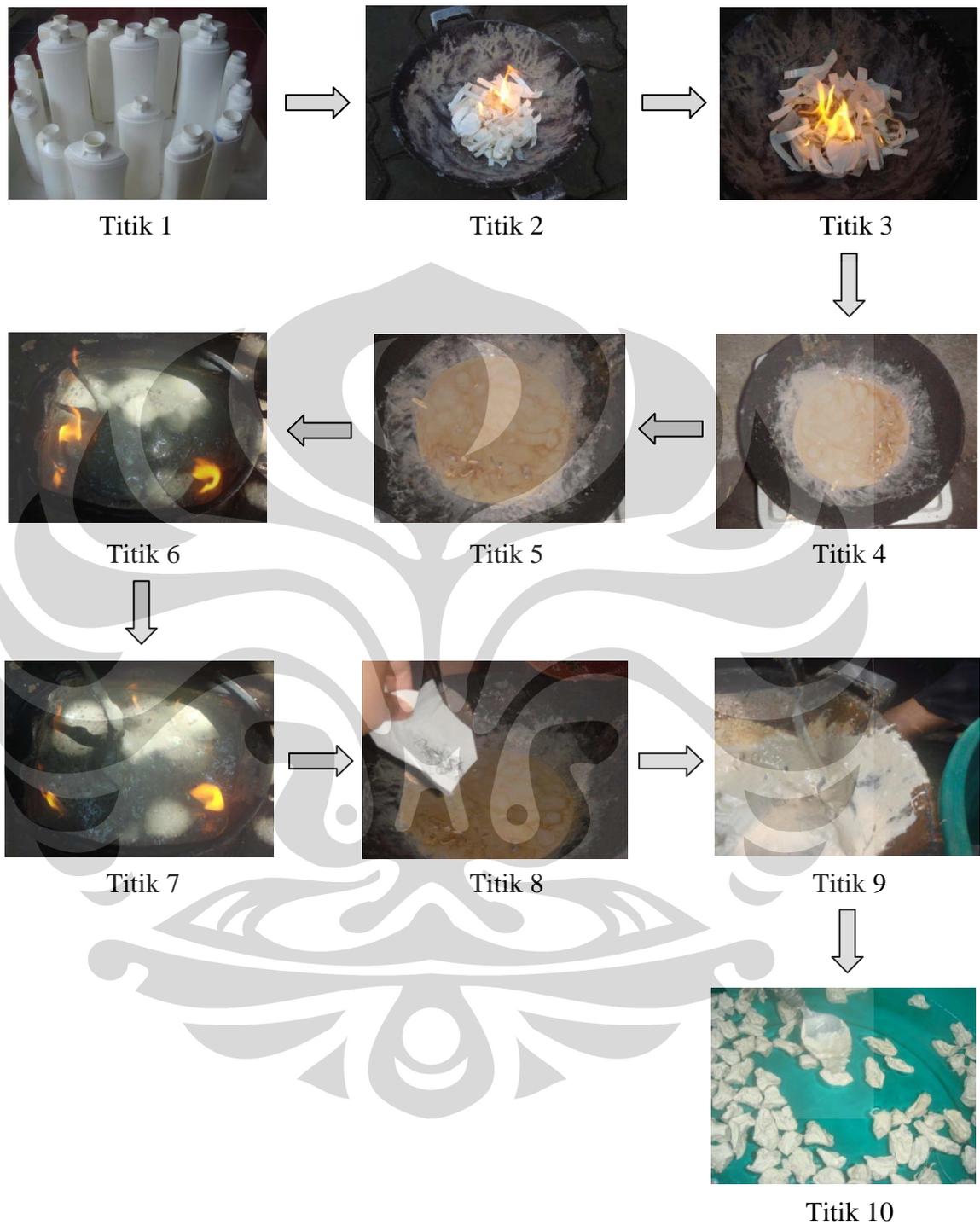
Pada awal pengukuran suhu pembakaran botol shampo plastik HDPE warna putih ditunjukkan titik nomor 1 dan suhu 0°C . Selama 1,5 menit, botol shampo tersebut mulai meleleh dan berubah bentuk. Pada mulai meleleh, suhunya 208°C dan ditunjukkan titik nomor 2. Botol shampo plastik mulai mencair bila terbakar selama 5 menit, ditunjukkan titik nomor 3 dan suhunya 280°C . Pada waktu 10-20 menit, botol shampo plastik HDPE warna putih mencair dengan suhu pembakaran 443°C - 750°C dan ditunjukkan oleh titik nomor 4 sampai titik nomor 8. Setelah botol shampo plastik HDPE warna putih dibakar selama 25 menit, cairan tersebut mulai dibentuk menjadi agregat. Pada saat pembentukkan agregat, suhunya 82°C dan ditunjukkan titik nomor 9. Pada titik nomor 10, cairan plastik mengeras dan berbentuk agregat. Itu terjadi 30 menit setelah botol shampo plastik tersebut dibakar dan suhunya kembali menjadi 0°C . Selengkapnya ditunjukkan pada tabel, grafik dan gambar-gambar berikut ini :

Tabel 4.2. Hubungan Suhu dengan Waktu Pembakaran Botol Shampo Plastik HDPE Warna Putih Tanpa Botol Oli

Titik No.	Fisik Plastik	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1	Plastik sebelum dibakar	0	0
2	Plastik mulai meleleh dan berubah bentuk	1.5	150
3	Plastik mulai mencair	5	280
4	Plastik mencair	10	443
5	Plastik mencair	13	547
6	Plastik mencair	15	750
7	Plastik mencair	18	430
8	Plastik mencair	20	221
9	Plastik yang mencair mulai mengeras dan membentuk agregat	25	82
10	Cairan plastik mengeras dan berbentuk agregat	30	0



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Suhu dengan Waktu Pembakaran Botol Shampo Plastik HDPE Warna Putih Tanpa Botol Oli



Gambar 4.4. Proses Pembuatan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples

4.2. Hasil dan Pembahasan Pengujian Agregat

4.2.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar Ringan dari Daur Ulang Limbah Botol Shampo Plastik HDPE dengan Campuran Serat Metal Alloy (Staples)

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan mengambil sampel bahan kemudian dilakukan penelitian sesuai dengan standar ASTM C.330-04, “*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*” dan SNI 03-2461-1991, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktur*”, didapat hasil yang dapat dilihat pada lampiran A dan sebagian ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.3. Perbandingan Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Buatn HDPE tanpa Serat dan Agregat Kasar Ringan Buatn HDPE Berserat Metal Staples

Pengujian	HDPE*	HDPE + Staples	Selisih (%)
Apparent Spesific Gravity	0,952	0,952	0
Bulk Spesific Gravity	0,954	0,953	0,105
Absorpsi (%)	0,817	1,937	57,821
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran A-1			
Berat Isi Kering (kg/m ³)	545	500	8,257
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran A-2			
Abrasi (%)	29,64	11,66	60,661
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran A-4			

*Sumber : Mochamad Agus H, 2008 [6]

Tabel 4.4. Perbandingan Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Alami dan Agregat Kasar Ringan Buatn HDPE Berserat Metal Staples

Pengujian	Alami*	HDPE + Staples	Selisih (%)
Bulk Spesific Gravity	1,0	0,953	4,7
Absorpsi (%)	20	1,937	90,315
• Pengujian selengkapnya pada lampiran A-1			
Berat Isi Kering (kg/m ³)	1100	500	54,545
• Pengujian selengkapnya pada lampiran A-2			
Abrasi (%)	7,5	11,66	35,678
• Pengujian selengkapnya pada lampiran A-4			

*Sumber : SNI 03-2461-2002 [15]

Dari tabel 4.3 terlihat perbedaan dari hasil pengujian agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples dibandingkan agregat kasar ringan plastik HDPE tanpa serat. Dari tabel 4.4 terlihat perbedaan dari hasil pengujian agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples dibandingkan agregat kasar ringan alami. Namun dapat disimpulkan berdasarkan standar mutu dan syarat pengujian ASTM C.330-04 “*Standard Spesification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*” dan SNI 03-2461-2002 “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural*”, agregat kasar ringan plastik HDPE berserat staples dapat digunakan sebagai material pembentuk beton ringan. Tetapi jika dilihat dari nilai berat jenis (*specific gravity*) yang didapat pada agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples, agregat ini tidak memenuhi persyaratan sebagai agregat ringan untuk beton ringan struktural.

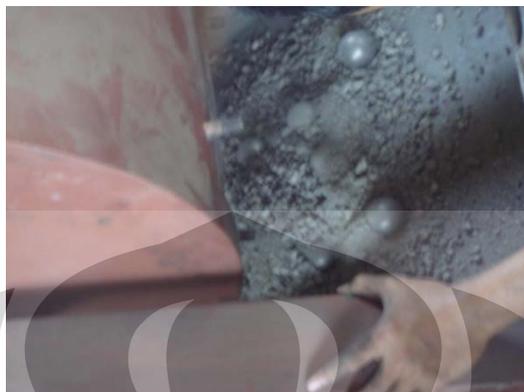
Pada pengujian berat isi agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki nilai sebesar 500 kg/m^3 . Nilai ini memiliki nilai yang lebih kecil dari berat isi agregat kasar ringan alami dan agregat kasar ringan buatan HDPE yang diteliti oleh Mochamad Agus H, 2008 [6].



Gambar 4.5. Pengujian Berat Isi Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berseta Metal Staples

Pada pengujian abrasi dengan menggunakan alat *Los Angeles Machine* didapat prosentase agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yang mempunyai nilai hancur sebesar 11,66 %. Prosentase agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yang memiliki nilai hancur yang lebih kecil dari agregat kasar ringan plastik HDPE tanpa serat metal staples. Tetapi jika dibandingkan dengan agregat kasar ringan alami, agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki nilai hancur yang lebih besar. Ini

dikarenakan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples mempunyai berat jenis yang kecil maka agregat kasar ringan tersebut tidak bertumbukan dengan bola-bola besi.

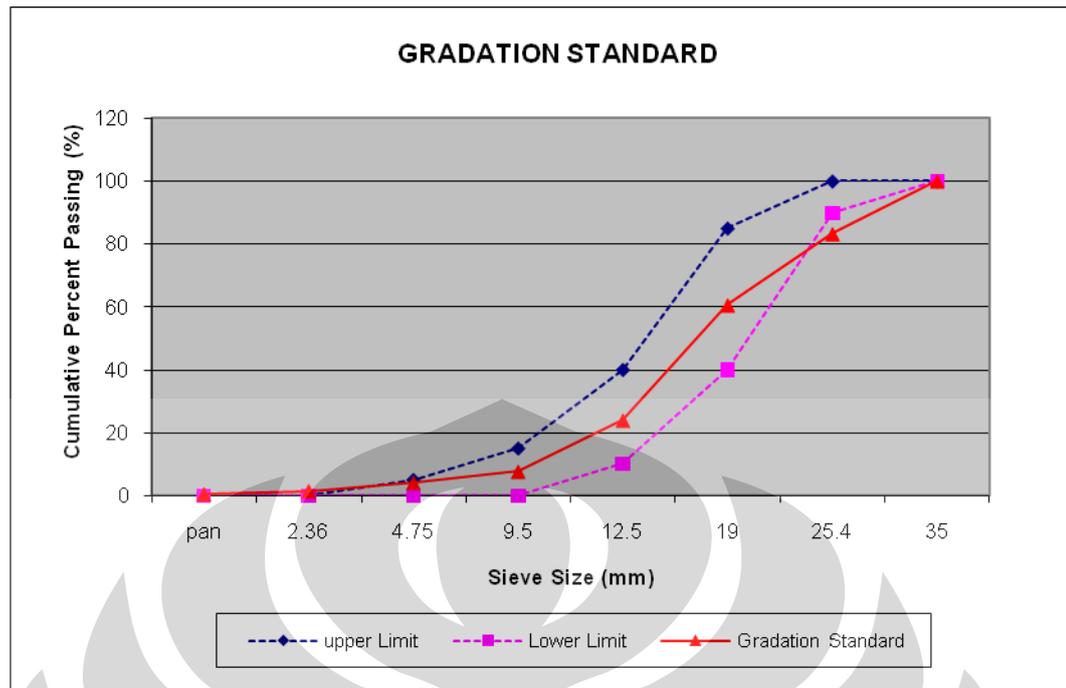


Gambar 4.6. Pengujian Abrasi Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples dengan Mesin *Los Angeles*

Dari pengujian analisa saringan yang telah dilakukan di laboratorium, agregat kasar ringan ini banyak tertahan di saringan ukuran 12,5 mm sebanyak 37,5 % dan 19 mm sebanyak 23,8 %. Hasil ini dapat dilihat dari tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 4.5. Gradasi Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples

Sieve Size (mm)	Sample No.1			Sample No.2			Average		
	Weight Ret	Ind %	Cum %	Weight Ret	Ind %	Cum %	Ind %	Cum %	Average Passing
	Grams	Ret	Ret	Grams	Ret	Ret	Ret	Ret	%
25.4	820	16.331	16.331	867	17.278	17.278	16.805	16.805	83.195
19	1192	23.740	40.072	1086	21.642	38.920	22.691	39.496	60.504
12.5	1874	37.323	77.395	1809	36.050	74.970	36.687	76.183	23.817
9.5	795	15.833	93.228	835	16.640	91.610	16.237	92.419	7.581
4.76	165	3.286	96.515	194	3.866	95.476	3.576	95.995	4.005
2.36	110	2.191	98.705	153	3.049	98.525	2.620	98.615	1.385
PAN	44	0.876	99.582	56	1.116	99.641	0.996	99.612	0.388
FM	5,021			5,018					



Gambar 4.7. Grafik Gradasi Aktual Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples

Dilihat dari gambar 4.7, gradasi aktual agregat kasar ringan berada di luar batas bawah dan atas sehingga mungkin dapat mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan. Hasil gradasi aktual agregat kasar seperti ini dapat menyebabkan terbentuknya rongga pada beton. Berikut adalah gambar pengujian analisa saringan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples.



Gambar 4.8. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples

Untuk syarat-syarat yang ditetapkan oleh ASTM C.330-04 “*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*” dan SNI 03-2461-2002 “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural*”, tabel 4.4 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- ♦ Berat jenis agregat ringan 1,0 – 1,8. Dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples didapat berat jenis sebesar 0,953.
- ♦ Penyerapan air maksimum 20 %. Dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples didapat penyerapan air (absorption) sebesar 1,937 %.
- ♦ Berat isi maksimum kering 1100 kg/m³. Dari hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples didapat berat isi kering sebesar 500 kg/m³.

4.2.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan mengambil sampel bahan kemudian dilakukan penelitian sesuai dengan standar ASTM C 33-02A “*Standard for Concrete Aggregates*” dan RSNI 03-1970-1990 “*Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*”, didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6. Hasil Pengujian terhadap 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 B-1	4,603
Fine Modulus / FM (kg)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-2	2,689
Berat Isi Kering (kg/m ³)	
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-5	1415,5
Kadar Material Lolos Saringan No.200 (%) B-3	2,1
Kadar Organik (Sesuai Nomor Warna) B-4	No.2



Gambar 4.9. Pengujian Agregat Halus

Selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B. Berdasarkan pada standar mutu dan syarat pengujian ASTM C 33-02A "*Specification for Concrete Aggregates*" dan RSNI 03-1970-1990 "*Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*", tabel 4.6 dapat disimpulkan sebagai berikut :

- ♦ Fine Modulus yang dihasilkan pada pengujian ini sebesar 2,689 % dan memenuhi syaratnya yaitu 1,5 sampai 3,8 %.
- ♦ Kadar agregat yang lolos saringan No. 200 sebesar 2,1 %, hasilnya masih di bawah nilai maksimum sebesar 5 %.
- ♦ Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 2 %, menghasilkan warna yang tidak lebih tua jika dibandingkan dengan warna standar yaitu No.2. Dari hasil pengujian terhadap agregat halus normal didapat warna yang sama bila disesuaikan dengan nomor warna tergolong No.2.

4.2.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat Kasar Ringan dari Daur Ulang Limbah Botol Shampo Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan Campuran Serat Metal Staples

Pengujian di laboratorium untuk kuat tekan hancur agregat plastik pada silinder ukuran (15×30) cm, dipilih botol plastik HDPE yang berwarna putih tanpa botol oli dengan campuran serat metal alloy (staples). Jenis botol plastik HDPE ini juga akan digunakan untuk pembuatan agregat kasar ringan plastik yang digunakan sebagai campuran beton ringan.

Tabel 4.7. Berat Jenis dan Kuat Tekan Silinder Plastik HDPE Berserat Metal Staples (15 × 30) cm

Berat (kg)	Dimensi (cm)	Luas Permukaan (cm ²)	Berat Jenis	Beban (kg)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
4,371	14,1 × 27,7	176,715	0,928	17500	99,03



Gambar 4.10. Sampel Silinder Plastik HDPE Berserat Metal Staples (15×30) cm

Pada tabel 4.7 di atas ini, ditunjukkan data pengujian kuat tekan agregat plastik bentuk silinder ukuran (15×30) cm. Rendahnya hasil yang diperoleh dapat disebabkan karena sampel yang dihasilkan mengalami retak pada sampel silinder yang diakibatkan oleh susut (*shrinkage*) yang ekstrim terjadi pada saat sampel mengering, dapat dilihat pada gambar 4.10. Retak yang terjadi dapat mencapai 1,0-3,0 mm, sehingga yang terlihat bukan hanya retak rambut tetapi rongga-rongga kecil juga.

Proses pembuatan sampel tersebut yaitu bahan HDPE dileleh terlebih dahulu kemudian ditampung dalam wadah besar sambil dipanaskan dari bawah

wadah menggunakan kompor dengan maksud agar bahan HDPE tidak cepat membeku. Lalu bahan HDPE tersebut dituang ke dalam cetakan silinder (15×30) cm yang diletakan di atas kompor. Pengisian dilakukan secara bertahap sebanyak tiga lapisan sambil diketok-ketok agar tidak ada udara yang terperangkap didalamnya. Setelah itu dilakukan pengeringan selama 6 - 24 jam, jika sampel telah mengering lalu sampel dapat dikeluarkan dari cetakan. Sampel yang dihasilkan setelah pengeringan mempunyai ciri fisik yang halus pada setiap permukaannya.

Setelah 6 - 24 jam, mulai timbul retak-retak pada setiap permukaan sampel. Hal ini diakibatkan oleh proses pengeringan yang tidak merata pada sampel, permukaan sampel cenderung lebih cepat dibandingkan pada bagian dalam sampel sehingga terjadi perbedaan suhu antara bagian luar dan dalam sampel. Keretakan terjadi karena suhu panas yang berada di dalam sampel merambat menuju suhu yang lebih dingin yaitu di permukaan sampel. Hal ini dari pengamatan secara langsung terhadap sampel yang pecah pada saat pengeringan. Pada bagian luar sampel telah mengeras sedangkan bagian dalam sampel masih terdapat lelehan bahan HDPE yang kental.

4.2.4. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Agregat Kasar Ringan dari Daur Ulang Limbah Botol Shampo Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan Campuran Serat Metal Staples

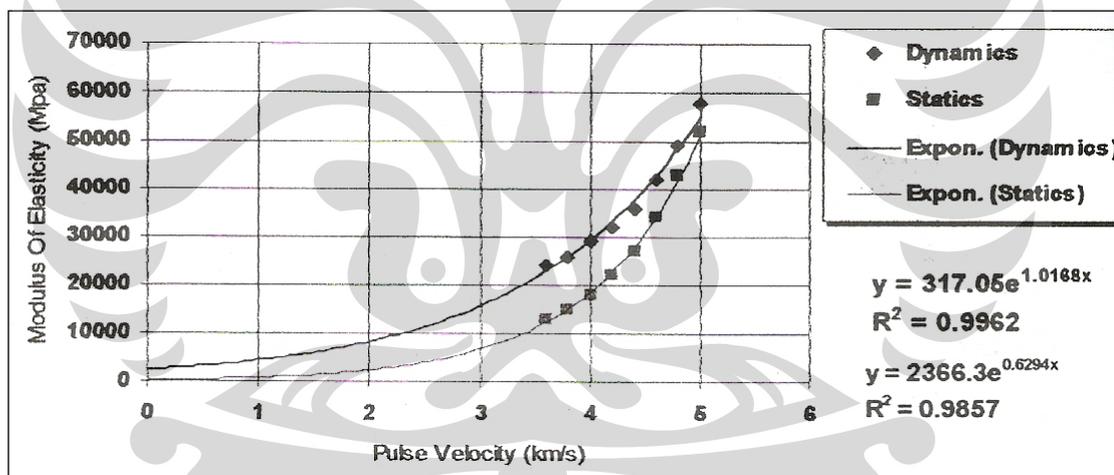
Pengujian modulus elastisitas terhadap agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memakai 2 (dua) cara, yaitu pengujian menggunakan alat Pundit dan pengujian menggunakan alat *Kompresor Ekstensometer*. Kedua cara pengujian modulus elastisitas ini, biasanya digunakan terhadap beton ringan.

Pengukuran nilai modulus elastisitas (E) untuk tiap benda uji yang dilakukan menggunakan alat Pundit, bekerja berdasarkan rambatan gelombang. Nilai yang didapat (output) dari Pundit berupa besaran kecepatan rambat gelombang (v) yang dinyatakan dalam m/s. Untuk menentukan nilai modulus elastisitas dilakukan pendekatan menggunakan persamaan atas dua variabel yaitu nilai modulus elastisitas (E) dan nilai cepat rambat (v) untuk benda uji yang diperoleh melalui literatur. Nilai-nilai tersebut ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.8. Hubungan antara V dan E Beton

V (km/s)	E (MPa)	
	Dinamik	Statik
3,6	24000	13000
3,8	26000	15000
4,0	29000	18000
4,2	32000	22000
4,4	36000	27000
4,6	42000	34000
4,8	49000	43000
5,0	58000	52000

Hasil pengolahan yang didasarkan pada tabel di atas menghasilkan nilai E pada tiap benda uji dengan nilai cepat rambat gelombang ultrasonik (v) sebagai faktor independen. Dari nilai modulus elastisitas (MPa) dinamik dan statik beserta nilai kecepatan (km/s) dibuat suatu regresi menggunakan pendekatan persamaan grafik eksponensial yang ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Kurva Modulus Elastisitas (E) dengan Kecepatan Gelombang (V) Berdasarkan Manual Pundit

Pengolahan data dimulai dengan menentukan nilai modulus elastisitas dari tiap benda uji menggunakan persamaan seperti pada grafik di atas, yaitu untuk nilai modulus elastisitas statik $y = 317.05e^{1.0168x}$ dan nilai modulus elastisitas dinamik $y = 2366.3e^{0.6294x}$. Dari pengujian yang telah dilakukan yang dimasukkan pada kedua persamaan tersebut, didapatkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut ini :

Tabel 4.9. Nilai Modulus Elastisitas Dinamik dan Statik Menggunakan Alat Pundit

Pengujian	Bentuk dan Ukuran Sampel (cm)	Berat Sampel (kg)	Transit Time (s)	Kecepatan Gelombang V (m/s)	Massa Jenis (kg/m ³)	E _{dinamik} (MPa)	E _{statik} (MPa)
1	Silinder - 13,9 × 28,7	3,875	268	1,0709×10 ⁻³	889,7548	2367,8955	317,3954
2	Silinder - 13,9 × 28,8	3,875	269	1,0706×10 ⁻³	886,6654	2367,8951	317,3953
3	Silinder - 13,9 × 28,6	3,875	267	1,0712×10 ⁻³	892,8658	2367,8959	317,3955

Dari tabel di atas terlihat nilai kecepatan gelombang hanya memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap nilai E dinamik dan E statik yang didapat.

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1 + \delta)(1 - 2\delta)}{(1 - \delta)}$$

Dari persamaan tersebut, pada pengujian pertama dan pengujian kedua didapatkan nilai poisson sebesar 1,000000862, 1000000858 dan 1,000000865. Dimana E_d nilai modulus elastisitas dinamik (MN/m²), ρ nilai massa jenis (kg/m³), V nilai kecepatan gelombang (m/s) dan δ nilai poisson.



Gambar 4.11a. Pengujian Pundit

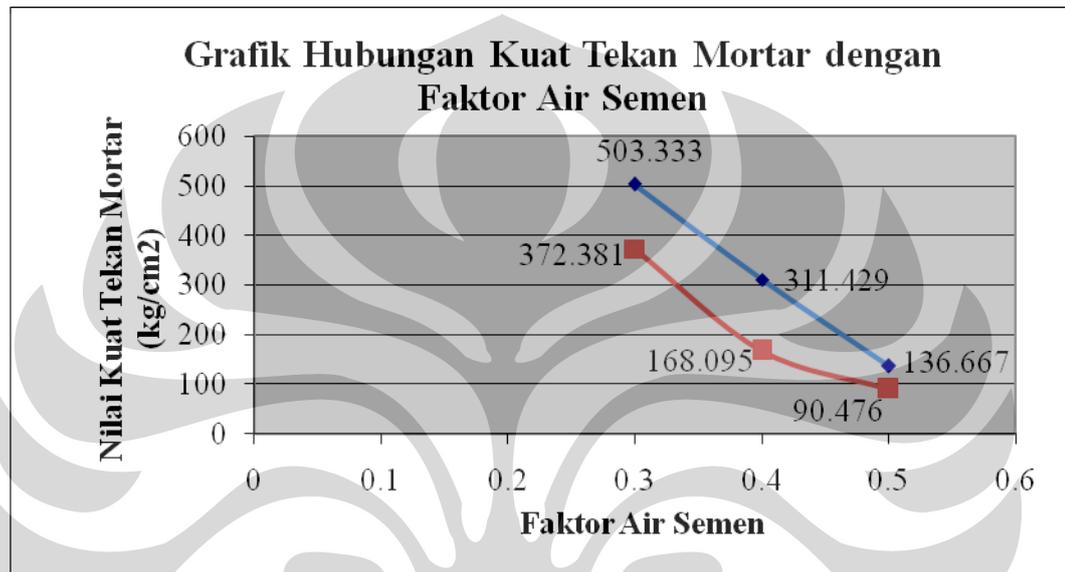
Pengukuran nilai modulus elastisitas (E) yang menggunakan alat *Kompresor Ekstensometer* dilakukan dengan memberi beban 40% dari beban maksimum kuat tekan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples. Pada penelitian ini, beban 40% dari beban maksimum kuat tekan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yaitu sebesar 7000 kg. Dari pengujian ini didapatkan hasil yang ditunjukkan pada lampiran A-8.

4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar ini dilakukan untuk menentukan perbandingan semen dengan pasir dan faktor air semen (fas) yang akan digunakan sebagai campuran beton ringan. Dalam pengujian ini, dibuat 18 benda uji mortar bentuk kubus ukuran (5×5) cm. Campuran mortar yang dipakai adalah

perbandingan semen dengan pasir 1:3 dan 1:4, lalu faktor air semen (fas) yang digunakan 0,3, 0,4 dan 0,5. Hasil pengujian kuat tekan mortar ini ditunjukkan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan membuat benda uji kemudian dilakukan penelitian sesuai dengan standar SK SNI M-111-1990-03 "*Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*", hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.10, gambar 4.12 dan ditunjukkan gambar 4.13.



Gambar 4.12. Grafik Hubungan Kuat Tekan Mortar dengan Faktor Air Semen



Gambar 4.13. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Kuat Tekan Mortar

Tabel 4.10. Pengujian Kuat Tekan Adukan Mortar dengan Spesimen Berbentuk Kubus (5×5×5) cm

Sampel : Adukan mortar
 Tanggal pengujian : 12 Februari 2009

Mortar	FAS	Berat SSD Spesimen di Udara (kg)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Faktor Konversi Umur 7 Hari	Konversi Kuat Tekan Umur 28 Hari (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)
1 : 3	0,3	0,255	8750	25	350	0,700	500	503,333
		0,257	8575	25	343	0,700	490	
		0,260	9100	25	364	0,700	520	
	0,4	0,252	5200	25	208	0,700	297,143	311,429
		0,253	5750	25	230	0,700	328,571	
		0,252	5400	25	216	0,700	308,571	
	0,5	0,231	2625	25	105	0,700	150	136,667
		0,222	2450	25	98	0,700	140	
		0,229	2100	25	84	0,700	120	
1 : 4	0,3	0,252	7175	25	287	0,700	410	372,381
		0,251	6450	25	258	0,700	368,571	
		0,254	5925	25	237	0,700	338,571	
	0,4	0,228	3000	25	120	0,700	171,429	168,095
		0,224	2900	25	116	0,700	165,714	
		0,225	2925	25	117	0,700	167,143	
	0,5	0,204	1600	25	64	0,700	91,428	90,476
		0,205	1500	25	60	0,700	85,714	
		0,210	1650	25	66	0,700	94,286	

Dari hasil pengujian kuat tekan mortar, pada pengujian ini dipakai campuran mortar yaitu perbandingan semen dengan pasir 1:4 dan faktor air semen diambil 0,4.

4.4. Rancang Campur Beton Ringan

Pada penelitian ini ada 2 rancang campur beton ringan, antara lain rancang campur beton ringan dengan koreksi air terhadap agregat halus dan rancang campur beton ringan tanpa koreksi air terhadap agregat halus (karena agregat halus dalam keadaan SSD). Rancang campur beton ringan dapat dilihat pada lampiran C.

Tabel 4.11. Data Rancang Campur Beton Ringan Aktual Pelaksanaan dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples

Tipe	Proporsi campuran (kg/m ³)				Total (kg)
	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg = liter)	
1	193	781	328	65	1367
2	226	898	384	94	1602

Tabel 4.12. Data Rancang Campur Beton Ringan Aktual Pelaksanaan dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE*

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

*Sumber : Mochamad Agus H, 2008 [6]

Dari kedua tabel di atas, didapat perbandingan beton ringan menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples pada tipe kedua dengan beton ringan menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE mempunyai selisih sebagai berikut semen 39,73%, agregat halus 12,89%, agregat kasar 18,83% dan air 43,97%.

4.5. Hasil dan Pembahasan Pengujian Beton Ringan

Pengujian beton ringan yang dilakukan adalah pengujian terhadap beton segar dan beton yang telah mengeras. Pengujian yang dilakukan terhadap beton

segar yaitu pengujian slump dan pengujian berat isi. Pengujian terhadap beton yang telah mengeras dilakukan yaitu berat isi kering udara beton, kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan pengujian Modulus Elastisitas.

4.5.1. Hasil Pengujian Slump

Pada rancang campur beton ringan yang pertama, besarnya nilai slump dari hasil percobaan terhadap rancang campur beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol shampo plastik HDPE yaitu berkisar antara 0 - 2 cm. Dengan nilai slump ini, beton ringan yang menggunakan agregat plastik ini relatif kurang baik tingkat kelecakannya (*workability*). Ini terjadi karena kesalahan koreksi air terhadap agregat halus. Karena pada pengujian ini agregat halus yang dipakai dalam kondisi SSD, maka kebutuhan air tidak perlu dikurangi dan kebutuhan akan agregat halus tidak ditambahkan sebanyak kebutuhan air yang dikurangi.

Pada rancang campur beton ringan yang kedua, besarnya nilai slump dari hasil percobaan terhadap rancang campur beton ringan dengan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat staples yaitu berkisar antara 6 - 8 cm, ditunjukkan pada gambar 4.14. Dengan nilai slump ini, beton ringan yang menggunakan agregat plastik telah mempunyai tingkat kelecakan (*workability*) yang relatif baik untuk konstruksi. Menurut Neville, A.M. yang diambil dari (*in a modified form of Bartos` proposals*) memberikan kategori medium (sedang) untuk nilai slump 3,5-7,5 cm.

Untuk menghasilkan nilai slump yang baik, perlu dikontrol penggunaan pasir normal dalam kondisi SSD pada saat pencampuran sehingga air yang digunakan dalam campuran tidak diserap oleh pasir tersebut. Sedangkan agregat kasar ringan plastik cenderung lebih mudah dikontrol, karena daya absorpsinya yang relatif kecil. Selain itu, koreksi (*adjustment*) terhadap kadar air dalam pasir sangat berpengaruh terhadap komposisi rancang campur dan mutu beton yang dihasilkan. Dalam penelitian ini dipakai perbandingan air dan semen (W/C) sebesar 0,4. Penelitian ini juga memakai perbandingan antara semen dan pasir yaitu 1:4.



Gambar 4.14. Pengujian Slump

4.5.2. Hasil Pengujian Berat Isi Segar Beton Ringan

Berat isi segar beton ringan menggunakan agregat kasar ringan plastik yang dihasilkan adalah $1620 - 1630 \text{ kg/m}^3$. Berat isi beton ringan plastik ini relatif rendah karena pengaruh dari berat isi agregat kasar ringan plastik yang digunakan hanya sebesar 500 kg/m^3 , hasil pengujian tertera pada tabel 4.13 berikut :

Tabel 4.13. Nilai Berat Isi Beton Segar dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE Berserat Metal Staples

Sampel	Berat Beton Segar + Wadah (kg)	Berat Wadah (kg)	Berat Beton Segar (kg)	Volume Wadah (m^3)	Berat Isi Beton Segar (kg/m^3)
1	19,929	5,062	14,867	0,009123	1630
2	19,883	5,062	14,821	0,009123	1625
3	19,830	5,062	14,768	0,009123	1620
Nilai Rata-rata Berat Isi Beton Segar					1625

Dari data di atas terlihat bahwa berat isi beton segar yang dihasilkan lebih tinggi dari berat isi beton rencana. Perbedaan berat isi beton segar yang dihasilkan dengan berat isi beton rencana karena kurang teliti pada saat merancang campuran beton. Selain itu, perbedaan berat isi beton segar yang dihasilkan dapat disebabkan karena mortar yang menempel di mesin mixer, pemadatan yang kurang baik pada saat memasukkan campuran beton ke dalam wadah dan

penguapan air (evaporasi) campuran yang ditimbulkan pada saat proses hidrasi dari pasta semen.

Berat isi beton segar dengan agregat kasar ringan plastik HDPE ditunjukkan pada tabel 4.14. Perbandingan berat isi beton segar menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE dengan berat isi beton segar menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih sebesar 0,215%.

Tabel 4.14. Nilai Berat Isi Beton Segar dengan Agregat Kasar Ringan Plastik HDPE*

Tipe	Berat Beton Segar +Wadah (kg)	Berat Wadah (kg)	Berat Beton Segar (kg)	Volume Wadah (m³)	Berat Isi Beton Segar (kg/m³)
BR _A - K ₁₅	19,900	5,089	14,811	0,009123	1623
BR _A - S ₁₅					
BR _B - K ₁₅	20,000	5,089	14,911	0,009123	1634
BR _B - S ₁₅					
Nilai Rata-rata Berat Isi Beton Segar					1628.5

*Sumber : Mochamad Agus H, 2008 [6]

4.5.3. Hasil Pengujian Berat Isi Kering Beton Ringan

Pengujian berat isi kering beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol shampo plastik HDPE dengan bahan tambah staples dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari dengan benda uji silinder masing-masing sebanyak 5 buah. Hasil pengujian berat isi kering beton ringan tersebut ditunjukkan pada tabel 4.15, 4.16 dan 4.17, sebagai berikut :

Tabel 4.15. Berat Isi Kering Beton Ringan Bentuk Silinder Ukuran (15×30) cm Umur 7 Hari

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m³)	Berat Isi Kering (kg/m³)
1	8,231	15	30	0,005301	1553
2	8,237	15	30	0,005301	1554
3	8,342	15	30	0,005301	1574
4	8,066	15	30	0,005301	1522
5	8,260	15	30	0,005301	1558
Nilai Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1552

Tabel 4.16. Berat Isi Kering Beton Ringan Bentuk Silinder Ukuran (15×30) cm Umur 14 Hari

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m³)	Berat Isi Kering (kg/m³)
1	8,681	15	30	0,005301	1638
2	8,505	15	30	0,005301	1604
3	8,765	15	30	0,005301	1653
4	8,674	15	30	0,005301	1636
5	8,616	15	30	0,005301	1625
Nilai Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1631

Tabel 4.17. Berat Isi Kering Beton Ringan Bentuk Silinder Ukuran (15×30) cm Umur 28 Hari

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m ³)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
1	8,225	15	30	0,005301	1552
2	8,535	15	30	0,005301	1610
3	8,555	15	30	0,005301	1614
4	8,850	15	30	0,005301	1670
5	8,985	15	30	0,005301	1695
Nilai Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1628

Berat isi beton ringan yang dihasilkan dari 3 (tiga) umur beton yang berbeda memperlihatkan bahwa beton yang dihasilkan termasuk beton ringan struktural yang disyaratkan SNI 03-3449-2002 "*Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*" yaitu beton yang mempunyai berat isi kering udara antara 1400 – 1850 kg/m³.

4.5.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan

Pengujian kuat tekan beton ringan menggunakan agregat kasar ringan dari limbah botol shampo plastik HDPE dengan bahan tambah staples dilakukan pada saat beton berumur 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton ringan ini dapat dilihat pada lampiran D secara lengkap dan disajikan pada tabel 4.18, 4.19 dan 4.20 dan ditunjukkan oleh gambar 4.16, 4.17 dan 4.18 sebagai berikut :

Tabel 4.18. Nilai Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari

Tanggal		Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Berat (kg)	Beban (kg)	Tegangan (MPa)	Standar Deviasi
Dicor	Ditest					
22-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,231	14000	7,922	
22-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,237	14750	8,347	
22-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,342	14500	8,205	
22-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,066	14500	8,205	
22-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,260	14750	8,347	
Rata-rata Kuat Tekan Beton Ringan					8,205	0,155

**Gambar 4.15. Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari****Tabel 4.19. Nilai Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari**

Tanggal		Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Berat (kg)	Beban (kg)	Tegangan (MPa)	Standar Deviasi
Dicor	Ditest					
15-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,681	17050	9,648	
15-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,505	20000	11,318	
15-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,765	19500	11,035	
15-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,674	16500	9,337	
15-04-2009	29-04-2009	Silinder – 176,715	8,616	17000	9,620	
Rata-rata Kuat Tekan Beton Ringan					10,192	0,816



Gambar 4.16. Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari

Tabel 4.20. Nilai Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari

Tanggal		Bentuk & Luas penampang (cm ²)	Berat (kg)	Beban (kg)	Tegangan (MPa)	Standar Deviasi
Dicor	Ditest					
8-4-2009	6-5-2009	Silinder – 176,715	8,225	19500	11,035	
8-4-2009	6-5-2009	Silinder – 176,715	8,535	22000	12,449	
8-4-2009	6-5-2009	Silinder – 176,715	8,555	22500	12,732	
8-4-2009	6-5-2009	Silinder – 176,715	8,850	25000	14,147	
8-4-2009	6-5-2009	Silinder – 176,715	8,985	25000	14,147	
Rata-rata Kuat Tekan Beton Ringan					12,902	1,168



Gambar 4.17. Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari

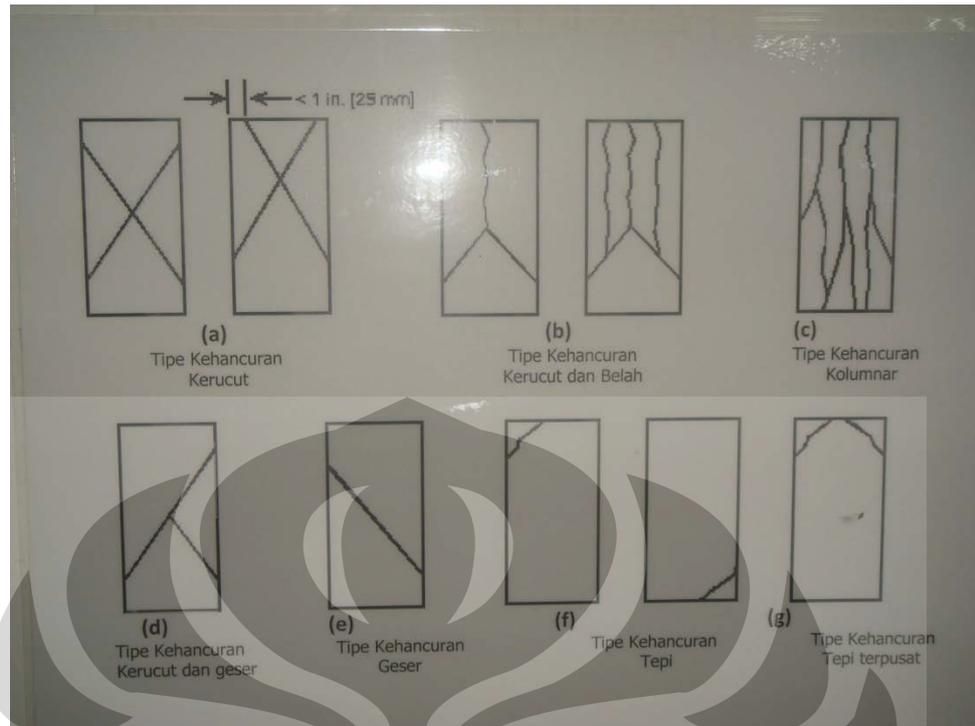
Dari tabel 4.18, 4.19 dan 4.20, dapat dilihat nilai kuat tekan rata-rata beton ringan yang dihasilkan pada umur 28 hari lebih besar dari pada umur 14 hari dan nilai kuat tekan rata-rata beton ringan yang dihasilkan pada umur 14 hari lebih besar dari pada umur 7 hari. Nilai kuat tekan beton ringan pada umur 28 hari sebesar 129,022 kg/cm², hasilnya tidak sesuai dengan kuat tekan beton ringan yang ditargetkan yaitu sebesar 135 kg/cm². Hal ini dapat disebabkan oleh banyak hal diantaranya bentuk agregat yang digunakan, tekstur permukaan agregatnya,

gradasi agregat, kekuatan agregat dan ukuran maksimum agregat. Beton ringan dengan agregat kasar ringan plastik HDPE memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 12,074 MPa dan memiliki selisih 6,42% dari kuat tekan rata-rata yang dimiliki beton ringan dengan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples.



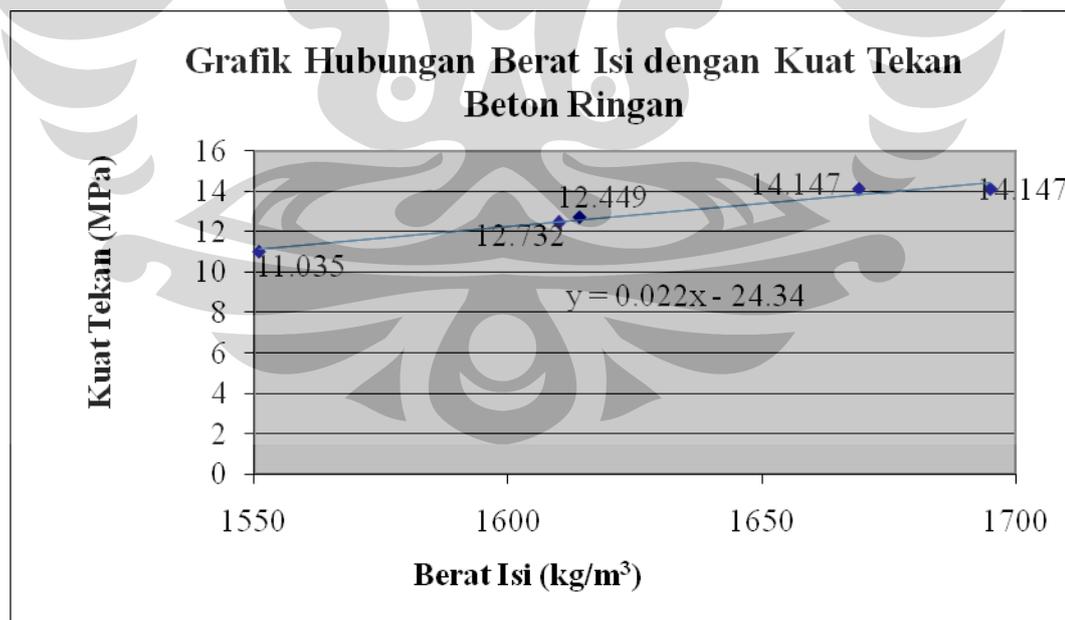
Gambar 4.18. Pola Retak Beton Ringan

Pola retak kuat hancur beton ringan yang menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples termasuk pola retak spesimen silinder tipe 3 yaitu kehancuran kolumnar. Pengklasifikasian pola retak spesimen silinder ini berdasarkan ASTM C 39/C 394-04a yang ditunjukkan gambar 4.19.



Gambar 4.19. Pola Retak menurut ASTM C 39/C 394-04a

Untuk hubungan nilai rata-rata kuat tekan beton ringan dengan nilai rata-rata berat isi kering udara beton ringan, dapat dilihat pada gambar 4.20. di bawah ini :



Gambar 4.20. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Isi Kering Beton Ringan

Gari grafik di atas dapat disimpulkan jika nilai berat isi kering beton ringan makin naik, maka makin tinggi nilai kuat tekan yang didapat dari beton ringan yang dihasilkan. Ini terjadi karena ikatan antara bahan pembentuk beton belum kuat.

4.5.5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton ringan menggunakan agregat kasar ringan dari daur ulang limbah botol plastik HDPE dengan campuran serat metal staples dilakukan pada saat beton berumur 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tarik belah beton ringan ini dapat dilihat pada lampiran D secara lengkap dan disajikan pada tabel 4.21, 4.22 dan 4.23 serta ditunjukkan oleh gambar 4.21, 4.22 dan 4.23, sebagai berikut :

Tabel 4.21. Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari

Tanggal		Berat (kg)	Beban (N)	fct (MPa)	Standar Deviasi
Dicor	Ditest				
15-04-2009	22-04-2009	8,500	72500	1,026	
15-04-2009	22-04-2009	8,699	77500	1,096	
15-04-2009	22-04-2009	8,455	72500	1,026	
15-04-2009	22-04-2009	8,644	75000	1,061	
Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah				1,052	0,029



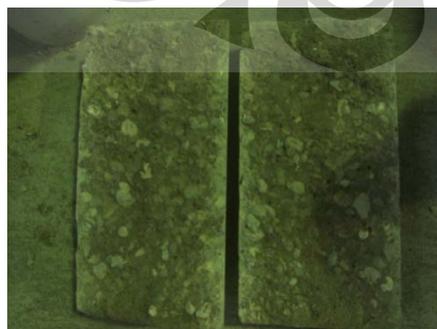
Gambar 4.21. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari

Tabel 4.22. Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari

Tanggal		Berat (kg)	Beban (N)	fct (MPa)	Standar Deviasi
Dicor	Ditest				
8-4-2009	22-04-2009	8,486	75000	1.061	
8-4-2009	22-04-2009	8,677	80000	1.132	
15-04-2009	29-04-2009	8,781	82500	1.167	
15-04-2009	29-04-2009	8,732	80000	1.132	
Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah				1,123	0,039

**Gambar 4.22. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari****Tabel 4.23. Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari**

Tanggal		Berat (kg)	Beban (N)	fct (N/mm ² =MPa)	Standar Deviasi
Dicor	Ditest				
8/4/2009	6/5/2009	8,460	75000	1,061	
8/4/2009	6/5/2009	8,535	92500	1,309	
8/4/2009	6/5/2009	8,560	95000	1,344	
8/4/2009	6/5/2009	8,615	105000	1,485	
Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah				1,300	0,153

**Gambar 4.23. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari**

Dari tabel 4.21, 4.22 dan 4.23, dapat dilihat nilai rata-rata kuat tarik belah beton umur 7 hari lebih kecil dari nilai rata-rata kuat tarik belah beton umur 14 hari. Sedangkan nilai rata-rata kuat tarik belah beton umur 14 hari lebih kecil dari nilai rata-rata kuat tarik belah beton umur 28 hari.

Untuk hubungan nilai rata-rata kuat tekan beton ringan dengan nilai rata-rata berat isi kering udara beton ringan, dapat dilihat pada gambar 4.24. di bawah ini :



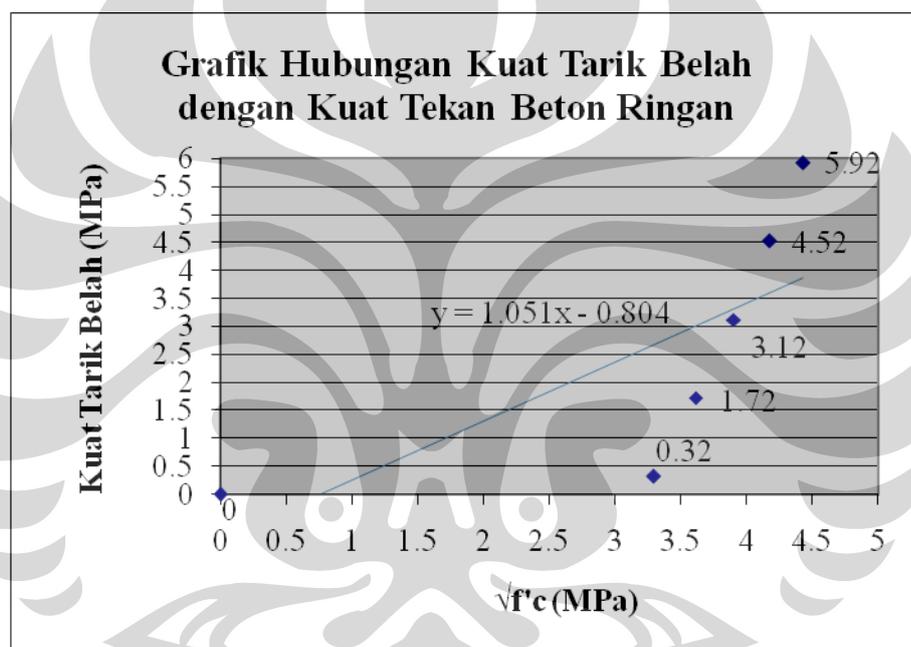
Gambar 4.24. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Berat Isi Kering Beton Ringan

Dari gambar 4.24 dapat disimpulkan, jika nilai berat isi kering beton ringan makin naik maka makin tinggi nilai kuat tarik belah yang didapat dari beton ringan yang dihasilkan. Hasil kesimpulan pengujian ini sama dengan hasil kesimpulan pengujian kuat tekan beton ringan. Penyebab dari kondisi ini juga karena ikatan antara bahan pembentuk beton belum kuat.

Dari persamaan yang dihasilkan dari grafik hubungan kuat tekan dengan berat isi kering beton ringan dan grafik hubungan kuat tarik belah dengan berat isi kering udara beton ringan, maka dapat dibuat tabel 4.24 dan grafik yang ditunjukkan gambar 4.25.

Tabel 4.24. Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Berdasarkan Berat Isi

Berat Isi Kering Beton Ringan = x	Kuat Tekan Beton Ringan = y (MPa) ($y=0,022x-24,34$)	$\sqrt{f_c}$ (Mpa)	Kuat Tarik Belah Beton Ringan = y (MPa) ($y=0,014x-22,08$)
	0	0	0
1600	10,86	3,2955	0,32
1700	13,06	3,6139	1,72
1800	15,26	3,9064	3,12
1900	17,46	4,1785	4,52
2000	19,66	4,4340	5,92



Gambar 4.25. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton Ringan

Dari grafik hubungan kuat tarik belah beton dengan kuat tekan beton yang ditunjukkan gambar 4.26, didapat persamaan linier yaitu $f_{ct} = 1,051\sqrt{f_c} - 0,804$.

4.5.6. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Dasar yang digunakan untuk menghitung harga modulus elastisitas pada beton normal maupun beton ringan adalah mengacu pada SNI 03-4169-1996 "Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis dan Rasio Poisson Beton dengan Kompresor Ekstensometer" dan ASTM C 469-02 "Standard Test Method For Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression".

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\varepsilon_2 - 0,000050}$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas

S_2 = Kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum

S_1 = Kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai $\varepsilon_1 = 50$ per juta

ε_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

Rasio poisson, didapat dengan rumus :

$$\mu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{\varepsilon_2 - 0,000050}$$

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 longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

Regangan aksial, didapat dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_{aksial}}{L_{aksial}}$$

Dimana :

ε = regangan aksial

ΔL_{aksial} = deformasi aksial

L_{aksial} = panjang aksial

Regangan lateral, didapat dengan rumus :

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta L_{lateral}}{L_{lateral}}$$

Dimana :

ε_t = regangan lateral

$\Delta L_{lateral}$ = deformasi lateral

$L_{lateral}$ = panjang lateral

Penentuan modulus elastisitas untuk satu benda uji didapat dengan merata-ratakan semua nilai modulus elastisitas rata-rata dari setiap siklus.

Nilai koreksi lateral :

$$\frac{g}{(e'h + e'g)} = \frac{d}{e'h}$$

$$d = \frac{g \times e'h}{(e'h + e'g)}$$

Dimana :

d = deformasi total benda uji / jarak dial efektif.

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

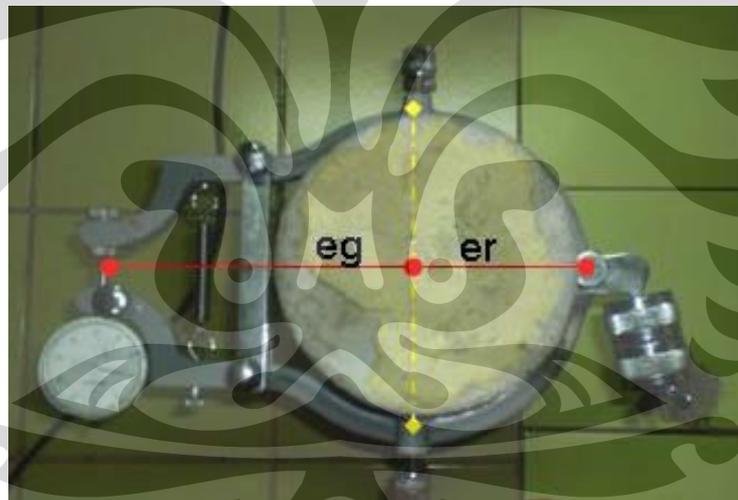
eh = eksentrisitas batang indikator pada bacaan horizontal.

eg = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji pada bacaan horizontal.

Nilai koreksi untuk pembacaan dial deformasi horizontal :

$eh = 9,5 \text{ cm}$; $eg = 19 \text{ cm}$

$$\text{nilai koreksi lateral} = \frac{eh}{(eh + eg)} = \frac{9,8 \text{ cm}}{(9,8 \text{ cm} + 19,4 \text{ cm})} = 0,336$$



Nilai koreksi aksial :

$$\frac{g'}{(e'r + e'g)} = \frac{d}{e'r}$$

$$d = \frac{g' \times e'r}{(e'r + e'g)}$$

Dimana :

d = deformasi lateral dari benda uji silinder / jarak dial efektif.

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

$e'h$ = eksentrisitas batang indikator pada bacaan vertikal.

$e'g$ = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji pada bacaan vertikal.

Nilai koreksi untuk pembacaan dial deformasi vertikal :

$eh = 14 \text{ cm}$; $eg = 14 \text{ cm}$

$$\text{nilai koreksi aksial} = \frac{e'h}{(e'h + e'g)} = \frac{14 \text{ cm}}{(14 \text{ cm} + 14 \text{ cm})} = 0,5$$

Hasil penelitian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol shampo plastik HDPE dengan bahan tambah staples dapat dilihat pada lampiran D dan ditunjukkan oleh gambar 4.26.



Gambar 4.26. Pengujian Modulus Elastisitas Beton Ringan

Dari lampiran tersebut, terlihat bahwa dengan komposisi campuran yang sama dari ketiga beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan tersebut didapat perbedaan nilai modulus elastisitas. Hal ini disebabkan karena modulus elastisitas beton ringan dipengaruhi oleh kandungan pasta semen dan volume agregat kasar ringan buatan dalam campuran beton. Sehingga perbedaan gradasi agregat halus yang digunakan dalam penelitian tidak berpengaruh pada nilai modulus elastisitas beton ringan yang dihasilkan.

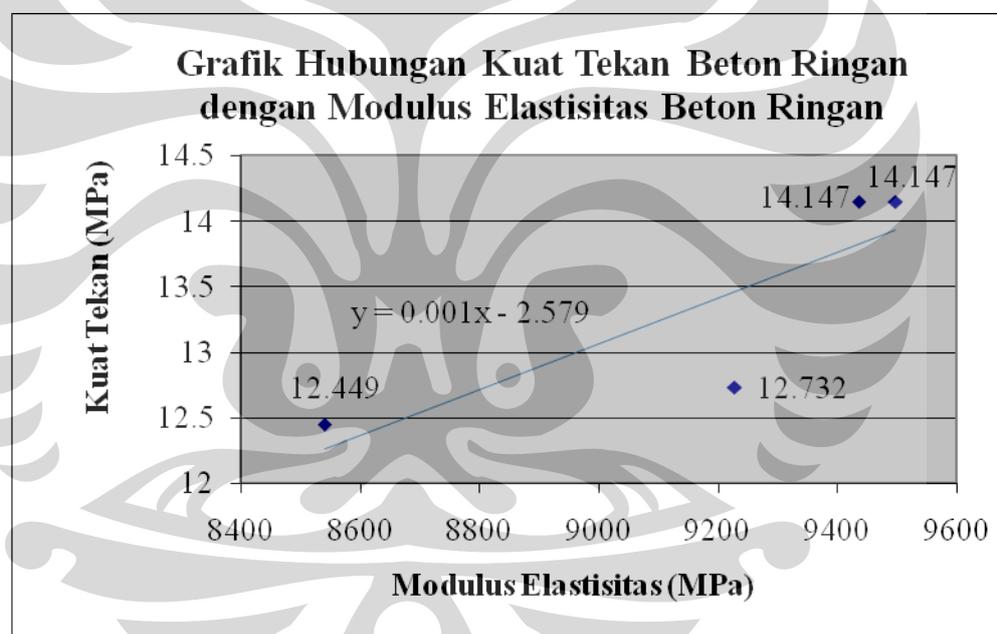
Angka poisson yang dihasilkan jauh lebih besar dari ACI 213R-79 memberikan nilai yang bervariasi untuk perbandingan Poisson antara 0,15-0,25 untuk beton ringan dengan pasir sebagai agregat halus. Setelah dilakukan pengujian modulus elastisitas dengan 3 kali siklus pada masing-masing sampel,

kemudian dilakukan uji tekan terhadap sampelnya. Tegangan yang digunakan hanya 40% dari tegangan maksimumnya tetapi sampel sudah berdeformasi tetap.

Untuk hubungan modulus elastisitas beton ringan rata-rata dengan nilai rata-rata kuat tekan, dapat dilihat pada tabel 4.25 dan gambar 4.28. di bawah ini :

Tabel 4.25. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Beton

Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Standar Deviasi	Rasio Poisson	Standar Deviasi
1	12,449	8540,6968		0,3012	
2	12,732	9228,2328		0,2444	
3	14,147	9497,7767		0,2340	
4	14,147	9436,9598		0,2378	
Nilai rata-rata	13,369	9175,9165	380,1245	0,2544	0,0273



Gambar 4.27. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan dengan Modulus Elastisitas Beton Ringan

Dari gambar 4.27 didapatkan persamaan regresi $f'c = 0,001E - 2,579$ dan disimpulkan jika nilai modulus elastisitas beton ringan makin naik maka makin tinggi nilai kuat tarik belah beton ringan yang dihasilkan. Ini mungkin terjadi karena kecepatan pemberian beban pada saat pengujian modulus elastisitas.

4.6. Analisa Biaya

Setelah melakukan penelitian terhadap agregat kasar ringan buatan dari limbah botol shampo plastik HDPE dengan bahan tambah staples, maka perlu dilakukan analisa biaya untuk mengetahui nilai ekonomis bahan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol shampo plastik HDPE dengan bahan tambah staples yang diproduksi untuk campuran beton ringan. Selain syarat kekuatan, suatu bahan yang akan digunakan untuk tujuan konstruksi juga harus ekonomis.

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

- ◆ 1 kg botol shampo plastik HDPE berbagai merk = Rp. 7500,-
- ◆ 1 ltr minyak tanah eceran = Rp. 9000,-
- ◆ 1 kardus kecil staples = Rp. 3300,-

Setelah melakukan pengujian berulang-ulang pada proses pembuatan agregat kasar ringan dari limbah botol plastik (HDPE), maka pada penelitian ini diperoleh penggunaan bahan baku optimum dimana untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan dibutuhkan sekitar 2 kg potongan botol plastik. Hal ini terjadi karena banyaknya bahan yang mengalami penguapan pada saat pembakaran, sedangkan kebutuhan minyak tanahnya \pm 500 ml. Perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan dengan mengambil botol plastik dari tempat pengumpulan limbah botol-botol plastik, adalah sebagai berikut :

- 2 kg botol shampo plastik HDPE (@Rp.7500,-/kg) =Rp.15000,-
 - 20 gr staples (\pm 1 kardus kecil) =Rp. 3300,-
 - 0,5 ltr minyak tanah =Rp. 4500,- +
- Rp.22800,-

Dengan biaya langsung yang dikeluarkan sebesar Rp.22800,-/kg agregat, penulis menganggap biaya produksi agregat kasar ringan masih belum ekonomis. Namun biaya produksi ini dapat digunakan sebagai acuan atau pedoman bagi pengujian-pengujian selanjutnya, yaitu penelitian mengenai karakteristik agregat kasar ringan dari limbah botol plastik dan penggunaannya pada campuran 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 daur ulang limbah botol shampo plastik HDPE dengan campuran serat metal alloy (staples) tidak dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar ringan pada umumnya untuk campuran konstruksi beton ringan struktural. Hal ini berdasarkan beberapa alasan, antara lain :

- Berdasarkan SNI 03-3449-2002 "Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural", Agregat kasar ringan buatan dari daur ulang limbah botol shampo plastik HDPE dengan campuran serat metal staples memiliki nilai rata-rata kuat tekan silinder (15×30) cm mencapai 9,903 MPa dan benda uji yang dihasilkan menyusut 2 cm dari tinggi benda uji yang diinginkan. Nilai rata-rata kuat tekan beton ringan yang dihasilkan pada penggunaan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples umur 28 hari yaitu 12,902 MPa. Nilai ini lebih kecil dari nilai kuat tekan yang ditargetkan ($f'_{c_{Br}}$) yaitu memiliki selisih 4,43%.
- Berat jenis agregat plastik yang dihasilkan 0,953. Lebih rendah dari berat jenis air 0,998 kg/liter sehingga agregat kasar ringan ini mengambang di dalam air dan menyulitkan pada saat pembuatan campuran beton ringan. Bila terjadi slump over (encer) maka dapat mengakibatkan segregasi dan agregat kasar ringan yang digunakan akan mengambang (naik ke permukaan beton).
- Tekstur permukaan agregat kasar ringan yang licin dan mengkilap dapat mengurangi ikatan antara pasta semen dengan agregat kasar ringan yang menyebabkan rendahnya mutu dan kualitas beton yang dihasilkan.

- Dari hasil pengujian abrasi dengan menggunakan mesin *Los Angeles Abration*, didapat tingkat keausan agregat kasar plastik HDPE berserat metal staples sebesar 11,66%.
 - Hasil pengujian gradasi aktual agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples berada di bawah batas atas dan batas bawah. Ini dapat mempengaruhi mutu dan kualitas beton yang dihasilkan karena gradasi agregat kasar ringan yang tidak ideal dapat membentuk rongga pada beton.
2. Pengujian yang dilakukan terhadap beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples didapatkan hasil sebagai berikut :
- ◆ Komposisi perbandingan semen dengan pasir yang dipakai dalam penelitian ini yaitu 1:4 dan memakai faktor air semen (fas) 0,4.
 - ◆ Slump yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 6-8 cm.
 - ◆ Berat isi beton segar yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yaitu $1628,5 \text{ kg/m}^3$.
 - ◆ Berat isi kering beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yaitu 1628 kg/m^3 .
 - ◆ Kuat tekan beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yaitu 12,902 MPa.
 - ◆ Pola retak kuat hancur beton ringan termasuk pola retak spesimen silinder tipe 3 yaitu kehancuran kolumnar.
 - ◆ Kuat tarik belah beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yaitu 1,3 MPa.
 - ◆ Nilai kuat tarik belah beton ringan adalah 9,925% nilai kuat tekan beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples.
 - ◆ Nilai modulus elastisitas beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples yaitu 9175,9165 Mpa dan memiliki rasio poisson 0,2544.
3. Hasil pengujian agregat kasar ringan dari botol shampo plastik HDPE dengan campuran serat metal staples dibandingkan hasil pengujian agregat kasar

ringan botol pelumas tipe HDPE [Mochamad Agus Hariyana, Skripsi UI, 2008][17], didapatkan :

- Berat Jenis agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih 0,105% dari berat jenis agregat kasar ringan HDPE tanpa serat dan memiliki selisih 4,7% dari berat jenis agregat kasar ringan alami.
- Berat isi agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih 8,257% dari berat isi agregat kasar ringan HDPE tanpa serat dan memiliki selisih 54,545% dari berat isi agregat kasar ringan alami.
- Penyerapan air agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih 57,821% dari penyerapan air agregat kasar ringan HDPE tanpa serat dan memiliki selisih 90,315% dari penyerapan air agregat kasar ringan alami. Ini mengakibatkan kebutuhan air pada rancang campur beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan HDPE berserat metal staples lebih sedikit dari kebutuhan air rancang campur beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan HDPE tanpa serat dan agregat kasar ringan alami.
- Nilai abrasi agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih 60,661% dari nilai abrasi agregat kasar ringan HDPE tanpa serat dan memiliki selisih 35,678% dari nilai abrasi agregat kasar ringan alami.
- Rancang campur beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih semen 39,73%, agregat halus 12,89%, agregat kasar 18,83% dan air 43,97% dari hasil rancang campur beton ringan agregat kasar ringan plastik HDPE tanpa serat.
- Beton ringan segar yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples mempunyai nilai slump yang sama dengan nilai slump beton ringan segar yang dihasilkan agregat kasar ringan HDPE tanpa serat.
- Berat isi beton ringan segar yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih 0,215% dari berat isi beton

ringan segar yang dihasilkan agregat kasar ringan HDPE tanpa serat. Ini diakibatkan berat jenis agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples lebih kecil dari berat jenis agregat kasar ringan HDPE tanpa serat. Ini juga penyebab berat isi kering beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples lebih kecil dari berat isi kering beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan HDPE tanpa serat.

- Beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples mempunyai kuat tekan bentuk silinder ukuran (15×30) cm yang lebih kecil dari nilai kuat tekan beton ringan bentuk silinder ukuran (15×30) cm yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE tanpa serat yaitu memiliki selisih 6,42%.
 - Nilai modulus elastisitas beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples memiliki selisih 57,24% dari nilai modulus elastisitas beton ringan yang dihasilkan agregat kasar ringan HDPE tanpa serat.
4. Hasil gradasi agregat halus pada penelitian ini tidak banyak mempengaruhi sifat-sifat mekanis beton ringan yang dihasilkan. Dalam hal ini kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.
 5. Pengaruh bentuk, tekstur permukaan dan gradasi agregat kasar ringan berpengaruh terhadap mutu dan kualitas beton yang dihasilkan. Jika gradasi aktual agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples berada diantara batas atas dan bawah agregat kasar ringan, maka dapat menghasilkan beton yang mutu dan kualitasnya baik.

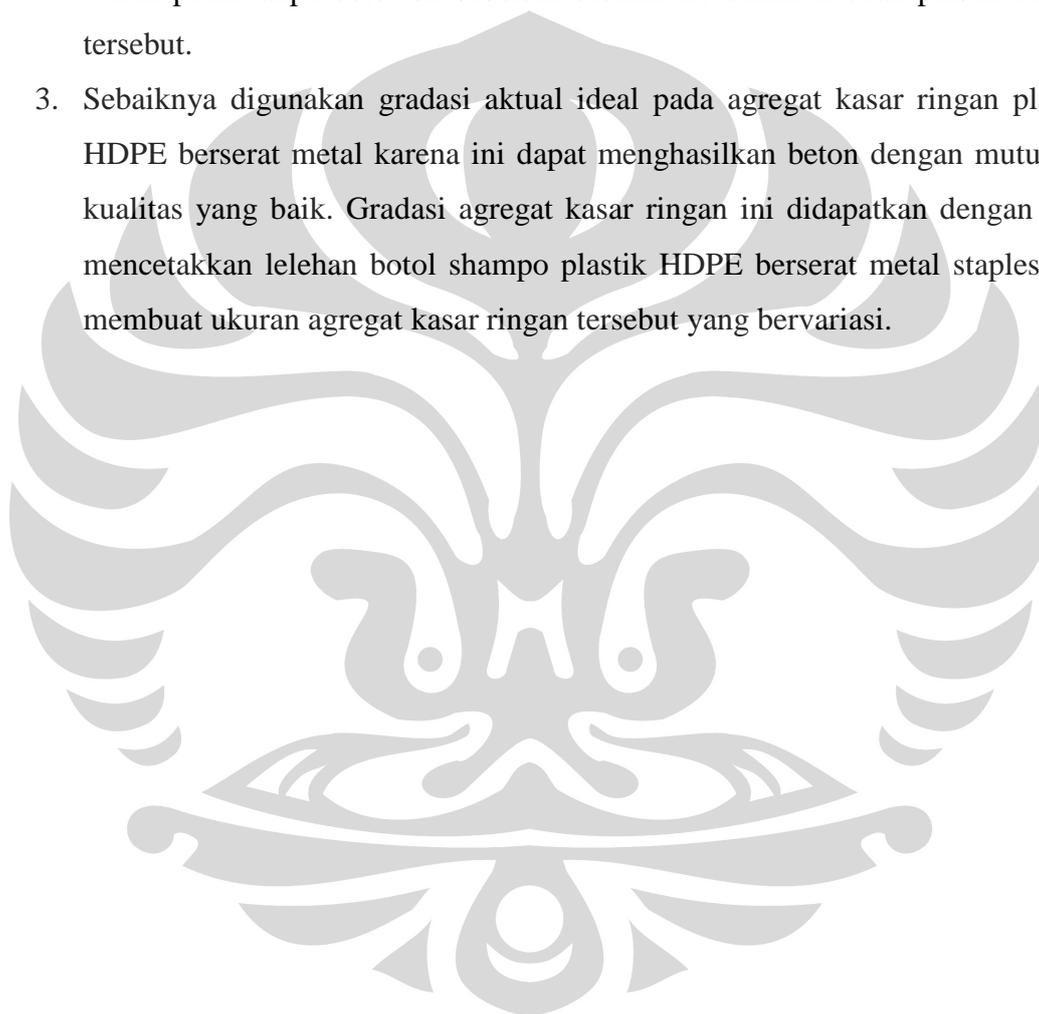
5.2. Saran

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

1. Perlu diperhatikan dalam rancang campur beton dengan menggunakan agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal staples karena berat jenis agregat ini

lebih ringan dari berat jenis air. Ini dapat menyebabkan terjadinya segregasi dan agregat kasar ringan mengambang pada beton.

2. Pada penelitian ini dicampurkan 1% dari berat botol shampo plastik HDPE warna putih tanpa botol oli sebelum dibakar, sedangkan pada penelitian selanjutnya dapat dicampurkan 2 – 5% dari berat botol shampo plastik HDPE warna putih tanpa botol oli sebelum dibakar ke dalam lelehan plastik HDPE tersebut.
3. Sebaiknya digunakan gradasi aktual ideal pada agregat kasar ringan plastik HDPE berserat metal karena ini dapat menghasilkan beton dengan mutu dan kualitas yang baik. Gradasi agregat kasar ringan ini didapatkan dengan cara mencetakkan lelehan botol shampo plastik HDPE berserat metal staples dan membuat ukuran agregat kasar ringan tersebut yang bervariasi.

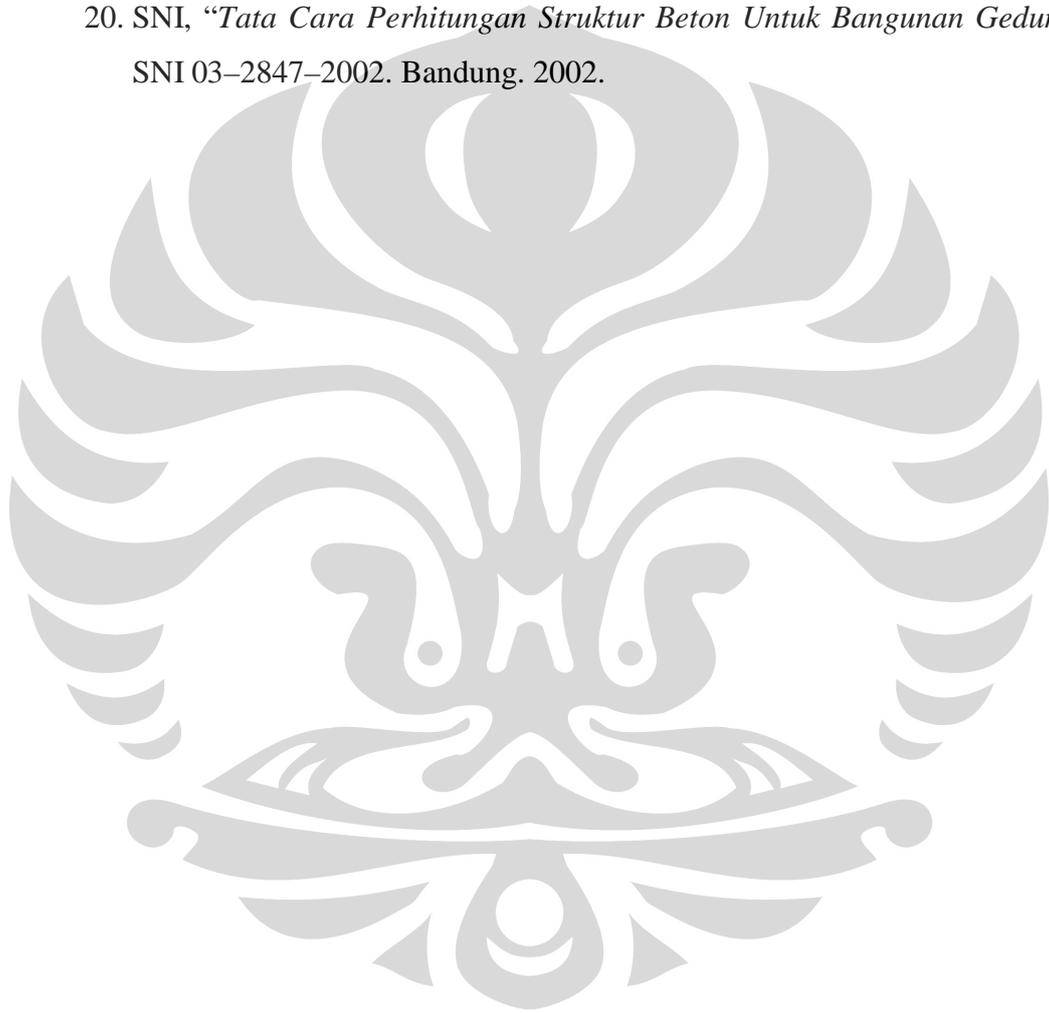


DAFTAR REFERENSI

1. ACI Committee 213R-79, “*Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*”, (ACI Manual of Concrete Practice, 1979).
2. ASTM, “*Concrete and Aggregates*”, Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia : ASTM, 2002.
3. Devy Nathaniel, “*Uji Beban Pada Pelat Tipis Terbuat dari Mortar Berserat Metal dengan Variasi Kadar Serat 0%, 1%, 2% dan 3% dari Volume Mortar*”, Skripsi UI, 2008.
4. Dipohusodo Istimawan, “*Struktur Beton Bertulang*”, (Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1994)
5. Jurnal HDPE. Chapter 1: History and Physical Chemistry of HDPE. Oleh Plastics Pipe Institute
6. Mochamad Agus Hariyana, “*Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Buatan Dari Limbah Botol Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Dan Pengaruhnya Terhadap Sifat-Sifat Mekanis Beton Ringan*”, Skripsi UI, 2008.
7. Mulyono, T. 2003. “*Teknologi Beton*”, Andi Yogyakarta, 2003.
8. Neville, A.M., “*Properties of Concrete*”, 4th Edition, London: Pitman Books Ltd, 1981.
9. Nurul Hakiki, “*Kajian Karakteristik Mekanik Dan Fisik Beton Beragregat Kasar Potongan Bambu*”, Skripsi UI, 2007.
10. Revisi SNI 03–1969–1990, “*Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*”.
11. Revisi SNI 03–1972–1990, “*Cara Uji Slump Beton*”.
12. Shinta Dwisetyowati, “*Studi Sifat-sifat Mekanis Beton yang Menggunakan Agregat Kasar dari Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate (PET)*”, Skripsi UI, 2007.
13. SNI 03–1973–200x, “*Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton*”.
14. SNI 03–1974–1990, “*Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*”.
15. SNI 03–2461–2002, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan*”.

Struktur".

16. SNI 03–2491–2002, "*Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*".
17. SNI 03–3449–2002, "*Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*".
18. SNI 03–4169–1996, "*Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis dan Rasio Poison Beton Dengan Kompresor Ekstensometer*".
19. SNI 03–4812–1998, "*Pengujian Kuat Tarik Beton Secara Langsung*".
20. SNI, "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*", SNI 03–2847–2002. Bandung. 2002.



**TEST FOR SPECIFIC GRAVITY
AND ABSORPTION-TEST OF COARSE AGGREGATE
(ASTM)**

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah botol shampo plastik (HDPE) + staples
 Date Tested : 06 Nopember 2008

	I	II
A) Weight of oven - dry specimen in air (gr)	982,2	979,8
B) Weight of ssd specimen in air (gr)	1000	1000
C) Weight of saturated specimen in water (gr)	-59,2	-40,4
Bulk Specific Gravity $= \frac{B}{B-C}$	0,944	0,961
Average of above	0,953	
Apparent Specific Gravity $= \frac{A}{A-C}$	0,943	0,96
Average of above	0,952	
Absorption (%) $= \frac{B-A}{A} \times 100\%$	1,812	2,062
Average of above (%)	1,937	

**TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOIDS IN COARSE AGGREGATE
(ASTM)**

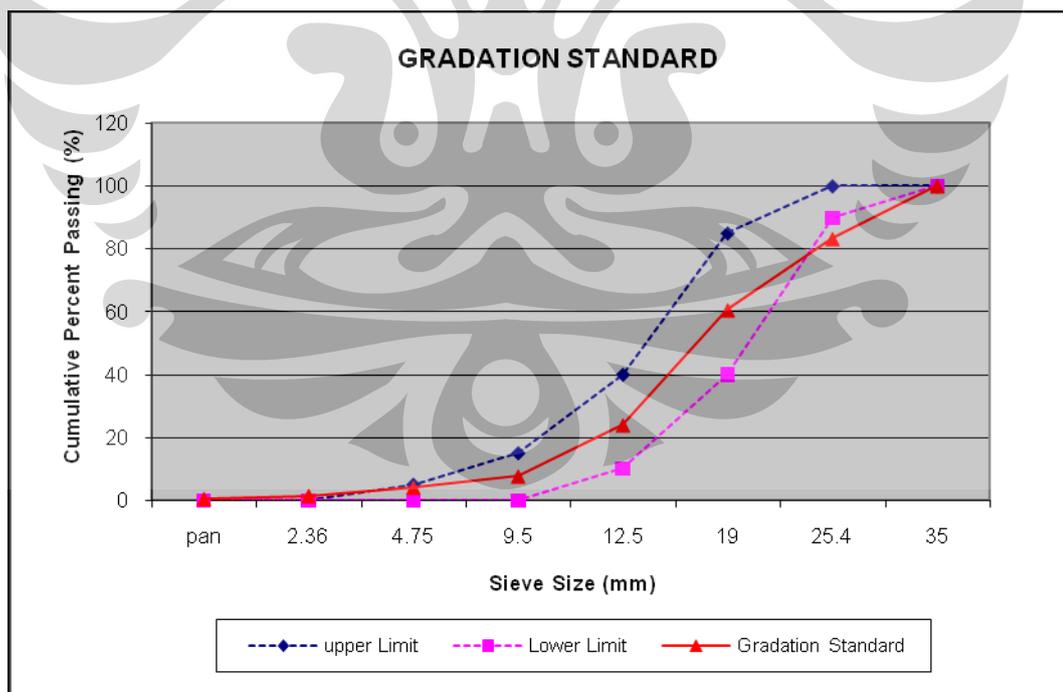
Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah botol shampo plastik (HDPE) + staples
 Date Tested : 06 Nopember 2008

	I	II
a) Weight of Measure (kg)	4,708	4,708
b) Weight of Measure + Water (kg)	12,674	12,674
c) Weight of Measure and Sample (kg)	8,752	8,617
d) Weight of Sample (kg)	4,044	3,909
e) Volume of Measure (liter)	7,966	7,966
f) Unit weight of aggregate (kg/liter)	0,508	0,491
B) Average of above (kg/liter)	0,500	
A) Bulk Spesific Gravity of Aggregate	0,944	0,961
W) Unit Weight of Water (kg/liter)	0,998	
Void (%)	46,928	49,485
Average	48,207	
$d = c - a$ $e = b - a$ $f = \frac{d}{e}$	Void (%) $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$	

SIEVE ANALYSIS OF COARSE AGGREGATE (ASTM C 33-03)

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah botol shampo plastik (HDPE) + staples
 Date Tested : 06 Nopember 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 %
25.4	820	16.331	16.331	867	17.278	17.278	16.805	16.805	83.195
19	1192	23.740	40.072	1086	21.642	38.920	22.691	39.496	60.504
12.5	1874	37.323	77.395	1809	36.050	74.970	36.687	76.183	23.817
9.5	795	15.833	93.228	835	16.640	91.610	16.237	92.419	7.581
4.76	165	3.286	96.515	194	3.866	95.476	3.576	95.995	4.005
2.36	110	2.191	98.705	153	3.049	98.525	2.620	98.615	1.385
PAN	44	0.876	99.582	56	1.116	99.641	0.996	99.612	0.388
FM	5,021			5,018					



**PENGUJIAN KEAUSAN (ABRASION) UNTUK AGREGAT
KASAR DENGAN MENGGUNAKAN MESIN LOS ANGELES
(ASTM)**

Sample : Agregat kasar ringan buatan
Source : Limbah botol plastik (HDPE) + staples
Date Tested : 06 Nopember 2008

Ukuran Saringan				Ukuran Berat Contoh (gram)		
Lolos		Tertahan		Grading - 1	Grading-2	Grading-3
76,2	3"	63,5	2½"			
63,5	2½"	50,8	2"			
50,8	2"	37,5	1½"			
37,5	1½"	25,4	1"			
25,4	1"	19,0	¾"			
19,0	¾"	12,5	½"			
12,5	½"	9,5	⅜"			2.500
9,5	⅜"	6,3	¼"			2.500
6,3	¼"	4,75	# 4			
4,75	# 4	2,36	# 8			
Berat total contoh sebelum di uji (A)						5000
Berat contoh tertahan pada saringan 1,7 mm setelah di uji (B)						4417
Keausan = $\frac{A-B}{A} \times 100\%$						11,66 %

**PENGUJIAN KUAT TEKAN AGREGAT KASAR RINGAN PLASTIK
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK KUBUS UKURAN (5 × 5 × 5) CM**

10 Nopember 2008

No.	Berat (kg)	Dimensi (cm)	Luas Permukaan (cm ²)	Berat Jenis	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata-Rata (kg/cm ²)
1	0,116	4,5 × 4,6 × 4,8	20,7	0,928	110	103,68
2	0,113	4,7 × 4,4 × 4,6	20,68	0,904	100	
3	0,115	4,5 × 4,7 × 4,6	21,15	0,92	101	



**Gambar Pengujian Agregat Kasar Ringan HDPE Berserat Metal Alloy
(Staples) Kubus Ukuran (5×5×5) cm**

**PENGUJIAN KUAT TEKAN AGREGAT KASAR RINGAN PLASTIK
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK KUBUS UKURAN (15 × 15 × 15) CM**

31 Oktober 2008

No.	Berat (kg)	Dimensi (cm)	Luas Permukaan (cm ²)	Berat Jenis	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata-Rata (kg/cm ²)
1	2,667	14,1 × 13,7 × 14,3	193,17	0,9653	47,109	42,377*
2	2,736	14,0 × 13,8 × 14,2	193,2	0,9637	39,855	
3	2,761	14,2 × 13,5 × 13,8	191,7	0,9645	40,167	

*Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, spesimen sudah terlebih dahulu retak.



**Gambar Pengujian Agregat Kasar Ringan HDPE Berserat Metal Alloy
(Staples) Kubus Ukuran (15×15×15) cm**

**PENGUJIAN KUAT TEKAN AGREGAT KASAR RINGAN PLASTIK
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK SILINDER (15 × 30) CM**

24 Nopember 2008

Berat (kg)	Dimensi (cm)	Luas Permukaan (cm²)	Berat Jenis	Beban (kg)	Kuat Tekan (kg/cm²)
4,371	15 × 30	176,715	0,928	17500	99,03



Gambar Pengujian Agregat Kasar Ringan HDPE Berserat Metal Alloy (Staples) Silinder Ukuran (15×30) cm

**PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS MENGGUNAKAN ALAT
PUNDIT TERHADAP AGREGAT KASAR RINGAN PLASTIK HDPE
BERSERAT METAL DENGAN SPESIMEN BERBENTUK SILINDER**

(15 × 30) CM

24 Juni 2009

Data Pundit							
Berat (gr)	Diameter (mm)	Sebelum Capping			Massa Jenis (kg/m ³)	Nilai ME Dinamis	Nilai ME Statis
		Panjang (mm)	Transit Time (s)	v		Sebelum Capping	Sebelum Capping
3875	139	287	268	1,07	889,75	2400,96	320,02
	139	288	269	1,07	886,67	2400,96	320,02
	139	286	267	1,07	892,87	2400,96	320,02



Gambar Pengujian Modulus Elastisitas Menggunakan Alat Pundit Terhadap Agregat Kasar Ringan HDPE Berserat Metal Alloy (Staples) Silinder Ukuran (15×30) cm

e'r		14 cm	e'h	8.6 cm	
e'g		14 cm	e'g	17.7 cm	
nilai koreksi aksial		0.5	nilai koreksi lateral	0.3270	
vertikal	28 cm		horizontal	26.3 cm	
Tgl Cor	21/6/2009	Berat Benda Uji	3.750 kg	Sampel	1
Tgl Tes	07/01/2009	Beban	17500 kg		

L aksial (mm)	202	Luas sampel (cm ²)	153.9380
Panjang sampel (mm)	290		
Diameter sampel (mm)	140		

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial (mm)	Δ aksial (mm)	g lateral (mm)	Δ lateral (mm)	ε aksial	ε lateral	E _c (kg/cm ²)	μ
Siklus 1									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	5858.7887	0.6991
80	0.520	0.0202	0.0101	0.0034	0.0011	0.000050	0.000008		
1000	6.496	0.2500	0.1250	0.4500	0.1471	0.000619	0.001051		
2000	12.992	0.7900	0.3950	1.6000	0.5232	0.001955	0.003737		
3000	19.488	1.3800	0.6900	2.2500	0.7357	0.003416	0.005255		
4000	25.984	2.4500	1.2250	2.3000	0.7521	0.006064	0.005372		
5000	32.481	2.7500	1.3750	2.3000	0.7521	0.006807	0.005372		
6000	38.977	2.9500	1.4750	2.3000	0.7521	0.007302	0.005372		
7000	45.473	3.1200	1.5600	2.3000	0.7521	0.007723	0.005372		
6000	38.977	2.9000	1.4500	2.3000	0.7521	0.007178	0.005372		
5000	32.481	2.7000	1.3500	2.3000	0.7521	0.006683	0.005372		
4000	25.984	2.4000	1.2000	2.3000	0.7521	0.005941	0.005372		
3000	19.488	1.3400	0.6700	2.2500	0.7357	0.003317	0.005255		
2000	12.992	0.7600	0.3800	1.6500	0.5395	0.001881	0.003854		
1000	6.496	0.4700	0.2350	0.4000	0.1308	0.001163	0.000934		
Siklus 2									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	6222.4070	0.7442
101	0.656	0.0202	0.0101	0.0051	0.0017	0.000050	0.000012		
1000	6.496	0.2000	0.1000	0.5000	0.1635	0.000495	0.001168		
2000	12.992	0.9500	0.4750	1.7500	0.5722	0.002351	0.004087		
3000	19.488	1.6000	0.8000	2.1500	0.7030	0.003960	0.005022		
4000	25.984	2.2300	1.1150	2.3000	0.7521	0.005520	0.005372		
5000	32.481	2.5700	1.2850	2.3000	0.7521	0.006361	0.005372		
6000	38.977	2.7700	1.3850	2.3000	0.7521	0.006856	0.005372		
7000	45.473	2.9300	1.4650	2.3000	0.7521	0.007252	0.005372		
6000	38.977	2.9200	1.4600	2.3000	0.7521	0.007228	0.005372		
5000	32.481	2.6200	1.3100	2.3000	0.7521	0.006485	0.005372		
4000	25.984	1.8300	0.9150	2.3000	0.7521	0.004530	0.005372		
3000	19.488	1.7200	0.8600	2.2000	0.7194	0.004257	0.005139		
2000	12.992	1.0000	0.5000	1.9200	0.6278	0.002475	0.004485		
1000	6.496	0.5900	0.2950	0.4500	0.1471	0.001460	0.001051		
Siklus 3									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	6876.3329	0.8154
31	0.201	0.0202	0.0101	0.0017	0.0006	0.000050	0.000004		
1000	6.496	0.6500	0.3250	0.5500	0.1798	0.001609	0.001285		
2000	12.992	0.9500	0.4750	1.8500	0.6049	0.002351	0.004321		
3000	19.488	1.3500	0.6750	2.0500	0.6703	0.003342	0.004788		
4000	25.984	2.0800	1.0400	2.3000	0.7521	0.005149	0.005372		
5000	32.481	2.3300	1.1650	2.3000	0.7521	0.005767	0.005372		
6000	38.977	2.5000	1.2500	2.3000	0.7521	0.006188	0.005372		
7000	45.473	2.6800	1.3400	2.3000	0.7521	0.006634	0.005372		
6000	38.977	2.4000	1.2000	2.3000	0.7521	0.005941	0.005372		
5000	32.481	1.6000	0.8000	2.3000	0.7521	0.003960	0.005372		
4000	25.984	1.4500	0.7250	2.3000	0.7521	0.003589	0.005372		
3000	19.488	0.9500	0.4750	2.1000	0.6867	0.002351	0.004905		
2000	12.992	0.6500	0.3250	1.8000	0.5886	0.001609	0.004204		
1000	6.496	0.2500	0.1250	0.6000	0.1962	0.000619	0.001401		
Rata-rata								6319.1762	0.7529

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

Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok
 Date Tested : 03 September 2008

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

TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOIDS IN FINE AGGREGATE

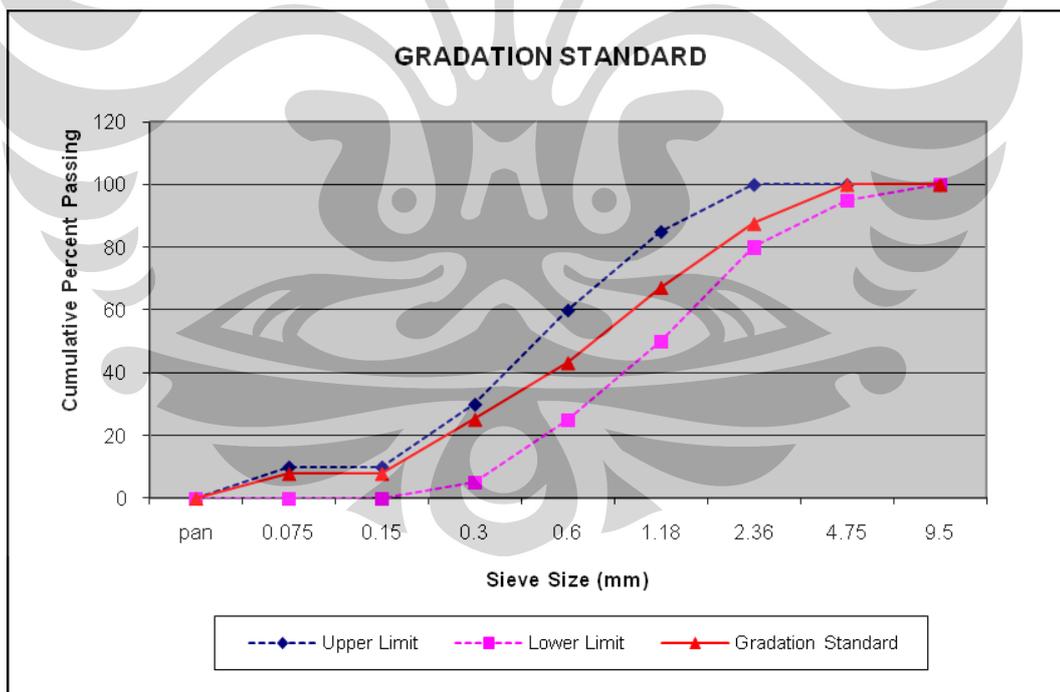
Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok
 Date Tested : 03 September 2008

	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)	1,4445	1,3865
B) Average of above (kg/liter)	1,4155	
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate	2,402	2,343
W) Unit Weight of Water (kg/liter)	0,998	
Void (%)	42,855	42,855
Average	42,855	
$d = c - a$ $e = b - a$	$f = \frac{d}{e}$	$\text{Void (\%)} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100\%$

SIEVE ANALYSIS OF FINE AGGREGATE
(ASTM C 330-80)

Sample : Pasir alam
Source : Cimangkok
Date Tested : 03 September 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 %	CUM %	AVERAGE PASSING (%)
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	100
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
0,075	0	0	92	0	0	92,2	0	92,1	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
(ASTM C 117 – 95)**

Sample : Pasir alam
Source : Cimangkok
Date Tested : 03 September 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 (%) $A = \frac{B - C}{B} \times 100\%$	2,2	2,0
Average of above (%)	2,1	

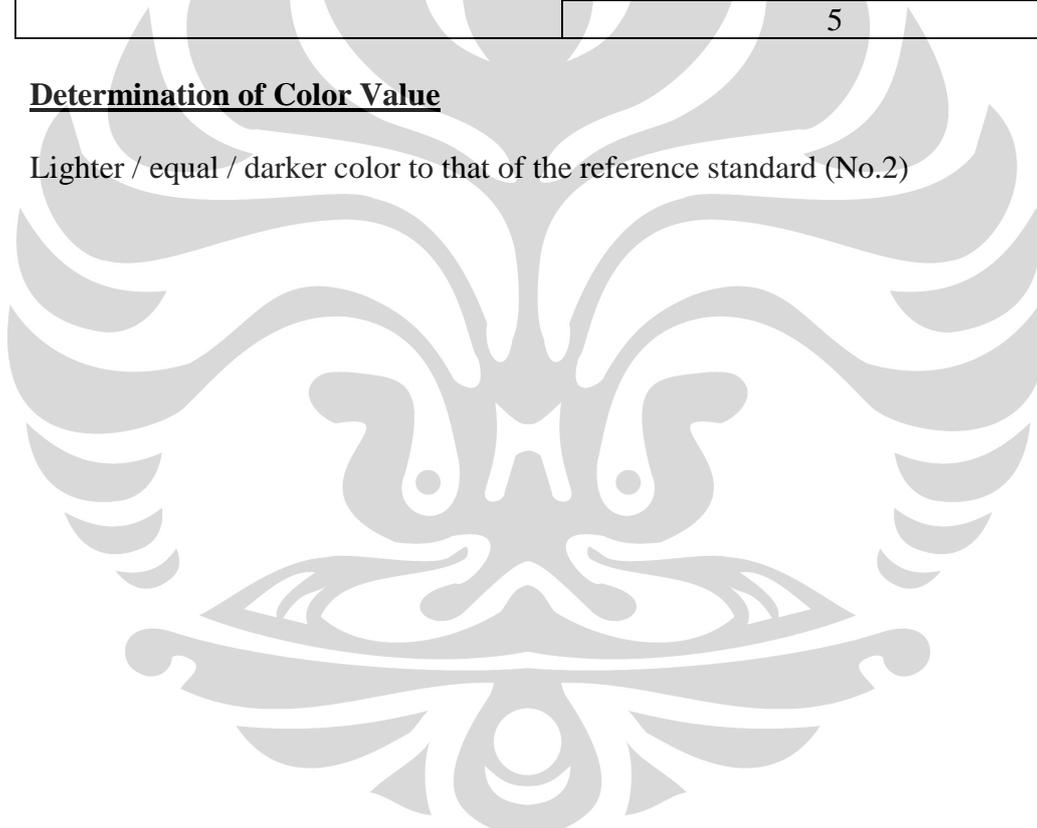
TEST FOR ORGANIC IMPURITIES IN FINE AGGREGATE
(ASTM C 40 – 99)

Sample : Pasir alam
Source : Cimangkok
Date Tested : 03 September 2008

Nearest Color of The Liquid of the Test Sample	Organic Plate Number
Lighter / Equal / Darker Color to	1
	2
	3 (standard)
	4
	5

Determination of Color Value

Lighter / equal / darker color to that of the reference standard (No.2)



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

I. Dengan Koreksi Terhadap Penyerapan dan Kadar Air Agregat Halus

Data Perencanaan

- Kuat tekan beton ringan (f'_{cB}) = 125 kg/cm²
- Kuat tekan beton ringan yang ditargetkan (f'_{cBr})

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

$$= 125 + 6,020 = 131,020 \text{ kg/cm}^2 \sim 135 \text{ kg/cm}^2$$

nilai M diambil berdasarkan SNI 03-2834-2000 butir 4.2.3.1.5

- Berat Isi beton ringan yang disyaratkan (BI_{Br}) = 1400 kg/m³
- Semen yang digunakan PCC (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	0,953
Penyerapan Air, % berat	1,937
Kadar Lengas, % 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 Specific Gravity</i>)	2,482
Penyerapan Air, % berat	4,063
Kadar Lengas, % berat	5,98

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'_{c_A}) = 99,03 kg/cm².
- Berdasarkan pengujian terhadap adukan mortar di laboratorium, di dapat kuat tekan adukan mortar (f'_{c_M}) = 168,095 kg/cm².
- Kuat Tekan Beton Ringan yang ditargetkan ($f'_{c_{Br}}$) = 131,020kg/cm²
- Syarat Jumlah Fraksi Agregat Kasar Ringan, n_f : $0,35 \leq n_f \leq 0,50$

Maka didapat nilai n_f :

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

$$n_f = \frac{\log(135,020/168,095)}{\log(99,03/168,095)}$$

$$n_f = 0,41 \text{ (memenuhi syarat } 0,35 \leq n_f \leq 0,5)$$

Menentukan Susunan Campuran Adukan (BI_M)

Didapatkan susunan campuran adukannya, sebagai berikut :

• Semen	= 250	kg/m ³
• Pasir	= 1050	kg/m ³
• Air	= 100	kg/m ³ +
Jumlah = Bobot isi total adukan		= 1400 kg/m ³

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

• Semen	= 250 × 0,41	= 102,5	kg
• Air	= 100 × 0,41	= 41	kg
• Pasir	= 1050 × 0,41	= 430,5	kg
• Agregat Kasar	= 1000 × 0,41 × 0,950	= 389,5	kg +
Jumlah = Bobot isi beton		= 963,5	kg

Koreksi susunan campuran beton terhadap kandungan air dalam agregat

Dengan memperhitungkan jumlah air yang dapat di serap oleh agregat ringan kasar yang digunakan, yaitu

$$\text{Penyerapan agregat ringan plastik} = 1,937 \%$$

$$\text{Kadar air} = 0 \%$$

Hal ini berarti agregat tersebut masih dapat menyerap air sebanyak 1,937 %, maka:

- Jumlah air yang ditambahkan $= 389,5 \times 0,01937 = 7,545 \text{ kg}$
- Kebutuhan air pencampur seluruhnya menjadi $= 41 + 7,545 = 48,545 \text{ kg}$
- Agregat kasar ringan plastik dikurangi menjadi $= 389,5 - 7,545 = 381,955 \text{ kg}$

Koreksi terhadap penyerapan dan kadar air agregat halus;

Penyerapan air agregat halus $= 4,063 \%$

Kadar air $= 5,98 \%$

- Jumlah air yang dikurangi $= \left(\frac{5,98 - 4,063}{100} \right) \times 430,5 = 8,253 \text{ kg}$
- Kebutuhan air setelah dikurangi menjadi $= 48 - 8,253 = 39,747 \text{ kg}$
- Agregat halus yang ditambahkan menjadi $= 430,5 + 8,253 = 438,753 \text{ kg}$

Susunan campuran beton ringan /m³ untuk uji coba setelah dikoreksi dan dibulatkan, menjadi

- Semen $= 102,5 \text{ kg}$
- Air Pencampur $= 40 \text{ kg}$
- Pasir $= 439 \text{ kg}$
- Agregat ringan kasar $= 382 \text{ kg}$

Volume pekerjaan = 30 Silinder ($\emptyset = 15 \text{ cm}$; $h = 30 \text{ cm}$) = 0,1590 m³

Proporsi Bahan =

- Semen $= 102,5 \times 0,1590 = 16,298 \text{ kg}$
- Air Pencampur $= 40 \times 0,1590 = 6,36 \text{ kg}$
- Pasir $= 439 \times 0,1590 = 69,801 \text{ kg}$
- Agregat ringan kasar $= 382 \times 0,1590 = 60,738 \text{ kg}$

Volume pekerjaan = 27 Silinder ($\emptyset = 15 \text{ cm}$; $h = 30 \text{ cm}$) = 0,1431 m³

Proporsi Bahan =

- Semen $= 102,5 \times 0,1431 = 14,668 \text{ kg}$
- Air Pencampur $= 40 \times 0,1431 = 5,724 \text{ kg}$
- Pasir $= 439 \times 0,1431 = 62,821 \text{ kg}$
- Agregat ringan kasar $= 382 \times 0,1431 = 54,664 \text{ kg}$

II. Rancang Campur Tanpa Koreksi Terhadap Penyerapan dan Kadar Air Agregat Halus (Sudah SSD)

Data Perencanaan

- Kuat tekan beton ringan (f'_{c_B}) = 125 kg/cm²
- Kuat tekan beton ringan yang ditargetkan ($f'_{c_{Br}}$)

$$\begin{aligned} f'_{c_{Br}} &= f'_{c_B} + M \\ &= 125 + 5,631 = 130,631 \text{ kg/cm}^2 \sim 135 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

nilai M diambil berdasarkan SNI 03-2834-2000 butir 4.2.3.1.5

- Berat Isi beton ringan yang disyaratkan (BI_{Br}) = 1600 kg/m³
- Semen yang digunakan PCC (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	0,953
Penyerapan Air, % berat	1,937
Kadar Lengas, % 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 Specific Gravity</i>)	2,482
Penyerapan Air, % berat	4,063
Kadar Lengas, % berat	5,98

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'_{c_A}) = 99,03 kg/cm².
- Berdasarkan pengujian terhadap adukan mortar di laboratorium, di dapat kuat tekan adukan mortar (f'_{c_M}) = 168,095 kg/cm².
- Kuat Tekan Beton Ringan yang ditargetkan ($f'_{c_{Br}}$) = 130,6310kg/cm²
- Syarat Jumlah Fraksi Agregat Kasar Ringan, n_f : $0,35 \leq n_f \leq 0,50$

Maka didapat nilai n_f :

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

$$n_f = \frac{\log(130,631/168,095)}{\log(99,03/168,095)}$$

$$n_f = 0,41 \text{ (memenuhi syarat } 0,35 \leq n_f \leq 0,5)$$

Menentukan Susunan Campuran Adukan (BI_M)

Didapatkan susunan campuran adukannya, sebagai berikut :

• Semen	= 550	kg/m ³
• Pasir	= 2189	kg/m ³
• Air	= 208	kg/m ³ +
Jumlah = Bobot isi total adukan		= 2947 kg/m ³

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

• Semen	= 550 × 0,41	= 226	kg
• Air	= 208 × 0,41	= 86	kg
• Pasir	= 2189 × 0,41	= 898	kg
• Agregat Kasar	= 1000 × 0,41 × 0,953	= 391	kg +
Jumlah = Bobot isi beton		= 1601	kg

Koreksi susunan campuran beton terhadap kandungan air dalam agregat

Dengan memperhitungkan jumlah air yang dapat di serap oleh agregat ringan kasar yang digunakan, yaitu

Penyerapan agregat ringan plastik = 1,937 %

Kadar air = 0 %

Hal ini berarti agregat tersebut masih dapat menyerap air sebanyak 1,937 %, maka:

- Jumlah air yang ditambahkan $= 391 \times 0,01937 = 7,574 \text{ kg}$
 - Kebutuhan air pencampur seluruhnya menjadi $= 86 + 7,574 = 93,574 \text{ kg}$
 - Agregat kasar ringan plastik dikurangi menjadi $= 391 - 7,574 = 383,426 \text{ kg}$
- Susunan campuran beton ringan /m³ untuk uji coba setelah dikoreksi dan dibulatkan, menjadi

- Semen $= 226 \text{ kg}$
- Air Pencampur $= 94 \text{ kg}$
- Pasir $= 898 \text{ kg}$
- Agregat ringan kasar $= 384 \text{ kg}$

Volume pekerjaan = 30 Silinder ($\varnothing = 15 \text{ cm}$; $h = 30 \text{ cm}$) = 0,1590 m³

Proporsi Bahan =

- Semen $= 226 \times 0,1590 = 35,934 \text{ kg}$
- Air Pencampur $= 94 \times 0,1590 = 14,946 \text{ kg}$
- Pasir $= 898 \times 0,1590 = 142,782 \text{ kg}$
- Agregat ringan kasar $= 384 \times 0,1590 = 61,056 \text{ kg}$

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON RINGAN

Tanggal		Umur (hari)	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)
Dicor	Ditest							
22-04-2009	29-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,231	1552,594	14000	79,224
22-04-2009	29-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,237	1553,726	14750	83,468
22-04-2009	29-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,342	1590,508	14500	82,053
22-04-2009	29-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,066	1521,471	14500	82,053
22-04-2009	29-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,260	1558,064	14750	83,468
Rata-rata						1555,273		82,053



Gambar Kuat Tekan Beton Ringan

E-1

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON RINGAN

Tanggal		Umur (hari)	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)
Dicor	Ditest							
15-04-2009	29-04-2009	14	Silinder – 176,715	2	8,681	1637,477	17050	96,483
15-04-2009	29-04-2009	14	Silinder – 176,715	2	8,505	1604,278	20000	113,177
15-04-2009	29-04-2009	14	Silinder – 176,715	2	8,765	1653,321	19500	110,347
15-04-2009	29-04-2009	14	Silinder – 176,715	2	8,674	1636,156	16500	93,371
15-04-2009	29-04-2009	14	Silinder – 176,715	2	8,616	1625,216	17000	96,200
Rata-rata						1631,290		101,916



Gambar Kuat Tekan Beton Ringan

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON RINGAN

Tanggal		Umur (hari)	Bentuk & Luas penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)
Dicor	Ditest							
8-4-2009	6-5-2009	28	Silinder – 176,715	2	8,225	1551,466	19500	110,347
8-4-2009	6-5-2009	28	Silinder – 176,715	2	8,535	1609,941	22000	124,494
8-4-2009	6-5-2009	28	Silinder – 176,715	2	8,555	1613,713	22500	127,324
8-4-2009	6-5-2009	28	Silinder – 176,715	2	8,850	1669,359	25000	141,471
8-4-2009	6-5-2009	28	Silinder – 176,715	2	8,985	1694,823	25000	141,471
Rata-rata						1627,860		129,021



Gambar Kuat Tekan Beton Ringan

PENGUJIAN TARIK BELAH BETON

Tanggal		Umur (hari)	Bentuk & Luas penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban (N)	fct (N/mm ²)
Dicor	Ditest						
15-04-2009	22-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,500	7250	1,025
15-04-2009	22-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,699	7750	1,096
15-04-2009	22-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,455	7250	1,025
15-04-2009	22-04-2009	7	Silinder – 176,715	2	8,644	7500	1,061
Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah							1,052



Gambar Kuat Tarik Belah Beton Ringan

PENGUJIAN TARIK BELAH BETON

Tanggal		Umur (hari)	Bentuk & Luas penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban (N)	fct (N/mm ²)
Dicor	Ditest						
8-4-2009	22-04-2009	14	Silinder – 176,715	0	8,486	75000	1,061
8-4-2009	22-04-2009	14	Silinder – 176,715	0	8,677	80000	1,131
15-04-2009	29-04-2009	14	Silinder – 176,715	0	8,781	82500	1,167
15-04-2009	29-04-2009	14	Silinder – 176,715	0	8,732	80000	1,131
Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah							1,123



Gambar Kuat Tarik Belah Beton Ringan

PENGUJIAN TARIK BELAH BETON

Tanggal		Umur (hari)	Bentuk & Ukuran Benda Uji	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban (N)	fct (N/mm ²)
Dicor	Ditest						
8/4/2009	6/5/2009	28	Silinder – (15×30) cm	2	8,460	75000	1,061
8/4/2009	6/5/2009	28	Silinder – (15×30) cm	2	8,535	92500	1,308
8/4/2009	6/5/2009	28	Silinder – (15×30) cm	2	8,560	95000	1,343
8/4/2009	6/5/2009	28	Silinder – (15×30) cm	2	8,615	105000	1,485
Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah							1,299



Gambar Kuat Tarik Belah Beton Ringan

e'r	14 cm	e'h	9.8 cm
e'g	14 cm	e'g	19.4 cm
nilai koreksi aksial	0.5	nilai koreksi lateral	0.3356
vertikal	28 cm	horizontal	29.2 cm
Tgl Cor	08/04/2009	Berat Benda Uji	8.535 kg
Tgl Tes	06/05/2009	Beban	22000 kg
		Sampel	1

L aksial (mm)	202	Luas sampel (cm ²)	176.7146
Panjang sampel (mm)	300		
Diameter sampel (mm)	150		

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial (mm)	Δ aksial (mm)	g lateral (mm)	Δ lateral (mm)	ε aksial	ε lateral	E _c (kg/cm ²)	μ
Siklus 1									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	89005.5971	0.3092
1000	5.659	0.0100	0.0050	0.0050	0.0017	0.000025	0.000011		
1300	7.356	0.0202	0.0101	0.0063	0.0021	0.000050	0.000014		
2000	11.318	0.0400	0.0200	0.0100	0.0034	0.000099	0.000022		
3000	16.977	0.0700	0.0350	0.0150	0.0050	0.000173	0.000034		
4000	22.635	0.0900	0.0450	0.0250	0.0084	0.000223	0.000056		
5000	28.294	0.1100	0.0550	0.0350	0.0117	0.000272	0.000078		
6000	33.953	0.1300	0.0650	0.0500	0.0168	0.000322	0.000112		
7000	39.612	0.1600	0.0800	0.0700	0.0235	0.000396	0.000157		
8000	45.271	0.2000	0.1000	0.0700	0.0235	0.000495	0.000157		
7000	39.612	0.2000	0.1000	0.0700	0.0235	0.000495	0.000157		
6000	33.953	0.2000	0.1000	0.0700	0.0235	0.000495	0.000157		
5000	28.294	0.1900	0.0950	0.0700	0.0235	0.000470	0.000157		
4000	22.635	0.1900	0.0950	0.0650	0.0218	0.000470	0.000145		
3000	16.977	0.1800	0.0900	0.0650	0.0218	0.000446	0.000145		
2000	11.318	0.1600	0.0800	0.0600	0.0201	0.000396	0.000134		
1000	5.659	0.1100	0.0550	0.0500	0.0168	0.000272	0.000112		
Siklus 2									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	85838.7611	0.2828
1000	5.659	0.0100	0.0050	0.0050	0.0017	0.000025	0.000011		
2000	11.318	0.0200	0.0100	0.0100	0.0034	0.000050	0.000022		
3000	16.977	0.0400	0.0200	0.0200	0.0067	0.000099	0.000045		
4000	22.635	0.0600	0.0300	0.0250	0.0084	0.000149	0.000056		
5000	28.294	0.0800	0.0400	0.0350	0.0117	0.000198	0.000078		
6000	33.953	0.1100	0.0550	0.0550	0.0185	0.000272	0.000123		
7000	39.612	0.1500	0.0750	0.0600	0.0201	0.000371	0.000134		
8000	45.271	0.1800	0.0900	0.0600	0.0201	0.000446	0.000134		
7000	39.612	0.1800	0.0900	0.0600	0.0201	0.000446	0.000134		
6000	33.953	0.1800	0.0900	0.0600	0.0201	0.000446	0.000134		
5000	28.294	0.1800	0.0900	0.0550	0.0185	0.000446	0.000123		
4000	22.635	0.1800	0.0900	0.0550	0.0185	0.000446	0.000123		
3000	16.977	0.1600	0.0800	0.0500	0.0168	0.000396	0.000112		
2000	11.318	0.1200	0.0600	0.0450	0.0151	0.000297	0.000101		
1000	5.659	0.0750	0.0375	0.0400	0.0134	0.000186	0.000089		
Siklus 3									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	81376.5460	0.3115
1000	5.659	0.0100	0.0050	0.0050	0.0017	0.000025	0.000011		
1600	9.054	0.0202	0.0101	0.0301	0.0101	0.000050	0.000018		
2000	11.318	0.0300	0.0150	0.0100	0.0034	0.000074	0.000022		
3000	16.977	0.0500	0.0250	0.0200	0.0067	0.000124	0.000045		
4000	22.635	0.0700	0.0350	0.0300	0.0101	0.000173	0.000067		
5000	28.294	0.1000	0.0500	0.0450	0.0151	0.000248	0.000101		
6000	33.953	0.1200	0.0600	0.0550	0.0185	0.000297	0.000123		
7000	39.612	0.1600	0.0800	0.0600	0.0201	0.000396	0.000134		
8000	45.271	0.2000	0.1000	0.0700	0.0235	0.000495	0.000157		
7000	39.612	0.2000	0.1000	0.0700	0.0235	0.000495	0.000157		
6000	33.953	0.2000	0.1000	0.0700	0.0235	0.000495	0.000157		
5000	28.294	0.1900	0.0950	0.0700	0.0235	0.000470	0.000157		
4000	22.635	0.1800	0.0900	0.0600	0.0201	0.000446	0.000134		
3000	16.977	0.1650	0.0825	0.0550	0.0185	0.000408	0.000123		
2000	11.318	0.1200	0.0600	0.0550	0.0185	0.000297	0.000123		
1000	5.659	0.0800	0.0400	0.0400	0.0134	0.000198	0.000089		
Rata-rata								85406.9681	0.3012

vertikal	28.0	cm	horizontal	29.1	cm
e'r		14	e'h		9.7
e'g		14	e'g		19.4
nilai koreksi aksial		0.5	nilai koreksi lateral		0.3333

Tgl Cor	08/04/2009	Berat Benda Uji	8.850	kg	Sampel	2
Tgl Tes	06/05/2009	Beban	25000	kg		

L aksial (mm)	202	Luas sampel (cm ²)	176.7146
Panjang sampel (mm)	300		
Diameter sampel (mm)	150		

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial (mm)	Δ aksial (mm)	g lateral (mm)	Δ lateral (mm)	ε aksial	ε lateral	E _c (kg/cm ²)	μ
Siklus 1									
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000	85838.7611	0.2528
1000	5.659	0.005	0.003	0.010	0.003	0.000012	0.000022		
2000	11.318	0.020	0.010	0.015	0.005	0.000050	0.000033		
3000	16.977	0.040	0.020	0.025	0.008	0.000099	0.000056		
4000	22.635	0.070	0.035	0.030	0.010	0.000173	0.000067		
5000	28.294	0.080	0.040	0.040	0.013	0.000198	0.000089		
6000	33.953	0.120	0.060	0.050	0.017	0.000297	0.000111		
7000	39.612	0.140	0.070	0.060	0.020	0.000347	0.000133		
8000	45.271	0.180	0.090	0.060	0.020	0.000446	0.000133		
7000	39.612	0.180	0.090	0.060	0.020	0.000446	0.000133		
6000	33.953	0.180	0.090	0.060	0.020	0.000446	0.000133		
5000	28.294	0.180	0.090	0.060	0.020	0.000446	0.000133		
4000	22.635	0.180	0.090	0.050	0.017	0.000446	0.000111		
3000	16.977	0.160	0.080	0.050	0.017	0.000396	0.000111		
2000	11.318	0.120	0.060	0.045	0.015	0.000297	0.000100		
1000	5.659	0.080	0.040	0.040	0.013	0.000198	0.000089		
Siklus 2									
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000	98949.3195	0.2244
1000	5.659	0.015	0.008	0.005	0.002	0.000037	0.000011		
1300	7.356	0.020	0.0101	0.006	0.0021	0.000050	0.000014		
2000	11.318	0.030	0.015	0.010	0.003	0.000074	0.000022		
3000	16.977	0.050	0.025	0.010	0.003	0.000124	0.000022		
4000	22.635	0.080	0.040	0.020	0.007	0.000198	0.000044		
5000	28.294	0.100	0.050	0.025	0.008	0.000248	0.000056		
6000	33.953	0.125	0.063	0.035	0.012	0.000309	0.000078		
7000	39.612	0.150	0.075	0.045	0.015	0.000371	0.000100		
8000	45.271	0.175	0.088	0.045	0.015	0.000433	0.000100		
7000	39.612	0.175	0.088	0.045	0.015	0.000433	0.000100		
6000	33.953	0.175	0.088	0.045	0.015	0.000433	0.000100		
5000	28.294	0.175	0.088	0.040	0.013	0.000433	0.000089		
4000	22.635	0.175	0.088	0.040	0.013	0.000433	0.000089		
3000	16.977	0.150	0.075	0.035	0.012	0.000371	0.000078		
2000	11.318	0.130	0.065	0.030	0.010	0.000322	0.000067		
1000	5.659	0.070	0.035	0.025	0.008	0.000173	0.000056		
Siklus 3									
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000	100145.2213	0.2247
1000	5.659	0.020	0.010	0.010	0.003	0.000050	0.000022		
2000	11.318	0.040	0.020	0.010	0.003	0.000099	0.000022		
3000	16.977	0.060	0.030	0.010	0.003	0.000149	0.000022		
4000	22.635	0.080	0.040	0.015	0.005	0.000198	0.000033		
5000	28.294	0.100	0.050	0.025	0.008	0.000248	0.000056		
6000	33.953	0.130	0.065	0.035	0.012	0.000322	0.000078		
7000	39.612	0.150	0.075	0.040	0.013	0.000371	0.000089		
8000	45.271	0.180	0.090	0.050	0.017	0.000446	0.000111		
7000	39.612	0.180	0.090	0.050	0.017	0.000446	0.000111		
6000	33.953	0.180	0.090	0.050	0.017	0.000446	0.000111		
5000	28.294	0.180	0.090	0.045	0.015	0.000446	0.000100		
4000	22.635	0.180	0.090	0.040	0.013	0.000446	0.000089		
3000	16.977	0.160	0.080	0.035	0.012	0.000396	0.000078		
2000	11.318	0.130	0.065	0.030	0.010	0.000322	0.000067		
1000	5.659	0.070	0.035	0.020	0.007	0.000173	0.000044		
Rata-rata								94977.7673	0.2340

vertikal	28.0	cm	horizontal	29.0	cm
e'r		14	e'h		9.8
e'g		14	e'g		19.2
nilai koreksi aksial		0.5	nilai koreksi lateral		0.337931034

Tgl Cor	08/04/2009	Berat Benda Uji	8.555	kg	Sampel	3
Tgl Tes	06/05/2009	Beban	22500	kg		

L aksial (mm)	202	Luas sampel (cm ²)	176.715
Panjang sampel (mm)	300		
Diameter sampel (mm)	150		

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial (mm)	Δ aksial (mm)	g lateral (mm)	Δ lateral (mm)	ε aksial	ε lateral	E _c (kg/cm ²)	μ
Siklus 1									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	92991.9912	0.2570
1000	5.659	0.0100	0.0050	0.0050	0.0017	0.000025	0.000011		
1500	8.488	0.0202	0.0101	0.0049	0.0017	0.000050	0.000011		
2000	11.318	0.0300	0.0150	0.0050	0.0017	0.000074	0.000011		
3000	16.977	0.0500	0.0250	0.0100	0.0034	0.000124	0.000023		
4000	22.635	0.0700	0.0350	0.0150	0.0051	0.000173	0.000034		
5000	28.294	0.1000	0.0500	0.0250	0.0084	0.000248	0.000056		
6000	33.953	0.1300	0.0650	0.0400	0.0135	0.000322	0.000090		
7000	39.612	0.1600	0.0800	0.0500	0.0169	0.000396	0.000113		
8000	45.271	0.1800	0.0900	0.0500	0.0169	0.000446	0.000113		
7000	39.612	0.1800	0.0900	0.0500	0.0169	0.000446	0.000113		
6000	33.953	0.1800	0.0900	0.0500	0.0169	0.000446	0.000113		
5000	28.294	0.1750	0.0875	0.0450	0.0152	0.000433	0.000101		
4000	22.635	0.1700	0.0850	0.0450	0.0152	0.000421	0.000101		
3000	16.977	0.1600	0.0800	0.0400	0.0135	0.000396	0.000090		
2000	11.318	0.1500	0.0750	0.0350	0.0118	0.000371	0.000079		
1000	5.659	0.1000	0.0500	0.0250	0.0084	0.000248	0.000056		
Siklus 2									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	92303.4697	0.2418
1000	5.659	0.0150	0.0075	0.0050	0.0017	0.000037	0.000011		
1750	9.903	0.0299	0.0101	0.0060	0.0030	0.000050	0.000020		
2000	11.318	0.0350	0.0175	0.0100	0.0034	0.000087	0.000023		
3000	16.977	0.0550	0.0275	0.0100	0.0034	0.000136	0.000023		
4000	22.635	0.0850	0.0425	0.0200	0.0068	0.000210	0.000045		
5000	28.294	0.1150	0.0575	0.0300	0.0101	0.000285	0.000068		
6000	33.953	0.1350	0.0675	0.0400	0.0135	0.000334	0.000090		
7000	39.612	0.1550	0.0775	0.0500	0.0169	0.000384	0.000113		
8000	45.271	0.1750	0.0875	0.0500	0.0169	0.000433	0.000113		
7000	39.612	0.1850	0.0925	0.0500	0.0169	0.000458	0.000113		
6000	33.953	0.1850	0.0925	0.0500	0.0169	0.000458	0.000113		
5000	28.294	0.1800	0.0900	0.0450	0.0152	0.000446	0.000101		
4000	22.635	0.1750	0.0875	0.0450	0.0152	0.000433	0.000101		
3000	16.977	0.1550	0.0775	0.0400	0.0135	0.000384	0.000090		
2000	11.318	0.1450	0.0725	0.0300	0.0101	0.000359	0.000068		
1000	5.659	0.0850	0.0425	0.0200	0.0068	0.000210	0.000045		
Siklus 3									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	91551.5238	0.2343
1000	5.659	0.0200	0.0100	0.0050	0.0017	0.000050	0.000011		
2000	11.318	0.0400	0.0200	0.0050	0.0017	0.000099	0.000011		
3000	16.977	0.0600	0.0300	0.0100	0.0034	0.000149	0.000023		
4000	22.635	0.1200	0.0600	0.0250	0.0084	0.000297	0.000056		
5000	28.294	0.1400	0.0700	0.0300	0.0101	0.000347	0.000068		
6000	33.953	0.1700	0.0850	0.0450	0.0152	0.000421	0.000101		
7000	39.612	0.1800	0.0900	0.0550	0.0186	0.000446	0.000124		
8000	45.271	0.1950	0.0975	0.0500	0.0169	0.000483	0.000113		
7000	39.612	0.1950	0.0975	0.0550	0.0186	0.000483	0.000124		
6000	33.953	0.1950	0.0975	0.0550	0.0186	0.000483	0.000124		
5000	28.294	0.1900	0.0950	0.0500	0.0169	0.000470	0.000113		
4000	22.635	0.1800	0.0900	0.0400	0.0135	0.000446	0.000090		
3000	16.977	0.1700	0.0850	0.0300	0.0101	0.000421	0.000068		
2000	11.318	0.1400	0.0700	0.0200	0.0068	0.000347	0.000045		
1000	5.659	0.0800	0.0270	0.0050	0.0017	0.000134	0.000011		
Rata-rata									

	vertikal	28 cm		horizontal	29 cm	
e'r			14 cm	e'h		9.7 cm
e'g			14 cm	e'g		19.3 cm
nilai koreksi aksial			0.5	nilai koreksi lateral		0.3345

Tgl Cor	08/04/2009	Berat Benda Uji	8.985 kg	Sampel	4
Tgl Tes	06/05/2009	Beban	25000 kg		

L aksial (mm)	202	Luas sampel (cm ²)	176.7146
Panjang sampel (mm)	300		
Diameter sampel (mm)	150		

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial (mm)	Δ aksial (mm)	g lateral (mm)	Δ lateral (mm)	ε aksial	ε lateral	E _c (kg/cm ²)	μ
Siklus 1									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	92782.9683	0.2550
500	2.829	0.0202	0.0101	0.0027	0.0009	0.000050	0.000006		
1000	5.659	0.0400	0.0200	0.0050	0.0017	0.000099	0.000011		
2000	11.318	0.0600	0.0300	0.0050	0.0017	0.000149	0.000011		
3000	16.977	0.0800	0.0400	0.0150	0.0050	0.000198	0.000033		
4000	22.635	0.0950	0.0475	0.0200	0.0067	0.000235	0.000045		
5000	28.294	0.1200	0.0600	0.0250	0.0084	0.000297	0.000056		
6000	33.953	0.1500	0.0750	0.0300	0.0100	0.000371	0.000067		
7000	39.612	0.1750	0.0875	0.0400	0.0134	0.000433	0.000089		
8000	45.271	0.2050	0.1025	0.0550	0.0184	0.000507	0.000123		
7000	39.612	0.2050	0.1025	0.0550	0.0184	0.000507	0.000123		
6000	33.953	0.2050	0.1025	0.0550	0.0184	0.000507	0.000123		
5000	28.294	0.2000	0.1000	0.0500	0.0167	0.000495	0.000111		
4000	22.635	0.2000	0.1000	0.0450	0.0151	0.000495	0.000100		
3000	16.977	0.1800	0.0900	0.0450	0.0151	0.000446	0.000100		
2000	11.318	0.1550	0.0775	0.0450	0.0151	0.000384	0.000100		
1000	5.659	0.1200	0.0600	0.0400	0.0134	0.000297	0.000089		
Siklus 2									
0	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	93041.8975	0.2328
1000	5.659	0.0100	0.0050	0.0000	0.0000	0.000025	0.000000		
1700	9.620	0.0202	0.0101	0.0000	0.0000	0.000050	0.000000		
2000	11.318	0.0250	0.0125	0.0000	0.0000	0.000062	0.000000		
3000	16.977	0.0500	0.0250	0.0050	0.0017	0.000124	0.000011		
4000	22.635	0.0800	0.0400	0.0100	0.0033	0.000198	0.000022		
5000	28.294	0.1000	0.0500	0.0150	0.0050	0.000248	0.000033		
6000	33.953	0.1200	0.0600	0.0200	0.0067	0.000297	0.000045		
7000	39.612	0.1500	0.0750	0.0250	0.0084	0.000371	0.000056		
8000	45.271	0.1750	0.0875	0.0400	0.0134	0.000433	0.000089		
7000	39.612	0.1750	0.0875	0.0400	0.0134	0.000433	0.000089		
6000	33.953	0.1750	0.0875	0.0400	0.0134	0.000433	0.000089		
5000	28.294	0.1700	0.0850	0.0400	0.0134	0.000421	0.000089		
4000	22.635	0.1600	0.0800	0.0350	0.0117	0.000396	0.000078		
3000	16.977	0.1500	0.0750	0.0350	0.0117	0.000371	0.000078		
2000	11.318	0.1100	0.0550	0.0300	0.0100	0.000272	0.000067		
1000	5.659	0.0800	0.0400	0.0200	0.0067	0.000198	0.000045		
Siklus 3									
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	97283.9293	0.2255
1000	5.659	0.0150	0.0075	0.0050	0.0017	0.000037	0.000011		
1200	6.791	0.0202	0.0101	0.0050	0.0017	0.000050	0.000011		
2000	11.318	0.0350	0.0175	0.0050	0.0017	0.000087	0.000011		
3000	16.977	0.0550	0.0275	0.0050	0.0017	0.000136	0.000011		
4000	22.635	0.0750	0.0375	0.0150	0.0050	0.000186	0.000033		
5000	28.294	0.0950	0.0475	0.0200	0.0067	0.000235	0.000045		
6000	33.953	0.1150	0.0575	0.0250	0.0084	0.000285	0.000056		
7000	39.612	0.1450	0.0725	0.0300	0.0100	0.000359	0.000067		
8000	45.271	0.1800	0.0900	0.0450	0.0151	0.000446	0.000100		
7000	39.612	0.1850	0.0925	0.0450	0.0151	0.000458	0.000100		
6000	33.953	0.1850	0.0925	0.0450	0.0151	0.000458	0.000100		
5000	28.294	0.1850	0.0925	0.0400	0.0134	0.000458	0.000089		
4000	22.635	0.1750	0.0875	0.0400	0.0134	0.000433	0.000089		
3000	16.977	0.1550	0.0775	0.0300	0.0100	0.000384	0.000067		
2000	11.318	0.1050	0.0525	0.0250	0.0084	0.000260	0.000056		
1000	5.659	0.0750	0.0375	0.0200	0.0067	0.000186	0.000045		
Rata-rata								94369.5983	0.2378

PENGUJIAN BERAT ISI KERING BETON RINGAN

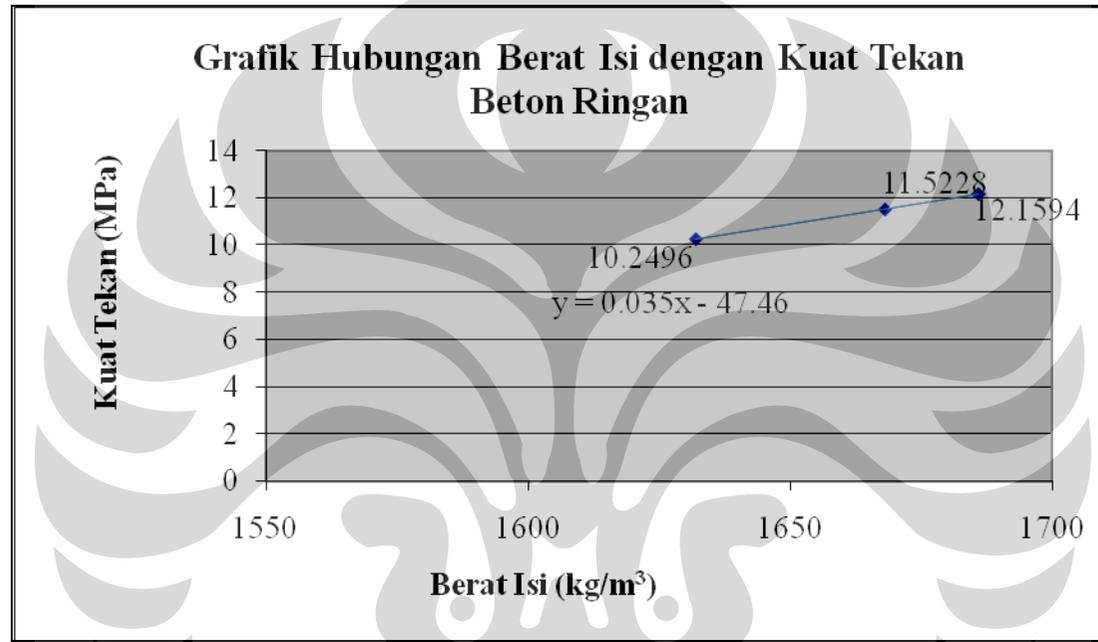
SILINDER (10×20)

Sampel	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m³)	Berat Isi Kering (kg/m³)
1	2,648	10	20	0,001571	1686
2	2,620	10	20	0,001571	1668
3	2,563	10	20	0,001571	1632
Nilai Rata-rata Berat Isi Kering Beton Ringan					1662

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON RINGAN

SILINDER (10×20)

Tanggal		Umur (Hari)	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)
Dicor	Ditest						
23-06-2009	21-07-2009	28	Silinder – 78,54	5	2,648	9550	121,594
23-06-2009	21-07-2009	28	Silinder – 78,54	7	2,620	9050	115,228
23-06-2009	21-07-2009	28	Silinder – 78,54	8	2,563	8050	102,496
Rata-rata Kuat Tekan Beton Ringan							113,106



Gambar Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Isi Kering Beton Ringan



Gambar Kuat Tekan Beton Ringan Silinder (10×20)

PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DENGAN ALAT PUNDIT

SILINDER (10×20)

BENDA UJI 1

Data Pundit											
Berat	Diameter	Sebelum Capping			Sesudah Capping			Nilai ME Dinamis		Nilai ME Statis	
		Panjang	Transit time	v	Panjang	Transit time	v	Sebelum Capping	Sesudah Capping	Sebelum Capping	Sesudah Capping
2648	100	200	69	2,90	206	72	2,86	2405,20	2405,05	336,10	335,39
	100	195	70	2,79	202	75	2,69	2404,77	2404,45	334,04	332,52
	98	198	70	2,83	206	74	2,78	2404,93	2404,77	334,79	334,00

BENDA UJI 2

Data Pundit											
Berat	Diameter	Sebelum Capping			Sesudah Capping			Nilai ME Dinamis		Nilai ME Statis	
		Panjang	Transit time	v	Panjang	Transit time	v	Sebelum Capping	Sesudah Capping	Sebelum Capping	Sesudah Capping
2620	100	200	72	2,78	204	76	2,68	2404,75	2404,42	333,90	332,37
	99	200	72	2,78	206	74	2,78	2404,75	2404,77	333,90	334,00
	100	200	72	2,78	205	75	2,73	2404,75	2404,59	333,90	333,16

BENDA UJI 3

Data Pundit

Berat	Diameter	Sebelum Capping			Sesudah Capping			Nilai ME Dinamis		Nilai ME Statis	
		Panjang	Transit time	v	Panjang	Transit time	v	Sebelum Capping	Sesudah Capping	Sebelum Capping	Sesudah Capping
2563	100	200	75	2,67	205	79	2,59	2404,36	2404,12	332,10	331,04
	100	195	76	2,57	201	78	2,58	2404,03	2404,06	330,63	330,79
	98	198	72	2,75	202	76	2,66	2404,65	2404,33	333,43	331,97