



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK AGREGAT KASAR RINGAN
HASIL DAUR ULANG LIMBAH GELAS PLASTIK POLI
PROPILEN (PP) DAN PENGARUHNYA TERHADAP KUAT
TEKAN, KUAT TARIK BELAH DAN MODULUS
ELASTISITAS**

SKRIPSI

**MEGA KARTIKAWATI
06 06 04 150 3**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK AGREGAT KASAR RINGAN
HASIL DAUR ULANG LIMBAH GELAS PLASTIK POLI
PROPILEN (PP) DAN PENGARUHNYA TERHADAP KUAT
TEKAN, KUAT TARIK BELAH DAN MODULUS
ELASTISITAS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MEGA KARTIKAWATI
06 06 04 150 3**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

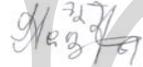
**DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Mega Kartikawati

NPM : 0606041503

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Mega Kartikawati

NPM : 0606041503

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Hasil Daur Ulang Limbah Gelas Plastik Poli Propilen (PP) dan Pengaruhnya terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas 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 : Ir. Madsuri, MT

()

Penguji : Ir. SjahrilA. Rahim, MEng

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas penulisan seminar skripsi dengan tema “Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Hasil Daur Ulang Limbah Gelas Plastik Poli Propilen (PP) dan Pengaruhnya terhadap Sifat-sifat Mekanis Beton Ringan”.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr.Ir. Heru Purnomo,DEA., selaku dosen pembimbing.
2. Ir. Madsuri, MT. dan Ir. Sjahril A. Rahim, MEng., selaku dosen penguji.
3. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya.
4. Seluruh Staf Laboratorium Struktur dan Material yang sudah membantu terutama Pak Samin, Pak Wahyudi, Pak Idris, Pak Apri dan Pak Hanafi.
5. Mama dan Papa, Habibie dan Gustian yang telah memberikan dukungan doa, moral dan materil tanpa balas jasa.
6. Indra Fauzi yang sudah memberikan bantuan dan semangat dalam mengerjakan skripsi.
7. Dwi Wahyuningdiah dan Choney Heryanto yang telah memberikan semangat.
8. Teman-teman ekstensi Angkatan 2006 yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

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

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

Depok, Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : Mega Kartikawati
NPM : 0606041503
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**STUDI KARAKTERISTIK AGREGAT KASAR RINGAN HASIL DAUR
ULANG LIMBAH GELAS PLASTIK POLI PROPILEN (PP) DAN
PENGARUHNYA TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK DAN
MODULUS ELASTISITAS BETON RINGAN**

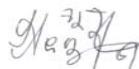
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 29 Juni 2009

Yang menyatakan



(Mega Kartikawati)

ABSTRAK

Nama : Mega Kartikawati
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Hasil Daur Ulang Limbah Gelas Plastik Poli Propilen (PP) dan Pengaruhnya Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas Beton Ringan.

Tujuan penelitian adalah untuk memperoleh data karakteristik agregat kasar ringan buatan limbah gelas plastik Poli Propilen (PP) terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Pengujian sifat fisik agregat kasar ringan diperoleh berat jenis sebesar $0,9068 \text{ gr/cm}^3$, absorpsi 0,6624, berat isi 483 kg/m^3 , kadar air 0,075 % , keausan agregat 7,68 % , modulus elastisitas agregat PP 1133,55 MPa dengan rasio Poisson 0,2498. Pengujian sifat mekanis beton ringan yaitu kuat tekan beton ringan sebesar 11,714 Mpa, kuat tarik belah sebesar 1,1495, modulus elastisitas sebesar 6413,9725 MPa, dan rasio Poisson sebesar 0,3241. Berdasarkan ACI 213R-87, beton ringan ini termasuk dalam klasifikasi beton ringan mutu sedang.

Kata Kunci :

Poli Propilen (PP), Gelas Plastik, Agregat Kasar Ringan, Beton Ringan, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah

ABSTRACT

Name : Mega Kartikawati
Study Program : Civil Engineering
Title : Lightweight Coarse Aggregate Characteristic Study from Recycled Poly Propylene (PP) Plastic Cup Waste and Its Effect to The Modulus of Elasticity, Splitting-Tensile and Compressive Strength of Lightweight Concrete

The research is purpose to get the lightweight coarse aggregate characteristic from recycled Poly Propylene (PP) plastic cup waste and its effect to the modulus of elasticity, splitting-tensile and compressive strength of lightweight concrete. The results of physical properties of aggregates are: specific gravity is 0,9068 gr/cm^3 , water absorption is 0,6624, density is 483 kg/m^3 , water content is 0,075 %, the resistance of abrasion is 7,68 %, modulus of elasticity is 1133,55 MPa and Poisson's ratio of lightweight coarse aggregate is 0,2498. The results of mechanical properties of lightweight concrete such as compressive strength of lightweight concrete is 11,714 Mpa, splitting-tensile strength is 1,1495, modulus of elasticity is 6413,9725 MPa, and Poisson's ratio is 0,3241. Based on ACI 213R-87, this lightweight concrete is classified as moderate lightweight concrete.

Key words:

Poly Propylene (PP), Plastic Cup, Lightweight Coarse Aggregate, Lightweight Concrete, Compressive Strength, Splitting-tensile Strength.

DAFTAR ISI

HALAMANJUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMANPENGESEAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 HIPOTESIS	2
1.3 PERUMUSAN MASALAH	2
1.4 TUJUAN PENELITIAN	2
1.5 BATASAN MASALAH	3
1.6 METODOLOGI PENELITIAN	4
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN	4
2. DASAR TEORI	6
2.1 AGREGAT	6
2.1.1 Klasifikasi Agregat	6
2.1.1.1 Jenis Agregat Berdasarkan Berat	6
2.1.1.2 Jenis Agregat Berdasarkan Bentuk	7
2.1.1.3 Jenis Agregat Berdasarkan Tekstur Permukaan	8
2.1.1.4 Jenis Agregat Berdasarkan Besar Butiran	9
2.1.2 Fungsi Agregat dalam Beton.....	10
2.1.3 Sifat-sifat Agregat	10
2.2 AGREGAT RINGAN	14
2.2.1 Klasifikasi Agregat Ringan	14
2.2.1.1 Agregat Alami	14
2.2.1.2 Agregat Ringan Buatan	14
2.2.2 Jenis-jenis Agregat Ringan	14
2.2.2.1 <i>Expanded Clay, Shale, dan Slate</i>	14
2.2.2.2 <i>Perlite</i>	15
2.2.2.3 <i>Vermiculite</i>	15
2.2.2.4 <i>Expanded Blast-Furnace Slag</i>	15
2.2.2.5 <i>Clinker Aggregat</i>	15
2.2.2.6 Agregat Abu Terbang (<i>Sintered Fly Ash Aggregates</i>)	15
.....	16

2.2.2.7	Pecahan Bata atau Genteng	16
2.2.2.8	<i>Herculite</i>	16
2.2.3	Komposisi Sifat Fisis Agregat Ringan untuk beton ringan struktural.....	17
2.2.4	Gradasi Agregat	17
2.2.5	Agregat Ringan Berdasarkan Tujuan Konstruksi	18
2.3	PORTLAND CEMENT	19
2.3.1	Definisi Portland Cement	19
2.3.2	Jenis – jenis <i>Portland Cement</i>	19
2.3.2	Sifat Fisika Portland Cement	20
2.4	MORTAR	21
2.4.1	Definisi mortar	21
2.4.2	Sifat-sifat Mortar	22
2.4.2.1	Kekuatan Tekan / <i>Compressive Strength</i>	22
2.4.2.2	Kekuatan Tarik / <i>Tensile Strength</i>	22
2.4.2.3	Penyusutan / <i>Linear Shrinkage</i>	22
2.4.2.4	Penyerapan air / <i>WaterAbsorption</i>	23
2.4.2.5	Penyerapan Awal Permukaan / <i>Initial Surface Asorption</i>	23
2.4.3	Bahan Penyusun Mortar	23
2.5	BETON	24
2.6	BETON RINGAN	25
2.6.1	Klasifikasi Beton Ringan	25
2.6.1.1	Beton Ringan Agregat	25
2.6.1.2	Beton Aerasi	26
2.6.1.3	<i>No Fines Concrete</i>	27
2.6.2	Sifat-sifat Mekanis Beton Ringan	28
2.6.2.1	<i>Workability</i>	28
2.4.2.2	Berat Isi	30
2.4.2.3	Rangkak dan Susut	30
2.4.2.4	Kuat Tekan Beton Ringan	31
2.4.2.5	Kuat Tarik Belah	34
2.4.2.6	<i>Poisson's Ratio</i>	35
2.4.2.7	Modulus Elastisitas	36
2.7	POLI PROPILEN	39
2.7.1	Definisi Poli Propilen	39
2.7.1.1	<i>Isotactic</i>	40
2.7.1.2	<i>Atactic atau Syndiotactic</i>	41
2.7.2	Proses Pembentukan	41
2.7.3	Sifat-sifat Poli Propilen	43
2.7.4	Penggunaan Poli Propilen	44
2.8	PENGUJIAN AGREGAT	44
2.8.1	Pengujian Agregat Halus	44
2.8.1.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	44
2.8.1.2	Pengujian Analisa Ayak	47

2.8.1.3	Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)	48
2.8.1.4	Pengujian Kadar Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar dan Beton	49
2.8.1.5	Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	50
2.8.2	Pengujian Agregat Kasar	51
2.8.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	51
2.8.2.2	Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat	53
2.8.2.3	Pengujian Analisis Ayak Agregat Kasar	56
2.8.2.4	Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	56
2.8.2.5	Pengujian Kadar Air Agregat	58
2.9	PENGUJIAN BETON SEGAR	60
2.9.1	Pengujian Slump	60
2.9.2	Pengujian Berat Isi Beton Segar	60
2.10	PENGUJIAN BETON RINGAN	61
2.10.1	Pengujian Kuat Tekan	61
2.10.2	Pengujian Kuat Tarik Belah	62
2.10.3	Pengujian Modulus Elastisitas	62
3.	METODE PENELITIAN	66
3.1	PENDAHULUAN	66
3.2	SUMBER BAHAN BAKU	66
3.3	PENELITIAN TERHADAP BAHAN BAKU	66
3.4	DIAGRAM ALIR PROSES PENELITIAN	67
3.5	PEMBUATAN BENDA UJI AGREGAT KASAR RINGAN POLI PROPILEN (PP)	68
3.5.1	Pembuatan Agregat Kasar Ringan Poli Propilen (PP).....	68
3.5.2	Pembuatan Benda Uji Agregat Ringan dengan Bentuk Spesimen Kubus (5 × 5 × 5) cm dan (15 × 15 × 15)	68
3.6	PENGUJIAN AGREGAT	69
3.6.1	Pengujian Agregat Halus	69
3.6.2	Pengujian Agregat Kasar	69
3.7	METODE RANCANG CAMPUR BETON RINGAN	70
3.8	PROSEDUR PERCOBAAN BETON RINGAN	71
3.8.1	Pembuatan Benda Uji Beton Ringan	71
3.8.2	Pelaksanaan Pengujian Beton Ringan	73
3.8.2.1	Pengujian Beton Segar	73
3.8.2.2	Pengujian Beton Ringan	73
4.	DATA DAN ANALISA	74
4.1	PENDAHULUAN	74
4.2	KARAKTERISTIK AGREGAT RINGAN KASAR POLIPROPILEN	75

4.2.1	Karakteristik Fisik Agregat Ringan	75
4.2.2	Proses Perubahan Plastik Poli Propilen Terhadap Suhu dan Waktu	76
4.2.3	Gradasi Agregat Kasar Plastik Poli Propilen dan Agregat Halus	77
4.2.3.1	Gradasi Agregat Kasar Ringan Plastik Poli Propilen	77
4.2.3.2	Gradasi Agregat Halus	78
4.2.3.3	Gradasi Agregat Gabungan	79
4.3	HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN AGREGAT	80
4.3.1	Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar Ringan Plastik Poli Propilen (PP)	80
4.3.2	Hasil Pengujian Agregat Halus Normal	82
4.3.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat Kasar Ringan Plastik Poli Propilen (PP).....	83
4.4	PENGUJIAN MORTAR	87
4.5	RANCANG CAMPUR BETON RINGAN	88
4.6	PENGUJIAN BETON SEGAR	89
4.6.1	Pengujian Slump	89
4.6.2	Hasil Pengujian Berat Isi Segar Beton Ringan	91
4.7	PENGUJIAN BETON RINGAN	91
4.7.1	Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan	91
4.7.1.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan	91
4.7.1.2	Perbandingan Kuat Tekan Beton Ringan Poli Propilen Terhadap Beton Normal	94
4.7.1.3	Perbandingan Kuat Tekan Beton Ringan Poli Propilen Terhadap Beton Ringan	98
4.7.1.4	Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan Terhadap Berat Isi Kering	98
4.7.2	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan	101
4.7.2.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan	101
4.7.2.2	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Terhadap Berat Isi Beton Kering.....	103
4.7.3	Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah Beton Ringan	105
4.7.4	Pengujian Modulus Elastisitas Beton Ringan	107
4.7.4.1	Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs. Modulus Elastisitas Beton Ringan	110
4.7.4.2	Perbandingan Modulus Elastisitas Baja terhadap Modulus Elastisitas Beton	112
4.8	PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS PLASTIK POLI PROPILEN	112
4.8.1	Pengujian Modulus Elastisitas dengan alat Pundit.....	113
4.8.2	Pengujian Modulus Elastisitas dengan Alat Ekstensometer...	115
4.9	ANALISA BIAYA	116
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	119

5.1 KESIMPULAN	119
5.2 SARAN	122
DAFTAR PUSTAKA	124
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

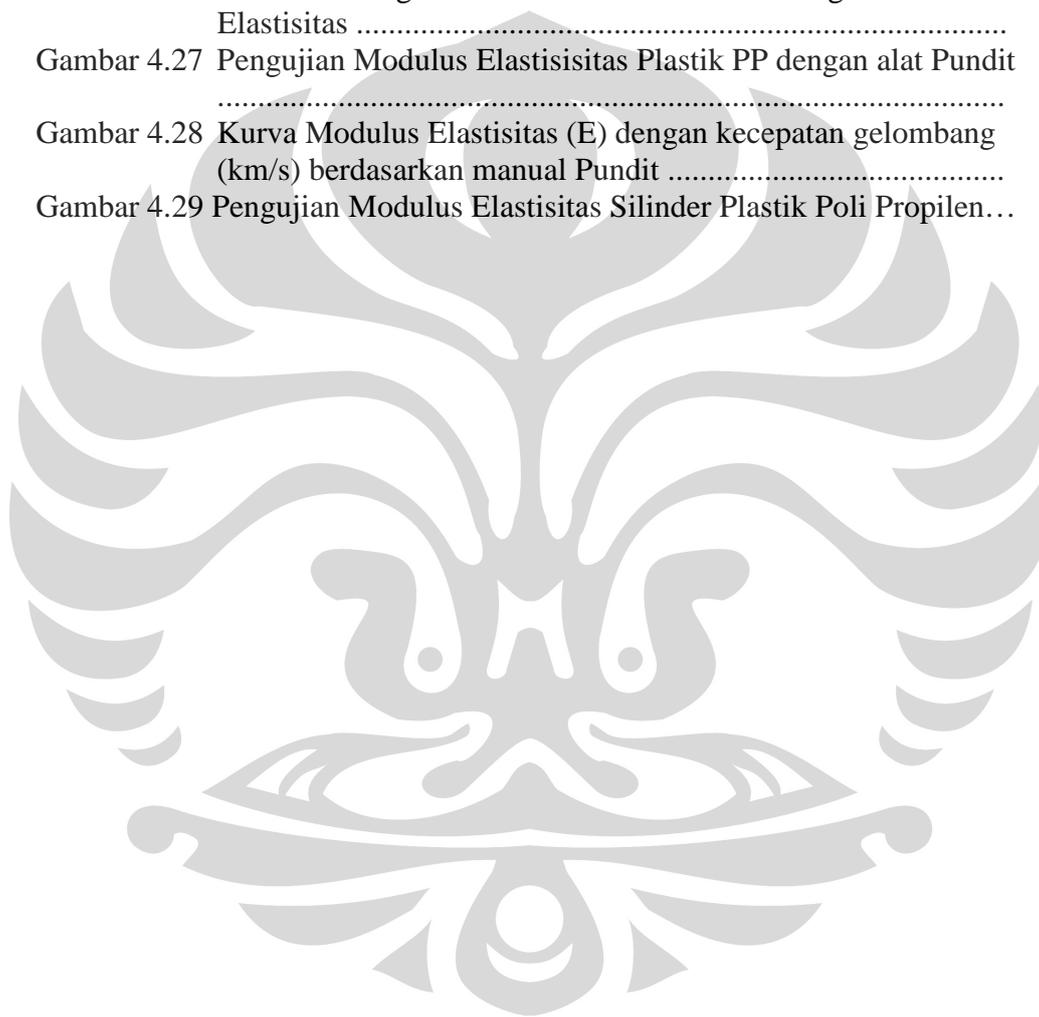
Tabel 2.1	Persyaratan sifat fisis agregat ringan untuk beton ringan struktural	17
Tabel 2.2	Persyaratan susunan besar butir agregat ringan untuk beton ringan struktural	18
Tabel 2.3	Jenis Agregat Ringan yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi	18
Tabel 2.4	Hubungan kekuatan tekan rata-rata dengan kandungan semen .	31
Tabel 2.5	Kapasitas Penakar Untuk Berbagai Ukuran Agregat	54
Tabel 2.6	Berat Minimum Benda Uji	59
Tabel 4.1	Karakteristik Geometik Agregat Kasar Ringan Plastik	75
Tabel 4.2	Gradasi Agregat Kasar Ringan Poli Propilen	77
Tabel 4.3	Gradasi Agegat Halus	78
Tabel 4.4	Gradasai Agregat Gabungan	79
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik PP	81
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Pada Agregat Halus	82
Tabel 4.7	Data Berat Jenis dan Kuat Tekan Kubus Plastik (15x15x15)	83
Tabel 4.8	Data Berat Jenis dan Kuat Tekan Kubus Plastik (5x5x5) cm	84
Tabel 4.9	Data Berat Jenis dan Kuat Tekan Silinder Plastik Poli Propilen..	84
Tabel 4.10	Faktor konversi kuat hancur agregat kasar ringan Poli Propilen..	86
Tabel 4.11	Kuat Tekan Agregat Kasar Ringan Poli Propilen (PP) Spesimen Silinder	86
Tabel 4.12	Jumlah Benda Uji Spesimen Kubus (5x5x5) cm	87
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Slump Test (I)	89
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Slump Test (II)	90
Tabel 4.15	Nilai Berat Isi Beton Ringan Segar	91
Tabel 4.16	Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari	92
Tabel 4.17	Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari	92
Tabel 4.18	Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari	92
Tabel 4.19	Prosentase Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Ringan	94
Tabel 4.20	Mutu Beton Ringan PP vs Beton Normal.....	97
Tabel 4.21	Mutu Beton Ringan Poli Propilen vs. Beton Ringan	98

Tabel 4.22	Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari Terhadap Berat Isi Kering	98
Tabel 4.23	Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari Terhadap Berat Isi Kering	99
Tabel 4.24	Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari Terhadap Berat Isi Kering	99
Tabel 4.25	Hubungan Kuat Tekan Rata-rata Beton Ringan vs. Berat Isi Kering	100
Tabel 4.26	Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari	101
Tabel 4.27	Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari	101
Tabel 4.28	Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari	101
Tabel 4.29	Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari Terhadap Berat Isi Kering	103
Tabel 4.30	Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari Terhadap Berat Isi Kering	103
Tabel 4.31	Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari Terhadap Berat Isi Kering	103
Tabel 4.32	Hubungan Kuat Tarik Belah Rata-rata Beton Ringan vs. Berat Isi Kering	104
Tabel 4.33	Hubungan Kuat Tekan vs. Kuat Tarik Belah Beton Ringan	105
Tabel 4.34	Nilai Rata-rata Modulus Elastisitas dan Poisson's Ratio Beton Ringan Plastik	109
Tabel 4.35	Pulse Velocity Plastik Poli Propilen	113
Tabel 4.36	Nilai Modulus Elastisitas dan <i>Poisson's Ratio</i>	116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Keadaan air dalam butiran agregat	11
Gambar 2.2	Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Berat Isi Beton	17
Gambar 2.3	Proses Terjadinya Beton	24
Gambar 2.4	Kurva Waktu Regangan	31
Gambar 2.5	Grafik Prosentase Kuat Tekan Beton Ringan	33
Gambar 2.6	Grafik Rasio Kuat Tekan Spesimen Kubus	33
Gambar 2.7	Perbandingan kuat tarik ultimate HDPE, LDPE, dan Poli Propilen	40
Gambar 2.8	Koreksi Pembacaan Dial Lateral	64
Gambar 4.1	Karakteristik Geometrik Agregat Kasar Ringan Poli Propilen..	75
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Suhu dan Waktu	77
Gambar 4.3	Analisa Ayak Agregat Kasar Ringan Gelas Plastik Poli Propilen	78
Gambar 4.4	Analisa Ayak Agregat Halus Normal	79
Gambar 4.5	Analisa Ayak Agregat Halus dan Agregat Kasar	80
Gambar 4.6	Pengujian kadar organik dengan <i>plate organic</i>	83
Gambar 4.7	Pengujian Kuat Tekan Plastik PP Ukuran Kubus (15x15x15)cm	84
Gambar 4.8	Pengujian Kuat Tekan Agregat Plastik PP Ukuran (5x5x5) cm	84
Gambar 4.9	Pengujian Kuat Tekan Agregat Plastik PP ukuran Silinder Diameter 15 cm Tinggi 30 cm	85
Gambar 4.10	Pengujian Mortar	88
Gambar 4.11	Pegujian Slump (I)	89
Gambar 4.12	Pengujian Slump (II)	90
Gambar 4.13	Grafik Pengujian Kuat Tekan Rata- Rata Beton Ringan PP ...	93
Gambar 4.14	Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan (Versi Adukan I)	93
Gambar 4.15	Prosentase Kuat Tekan vs. Umur Beton	95
Gambar 4.16	Hubungan Regresi Kuat Tekan vs. Umur Beton	95
Gambar 4.17	Grafik Mutu Kuat Tekan Beton Ringan vs. Beton Normal	97
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs. Berat Isi	99
Gambar 4.19	Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan Rata-rata vs. Berat Isi	100

Gambar 4.20 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Rata- Rata Beton Ringan PP	102
Gambar 4.21 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan	102
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah vs. Berat Isi	104
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah Rata-rata vs. Berat Isi ...	105
Gambar 4.24 Hubungan Kuat Tekan vs. Kuat Tarik Belah	106
Gambar 4.25 Pengujian Modulus Elastisitas Beton Ringan	110
Gambar 4.26 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan Beton Ringan vs. Modulus Elastisitas	111
Gambar 4.27 Pengujian Modulus Elastisitas Plastik PP dengan alat Pundit	113
Gambar 4.28 Kurva Modulus Elastisitas (E) dengan kecepatan gelombang (km/s) berdasarkan manual Pundit	114
Gambar 4.29 Pengujian Modulus Elastisitas Silinder Plastik Poli Propilen...	116



DAFTAR NOTASI

BI_{Br}	= Bobot isi beton ringan
D	= Diameter benda uji silinder (cm)
e	= Regangan Total
e_e	= Regangan Elastis
e_c	= Regangan Rangkak
e_{sh}	= Regangan Susut
E	= Modulus elastisitas (kg/cm^2)
E_c	= Modulus Elastisitas Beton (MPa)
f_c	= Kuat tekan beton (MPa)
f_cA	= Kuat hancur agregat
f_cBr	= Kuat tekan beton ringan (MPa)
f_cM	= Kuat tekan adukan
f_{ct}	= Kuat Tarik Belah (N/m^2)
G	= Berat agregat dan penakar (kg)
L	= Panjang (cm)
M	= Berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m^3)
P	= Beban (Kg)
S	= Deviasi standar
T	= Berat Penakar, kg
V	= Volume Penakar, kg
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)
w_c	= Berat Isi Beton (kg/m^3)
ρ	= Berat jenis
ε	= Regangan pada saat beban kerja

ε_n	= Regangan pada saat beban n
ε_d	= Regangan pada saat beban d
σ	= Tegangan pada saat beban kerja
σ_n	= Tegangan pada saat beban n
σ_d	= Tegangan pada saat beban d



DAFTAR SINGKATAN

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Standard Test Methods
HDPE	High Density Polyethylene
FAS	Faktor Air Semen
PP	Poly Propylene (Poli Propilen)
SNI	Standar Nasional Indonesia



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Data Hasil Pengujian Agregat Kasar Daur Ulang Gelas Plastik Poli Propilen
- Lampiran B Data Hasil Pengujian Agregat Halus
- Lampiran C Data Mortar
- Lampiran D Mix Design
- Lampiran E Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Agregat Kasar Daur Ulang Poli Propilen
- Lampiran F Data Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton Ringan Agregat Kasar Daur Ulang Poli Propilen
- Lampiran G Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Ringan
- Lampiran H Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Plastik Poli Propilen (PP) Spesimen Silinder Diameter 15 cm Tinggi 30 cm
- Lampiran I Foto Pengujian

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Teknologi polimer berkembang seiring dengan usaha manusia untuk meningkatkan kesejahteraan dan memenuhi kebutuhan hidupnya. Berbagai jenis bahan polimer dapat dimanfaatkan dalam berbagai aspek kehidupan, salah satu produknya yaitu plastik. Berbagai barang yang diperlukan dalam kehidupan sehari-hari dapat dibuat dari polimer, misalnya perabot rumah tangga (dari plastik), bahan pakaian (nilon, poliester), alat pembungkus (makanan, minuman, kosmetik), alat transportasi, komponen mobil, botol, permadani, serta tali plastik.

Beberapa contoh plastik yang banyak digunakan antara lain PET atau PETE (*polyethylene terephthalate*), PVC (*Poly Vinyl Chloride*), PP (*Poly Propylene*), PMP (*Poly Metil Pentena*), *Poly Styrene*, PTFE (*Poly Tetra Fluoroetilen*) atau teflon, dan bahan plastik lainnya. Yang relatif lebih aman digunakan untuk makanan/ minuman adalah *Poly Ethylene Terephthalate* yang tampak bening, dan *Poly Propylene* yang lebih lembut dan agak tebal.

Dalam penggunaannya plastik menggantikan logam, kayu, kulit dan bahan alami lainnya dengan harga yang jauh lebih murah. Penggunaan produk dari plastik semakin tinggi. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan limbah plastik karena plastik merupakan suatu produk yang sulit terurai. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan maka diperlukan penanganan limbah plastik secara tepat salah satunya dengan daur ulang limbah plastik tersebut.

Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan yaitu limbah botol dan gelas plastik. Gelas plastik Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) merupakan polimer yang mempunyai rumus kimia PP (*poly propylen*) dan dengan simbol *recycle 5*. Polimer adalah suatu molekul raksasa (makromolekul) yang terbentuk dari susunan ulang molekul kecil yang terikat melalui ikatan kimia polimer (poly = banyak; mer = bagian). Suatu polimer akan terbentuk bila seratus atau seribu unit molekul yang kecil yang disebut monomer, saling berikatan dalam suatu rantai. Jenis-jenis monomer yang saling berikatan membentuk suatu polimer terkadang

sama atau berbeda. Polimer linier memiliki sifat fisik (*makrostruktur*) yang cukup teratur sehingga polimer ini dapat bersifat kristal (mengalami kristalisasi) atau mengeras bila dipanaskan, polimer linier biasanya berupa *termoplastik*.

Plastik termoplas dapat mengkristal atau mengeras bila dipanaskan maka pada penelitian ini akan dicoba mengkaji penggunaan plastik termoplas untuk dijadikan bahan baku pembuatan agregat kasar. Polimer termoplastik yang digunakan adalah jenis PP (*poly propylen*) dari limbah gelas plastik Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) ,untuk kemudian dilakukan pengkajian penggunaannya secara lebih lanjut sebagai bahan baku pembuatan agregat kasar ringan.

Agregat kasar ringan dari hasil pengolahan limbah gelas plastik daur ulang PP (*poly propylene*) kemudian menggunakannya dalam campuran beton, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari agregat kasar ringan ini terhadap karakteristik beton terutama sifat-sifat mekanis beton ringan yang dihasilkan.

1.2 HIPOTESIS

Beton ringan dengan menggunakan agregat kasar ringan hasil daur ulang limbah gelas plastik Poli Propilen (PP) diharapkan menghasilkan kuat tekan sesuai klasifikasi beton ringan struktural ringan berdasarkan SNI 03-2461-2002.

1.3 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Kemungkinan penggunaan limbah botol plastik PP (*poly propylene*) sebagai bahan baku pembuatan agregat kasar ringan buatan.
2. Pengaruh agregat kasar ringan buatan terhadap sifat-sifat mekanis beton ringan yang dihasilkan.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memperoleh data dan pengetahuan tentang karakteristik agregat kasar ringan buatan yang berasal dari limbah gelas plastik PP (*poly propylene*) terhadap sifat fisis dan mekanis beton ringan untuk kemudian menyimpulkan apakah limbah gelas plastik PP (*poly*

propylene) ini efektif digunakan sebagai bahan baku pembuatan agregat kasar ringan dan sebagai alternatif material pengganti agregat ringan alami untuk membentuk beton ringan struktural.

1.5 BATASAN MASALAH

Lingkup dari penelitian ini terbatas pada penelitian terhadap karakteristik material pembentuk beton ringan dan beton ringan itu sendiri terutama sifat-sifat mekanisnya. Selain itu temperatur pembakaran agregat tidak ditentukan.

Penelitian terhadap karakteristik material pembentuk beton agregat kasar ringan buatan yang berasal dari limbah gelas plastik PP (*poly propylene*) dan agregat halus normal diantaranya :

1. Penelitian terhadap karakteristik material pembentuk beton mengacu pada standar ASTM, penelitian tersebut antara lain;
 - ♦ Pengujian agregat kasar ringan mengacu pada ASTM C.330-00, “*Standard Spesification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*” dan SNI 03-2461-200 “spesifikasi Agregat Ringan untuk beton Ringan Struktur”. Pengujian yang dilakukan meliputi; pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat, pengujian analisa ayak, pengujian kadar air pengujian kekerasan agregat.
 - ♦ Pengujian agregat halus mengacu pada ASTM C.330-00, “*Standard Spesification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*” dan SNI. Pengujian yang dilakukan meliputi; pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat, pengujian analisa ayak, pengujian kadar air, pengujian *organic impurities*.
 - ♦ Semen PCC tidak diujikan, sifat fisis diambil dari standar pabrik.
 - ♦ Pengujian air tidak diujikan, air tanah berasal dari Laboratorium Bahan Jurusan Sipil FTUI.
2. Rancang campur (*mix design*) berdasarkan SNI 03-3449-2002 ”Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan”.
3. Proses *Mixing*, dan pembuatan benda uji berupa beton berbentuk silinder ukuran 15×30 cm.

4. Proses perawatan beton (*curing*), perendaman benda uji dilakukan dibak curing Laboratorium Bahan Jurusan Sipil FTUI.
5. Penelitian terhadap beton ringan mengacu pada standar ASTM, penelitian tersebut antara lain;
 - ♦ Penelitian terhadap beton segar, penelitian yang dilakukan meliputi; uji *slump*, berat isi beton segar yang mengacu pada standar SNI, SNI 03-1972-1990, "Cara Uji Slump Beton", dan SNI 03-1973-1990 "Metode Pengujian Berat Isi Beton"
 - ♦ Penelitian beton keras dilakukan pada kuat tekan, kuat tarik belah, nilai modulus elastisitas yang mengacu pada standar SNI 03-1974-1990, "Metode Pengujian Kuat Tekan Beton", SNI 03-2451-2002 "Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton", SNI 03-4169-1996 "Metode Pengujian Modulus Elastisitas".

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari studi kepustakaan dengan cara mengumpulkan literatur untuk memahami karakteristik plastik *polypropylene*, dan karakteristik serta klasifikasi agregat ringan dan beton ringan. Setelah itu dilakukan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk mengetahui sifat fisis agregat yang akan digunakan dalam rancang campur pembuatan beton ringan agregat ringan buatan limbah gelas plastik *polypropylene*. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap beton segar dan beton ringan agregat limbah gelas plastik *polypropylene*. Tahapan selanjutnya adalah menganalisa hasil dari pengujian di laboratorium.

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Meliputi dasar teori yang berhubungan dengan penelitian, karakteristik plastik *polypropylene*, karakteristik dan klasifikasi agregat ringan,

karakteristik dan klasifikasi beton ringan, dan metode pengujian agregat.

BAB III METODE PENELITIAN

Meliputi prosedur pembuatan agregat ringan limbah gelas plastik *polypropylene*, parameter pengujian agregat halus dan agregat kasar, metode rancang campur beton ringan, pengujian beton segar dan beton ringan.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Meliputi data-data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium yang meliputi berat jenis dan penyerapan air agregat halus dan agregat kasar, analisa ayak agregat halus dan agregat kasar, jumlah bahan yang lolos saringan No. 200, kadar organik agregat halus, kadar air agregat halus dan agregat kasar, keausan agregat kasar, berat isi dan rongga udara, serta nilai slump dan berat isi beton segar dan kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas beton ringan serta analisa terhadap hasil pengujian tersebut.

BAB V KESIMPULAN

Meliputi kesimpulan hasil penelitian serta saran dari penulis tentang penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 AGREGAT

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (aduk) dan beton. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu yang mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm [SNI 03-2834-2000][28].

2.1.1 Klasifikasi Agregat

Agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan ini pun dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirnya (gradasi), dan tekstur permukaannya.

2.1.1.1 Jenis Agregat Berdasarkan Berat

Agregat dapat dibedakan berdasarkan beratnya. Ada tiga jenis agregat berdasarkan beratnya, yaitu agregat ringan, agregat normal, dan agregat berat.

1. Agregat Ringan

Agregat ringan yaitu agregat yang memiliki berat jenis kurang dari 2,6 gr/cm³ biasanya digunakan untuk beton non-struktural. Agregat ringan dapat diperoleh secara alami maupun buatan. Beberapa contoh agregat ringan antara lain: agregat batu apung, *hydite*, *rocklite*, *perlite*, dan lain sebagainya. Berat isi agregat ini berkisar 350-880 kg/m³ untuk agregat kasarnya dan 750-1200 kg/m³ untuk agregat halus.[Mulyono, Tri, 2003][36]

2. Agregat Normal

Agregat normal adalah agregat yang memiliki berat jenis antara 2,6-2,7 gr/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt, kuarsa, dan

sebagainya. Beton yang menggunakan agregat normal biasanya memiliki kuat tekan antara 15 MPa sampai 40 MPa. Beton yang dihasilkan dinamakan beton normal. [Rahmadiyanto. Candra., dkk, 2002][39]

3. Agregat Berat

Agregat berat memiliki berat jenis lebih dari $2,7 \text{ gr/cm}^3$. Contoh agregat berat yaitu Magnetik (Fe_2O_4) dan barites (BaSO_4) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan memiliki berat jenis yang tinggi juga (dapat sampai 5,0). [Rahmadiyanto. Candra., dkk, 2002][39].

2.1.1.2 Jenis Agregat Berdasarkan Bentuk

Test standar yang dapat digunakan dalam menentukan bentuk agregat ini adalah ASTM D 3398. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah sebagai berikut [Mulyono, Tri, 2003][36]:

1. Agregat Bulat

Agregat ini terbentuk karena terjadinya pengikisan oleh air atau keseluruhannya terbentuk karena pergeseran. Rongga udaranya minimum 33 %, sehingga rasio luas pemukaannya kecil. Beton yang dihasilkan dari agregat ini kurang cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregat kurang kuat.

2. Agregat Bulat Sebagian atau Tidak Teratur

Agregat ini secara alamiah terbentuk tidak teratur. Sebagian terbentuk karena pergeseran sehingga permukaan atau sudut-sudutnya berbentuk bulat. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 35%-38%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini belum cukup baik untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregat belum cukup kuat (masih kurang kuat).

3. Agregat Bersudut

Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas, yang terbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38%-40%, sehingga membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton

yang dihasilkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregatnya baik (kuat). Agregat ini dapat juga digunakan untuk bahan lapis perkerasan (*rigid pavement*).

4. Agregat Panjang

Agregat ini panjangnya jauh lebih besar daripada lebarnya dan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya. Agregat disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari $\frac{9}{5}$ dari ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata ialah ukuran yang meloloskan dan menahan butiran. Sebagai contoh, agregat dengan ukuran rata-rata 15 mm, akan lolos ayakan 19 mm dan tertahan oleh ayakan 10 mm, agregat ini dinamakan panjang jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari 27 mm ($\frac{9}{5} \times 15$ mm). agregat ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan dibuat. Kekuatan dari beton yang menggunakan agregat ini buruk.

5. Agregat Pipih

Agregat disebut pipih jika perbandingan tebal agregat terhadap ukuran-ukuran lebar dan tebalnya lebih kecil. Agregat pipih sama dengan agregat panjang, tidak baik untuk campuran beton mutu tinggi. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya kurang dari $\frac{3}{5}$ ukuran rata-ratanya. Untuk contoh diatas agregat disebut pipih jika lebih kecil dari 9 mm. Menurut Galloway, agregat pipih mempunyai perbandingan antara panjang dan lebar dengan ketebalan rasio 1:3 yang dapat digambarkan sama dengan uang logam.

6. Agregat Pipih dan Panjang

Agregat jenis ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar dari pada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari pada tebalnya.

2.1.1.3 Jenis Agregat Berdasarkan Tekstur Permukaan

Umumnya agregat dibedakan menjadi kasar, agak kasar, licin, agak licin. Berdasarkan pemeriksaan visual, tekstur agregat dapat dibedakan menjadi sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkristal (*crystalline*), berpori dan berlubang-lubang. [Mulyono, Tri, 2003][36]

1. Agregat Licin/ Halus (*glassy*)

Agregat jenis ini lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat permukaan kasar. Dari hasil penelitian, kekasaran agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir agregat sehingga beton yang menggunakan agregat ini cenderung mutunya lebih rendah. Agregat licin terbentuk akibat pengikisan oleh air, atau akibat patahnya batuan (*rock*) berbutir halus atau batuan yang berlapis-lapis.

2. Berbutir (*granular*)

Pecahan agregat jenis ini berbentuk bulat dan seragam.

3. Kasar

Pecahannya kasar dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkristal yang tidak dapat terlihat jelas melalui pemeriksaan visual.

4. Kristalin (*crystalline*)

Agregat jenis ini mengandung kristal-kristal yang nampak dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

5. Berbentuk Sarang Lebah (*honeycombs*)

Tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya. Melalui pemeriksaan visual, kita dapat melihat lubang-lubang pada batuannya.

2.1.1.4 Jenis Agregat Berdasarkan Besar Butiran

Ditinjau dari besarnya butiran, maka agregat dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu: [SNI 03-2834-2000][28].

1. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu yang mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm

2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm.

3. Batu

Batu adalah agregat yang besar butirannya lebih besar dari 40 mm.

2.1.2 Fungsi Agregat dalam Beton

Di dalam beton, agregat (agregat halus dan agregat kasar) mengisi sebagian besar volume beton, yaitu antara 50%-80%, sehingga sifat-sifat dan mutu agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat dan mutu beton. [Rahmadiyanto. Candra., dkk, 2002][39]

Penggunaan agregat dalam beton adalah untuk:

1. menghemat penggunaan semen portland
2. menghasilkan kekuatan yang besar pada beton
3. mengurangi susut pengerasan beton
4. mencapai susunan yang padat pada beton. Dengan gradasi agregat yang baik, maka akan didapatkan beton yang padat.
5. mengontrol *workability* atau sifat dapat dikerjakan aduk beton. Dengan gradasi yang baik, maka akan didapatkan beton yang mudah dikerjakan atau memiliki *workability* yang baik.

2.1.3 Sifat-sifat Agregat

Terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh kerikil agregat yang dapat digunakan sebagai agregat beton, yaitu [Rahmadiyanto. Candra., dkk, 2002][39]:

1. Penyerapan Air dalam Agregat

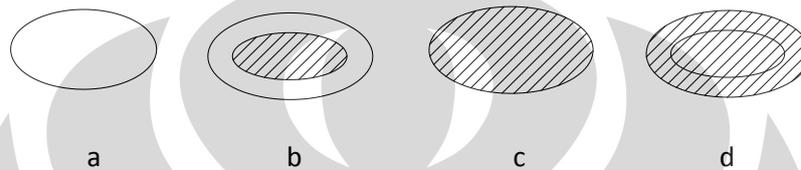
Presentase berat air yang mampu diserap oleh agregat, jika agregat direndam dalam air sampai jenuh, disebut serapan air, atau daya serap air pada agregat. Ada dua macam air dalam agregat yang dikenal, yaitu air yang meresap kedalam agregat dan air yang berada pada permukaan butiran.

2. Kadar Air dalam Agregat

Kadar air dalam agregat dapat dibedakan atas beberapa hal berikut:

- a. Keadaan kering tungku atau kering oven, yaitu agregat yang benar-benar dalam keadaan kering atau tidak mengandung air. Keadaan ini menyebabkan agregat dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, permukaan butir-butir dalam keadaan kering tetapi dalam butiran masih mengandung air. Pasir/ kerikil dalam keadaan kering udara ini masih dapat menyerap sedikit air.

- c. Jenuh kering muka (*saturated and surface dry, SSD*). Pada keadaan ini permukaan agregat kering (tidak ada air), tetapi butiran-butiran agregat jenuh dengan air. Dengan demikian butiran-butiran agregat pada keadaan jenuh kering muka atau SSD tidak menyerap air dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran aduk beton.
- d. Basah, pada keadaan ini butir-butir agregat mengandung banyak air, baik dalam butiran maupun pada permukaan agregat sehingga jika dipakai untuk campuran aduk beton penggunaan air harus dikurangi.



Gambar 2.1 Keadaan air dalam butiran agregat

Air permukaan atau air yang mengisi seluruh permukaan agregat yang sudah dalam keadaan jenuh, disebut air bebas. Air bebas ini akan mempengaruhi faktor air semen dari beton yang dibuat.

3. Ketahanan terhadap Cuaca

Sifat ketahanan agregat terhadap pengaruh cuaca disebut ketahanan cuaca atau kekekalan. Sifat ini merupakan penunjuk kemampuan agregat untuk menahan perubahan volume yang berlebihan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan-perubahan pada kondisi lingkungan, seperti pembekuan atau pencairan, perubahan suhu, musim hujan dan musim kering yang berganti-ganti, dan sebagainya.

4. Reaksi Alkali-Silika

Reaksi alkali-silika, atau terkenal dengan reaksi alkali-agregat, merupakan reaksi antara kandungan silika aktif dalam agregat dengan alkali dalam semen portland. Laju reaksi dipengaruhi oleh ukuran butir-butir agregat, porositasnya, dan kandungan alkali dalam agregat serta tingkat kehalusan butir-butir semennya.

Laju reaksi juga dipengaruhi oleh adanya air dalam pasta semen yang tidak menguap, serta kondisi lingkungan yang basah kering berganti-ganti. Reaksi alkali-silikat berlangsung sangat lambat sehingga pengaruhnya tidak

dapat langsung terlihat, tetapi akan segera tampak setelah timbul retak-retak yang tak terkendali. Akibat reaksi ini dapat dikurangi dengan menambah bubuk halus silika reaktif ke dalam adukan beton.

5. Zat-zat yang Berpengaruh Buruk Pada beton

Dalam agregat sering terdapat bahan-bahan yang keberadaannya mungkin dapat memberikan pengaruh yang merugikan terhadap mutu beton, baik terhadap beton mutu segar maupun beton mutu keras. Dilihat dari aksi bahan-bahan yang berpengaruh buruk tersebut, maka bahan itu dapat dibedakan menjadi tiga, antara lain :

a. Bahan-bahan Merugikan yang Terdapat dalam Agregat

Dalam agregat halus sering terdapat zat-zat yang berasal dari bahan-bahan tanaman yang telah busuk dan muncul dalam bentuk humus. Selain itu, gula, minyak, dan lemak juga berpengaruh terhadap sifat-sifat beton. Gula bersifat menghambat pengikatan semen dan perkembangan kekuatan beton, sedang minyak dan lemak akan mengurangi daya ikat semen.

b. Tanah Liat, Lumpur dan Debu yang Sangat Halus

Lempung, lumpur, dan debu atau butiran-butiran halus lainnya, misalnya *silt* atau debu pecahan batu, yang mungkin terdapat/ menempel pada permukaan agregat, dapat mengganggu ikatan antara agregat dengan pasta semennya. Karena ikatan ini sangat penting dalam aduk beton, akan dapat berpengaruh terhadap kekuatan dan daya tahan beton. Yang dimaksud lumpur atau debu, adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm dan 0,006 mm.

c. Garam Klorida dan Sulfat

Bila garam tidak dihilangkan, dapat merusak konstruksi beton. Adanya klorida dalam beton akan memberi resiko berkaratnya baja dalam tulangan beton, yang selanjutnya dapat merusak beton. Jika hal seperti itu terjadi, tulangan di dalam beton menjadi tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

6. Partikel-partikel yang Tidak Kekal

Dalam suatu agregat ada kemungkinan terdapat partikel-partikel yang ringan, lunak, dan dapat berubah komposisinya atau hancur. Partikel yang ringan dapat berupa arang, kayu dan atau mika. Partikel lunak yaitu lumpur dan atau tanah liat yang mengeras, dan jika terkena (terendam) air akan mengembang dan kemudian pecah.

7. Sifat Kekal Bentuk

Sifat kekal bentuk agregat adalah kemampuan agregat untuk menahan terjadinya perubahan volume yang berlebihan, akibat dari adanya perubahan kondisi fisik. Kondisi fisik yang dapat menimbulkan perubahan volume butiran agregat adalah kondisi antara beku dan cair, perubahan panas pada suhu diatas titik beku, dan kondisi basah dan kering yang berganti-ganti. Atau dapat dikatakan perubahan bentuk yang terjadi akibat perubahan cuaca.

Suatu agregat disebut tidak kekal, bila perubahan volume/ bentuk yang terjadi oleh perubahan kondisi fisik tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada beton yang dibuat dari agregat itu.

8. Susunan Besar Butir (Gradasi)

Setiap bagian butiran yang memiliki ukuran sama disebut fraksi. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran agregat. Sifat-sifat beton yang dipengaruhi oleh gradasi agregat adalah sebagai berikut:

1. Terhadap Beton Segar

Terhadap beton segar, gradasi agregat dapat mempengaruhi kelecakan (*workability*), sifat kohesif, jumlah air pencampur, jumlah semen yang diperlukan, pengecoran, pemadatan, *finishing* keadaan permukaan, kontrol terhadap segregasi (pemisahan butir) dan *bleeding* (terpisahnya air ke permukaan beton).

2. Terhadap Beton Keras

Terhadap beton keras, gradasi agregat akan mempengaruhi : (mudah atau sukarnya) pekerjaan pemadatan beton, kepadatan (porous atau padatnya (beton karena kemungkinan terjadinya segregasi, kedap air, banyaknya rongga-rongga. Dari semua sifat yang dipengaruhi oleh gradasi itu akan berpengaruh terhadap kekuatan dan keawetan beton.

2.2 AGREGAT RINGAN

2.2.1 Klasifikasi Agregat Ringan

Agregat ringan adalah agregat dengan berat isi kering oven gembur maksimum 1100 kg/m^3 . Agregat ringan dapat dibedakan menjadi dua [SNI 03-3449-2002] [29], yaitu:

1. Agregat ringan alami adalah agregat yang diperoleh dari bahan-bahan alami seperti batu apung, scoria, atau tufa
2. Agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan melalui proses pemanasan bahan-bahan, seperti terak dari peleburan besi, tanah liat, diatome, abu terbang, batu sabak, batu serpih, batu lempung.

2.2.1.1 Agregat Alami

Kelompok utama agregat ringan alami meliputi jenis-jenis agregat *pumice* (batu apung), *scoria*, *volcanic cinders* dan *tuff*, yang semuanya termasuk batuan alami vulkanik [Mulyono, Tri, 2003][36]. *Scoria* adalah batuan vulkanik berwarna gelap berukuran butir 4-32 mm yang mempunyai pori-pori berbentuk memanjang. [SNI 03-2461-2002][27]

Batu apung merupakan batuan yang berwarna terang biasanya berwarna seperti ada lapisan kaca dengan berat satuan $500-900 \text{ kg/m}^3$. Beton yang menggunakan agregat ini akan mempunyai sifat penyerapan air dan pengembangan yang cukup tinggi dengan berat beton $700-1400 \text{ kg/m}^3$. [Mulyono, Tri, 2003][36]

2.2.1.2 Agregat Buatan

Sebagai bahan pengganti agregat ringan alami dapat digunakan agregat buatan. Kelompok pertama dari agregat ringan buatan ini adalah agregat yang berasal dari hasil proses pemanasan, kedua dari hasil pendinginan, kelompok ketiga dari hasil industri *cinder*. [Mulyono, Tri, 2003][36]

2.2.2 Jenis Agregat Ringan

2.2.2.1 Expanded clay, shale, dan slate

Merupakan hasil dari proses *rotary kiln* (tanur putar) dengan temperatur $1000-1200^\circ\text{C}$. *Expanded shale* dan agregat *clay* yang dibuat dengan proses *sinter strand* mempunyai kepadatan $650-900 \text{ kg/m}^3$, dan jika menggunakan *kiln* yang

berputar akan mempunyai kepadatan sekitar $350\text{-}650\text{ kg/m}^3$. beton yang menggunakan agregat jenis ini akan mempunyai berat isi sekitar $1400\text{-}1800\text{ kg/m}^3$ dan kadang-kadang dapat pula dihasilkan beton ringan dengan kepadatan 800 kg/m^3 . Kekuatan tekan beton yang dihasilkan oleh agregat jenis ini biasanya cukup tinggi, terutama jika digabungkan dengan jenis agregat ringan lainnya.

2.2.2.2 Perlite

Merupakan jenis batuan *glassy* vulkanik dengan berat isi yang rendah sekitar $30\text{-}240\text{ kg/m}^3$. *Perlite* dibuat dari hasil pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu $900\text{-}1100^\circ\text{C}$. Kekuatan tekan beton yang dihasilkan oleh agregat jenis ini biasanya rendah dan pengembangan yang tinggi. Beton yang dibuat biasanya digunakan untuk tujuan insulator. Keuntungan dari beton ini adalah waktu pengeringannya cukup cepat sehingga penyelesaian konstruksi dapat diselesaikan dengan cepat pula.

2.2.2.3 Vermiculite

Merupakan material yang berstruktur pelat, nama lainnya adalah mica dengan berat isi yang rendah sekitar $60\text{-}130\text{ kg/m}^3$. Pembuatannya melalui proses pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu $650\text{-}1000^\circ\text{C}$. Beton yang dibuat akan mempunyai kekuatan tekan yang rendah dan pengembangan yang tinggi, biasanya digunakan untuk tujuan insulator (penahan panas).

2.2.2.4 Expanded blast-furnace slag

Dapat dihasilkan dengan dua cara. Pertama yaitu mencampurkan bahan batuan dengan air kemudian dilakukan pembakaran. Misalnya tanah liat dibakar. Tanah liat dengan kadar air tertentu dibuat berbutir sekitar $5\text{-}20\text{ mm}$, kemudian dibakar. Hasilnya berbentuk bola, ringan, dan berpori. Serapan air sekitar $8\text{-}20\%$. Beton dengan agregat ini berat jenisnya sekitar 1900 kg/m^3 . Kedua dengan cara penguapan (*steam*) batuan buatan yang dihasilkan seperti batu apung. Batuan *expanded* biasanya mempunyai berat isi sekitar $300\text{-}1100\text{ kg/m}^3$, bergantung pada proses pendinginan dan derajat pembentukan partikel serta ukuran dan gradasinya.

2.2.2.5 Clinker aggregate

Nama lainnya adalah *cinder*, merupakan hasil proses pembakaran pada industri dengan temperatur yang sangat panas. Beton yang menggunakan agregat ini cenderung tidak tahan terhadap sulfat dan kehilangan panas yang tinggi. Beton

yang dibuat digunakan untuk tujuan umum. Peraturan standar tidak merekomendasikan beton yang menggunakan agregat ini digunakan untuk beton bertulang. Beton yang menggunakan klinker cenderung lebih awet. Jika digunakan sebagai agregat halus atau agregat kasar beton yang dihasilkan akan mempunyai berat isi sekitar 1100-1400 kg/m³. Untuk meningkatkan kemudahan pekerjaannya agregat ini sering digabung dengan pasir alam, akan tetapi berat isi betonnya akan meningkat menjadi 1750-1850 kg/m³.

2.2.2.6 Agregat abu terbang (*Sintered Fly-ash Aggregates*)

Abu terbang adalah butiran halus limbah hasil pembakaran batu bara [SNI 03-2461-2002][27]. Merupakan produk sisa dari hasil PLTU yang mengeras dan membentuk butir-butir seperti kerikil. Beton yang dibuat dari agregat jenis ini akan mempunyai kuat tekan yang cukup baik. Berat isi beton yang menggunakan agregat ini sekitar 1000 kg/m³, jika menggunakan fraksi agregat halusnya lebih banyak akan menghasilkan beton dengan berat isi 1200 kg/m³.

2.2.2.7 Pecahan Bata atau Genteng

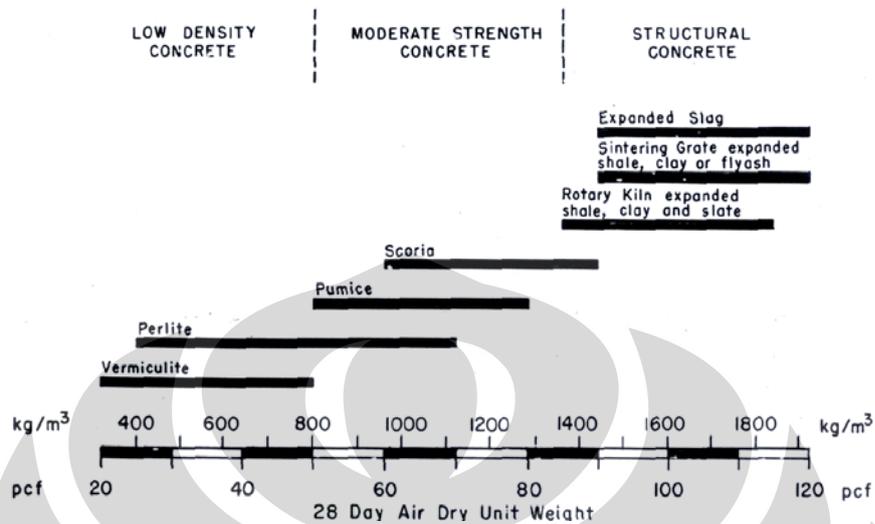
Dibuat dari pecahan bata atau genteng dan masih sering dipakai. Sifat agregat ini sangat bergantung pada bahan dasarnya yakni dari tanah liat, yang menyebabkan variasi dari agregat yang dibentuknya. Pecahan dari bahan ini yang halus bersifat:

1. Seperti pasir
2. Sedikit menaikkan kekuatan mortar dan
3. Menaikkan sifat hidrolis dari mortar.

2.2.2.8 Herculite

Merupakan hasil pembuatan dari *shale* yang dimasukkan dalam tungku putar pada suhu 1100°C. Gas dalam *shale* mengembang membentuk jutaan sel kecil udara dalam massa yang dikelilingi oleh selaput tipis yang kuat dan bening. Agregat ini dipakai untuk menggantikan agregat yang dipakai pada pekerjaan struktural. Berat jenis yang dihasilkan sekitar dua pertiga beton biasanya, dengan kuat tekan yang hampir sama pada jumlah semen yang sama. Beton yang dibuat akan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap panas, sehingga biasanya digunakan untuk dinding penahan panas, lapisan tahan api untuk baja struktural, selain itu mempunyai sifat meredam suara yang baik.

Pemakaian agregat ringan dalam beton serta berat isinya dapat dilihat pada diagram di bawah ini:



Gambar 2.2 Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Berat Isi Beton

Sumber: ACI Committee 213R-87, *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*, 1987.

2.2.3 Sifat Fisis Agregat Ringan untuk beton ringan struktural

Agregat kasar ringan untuk beton struktural mempunyai sifat fisis sebagai berikut [SNI 03-2461-2002][27].

Tabel 2.1 Persyaratan sifat fisis agregat ringan untuk beton ringan struktural

No.	Sifat Fisis	Persyaratan
1	Berat Jenis (gr/cm^3)	1,0 – 1,8
2	Penyerapan air maksimum (%) setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum (kg/m^3):	
	- Agregat halus	880
	- Agregat kasar	1040
	- Campuran agregat kasar dan halus	60

2.2.4 Gradasi Agregat

Apabila digunakan agregat ringan sebagai campuran beton, maka agregat harus memenuhi ketentuan dan syarat-syarat dari ASTM C-330.80 [6], “*Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*”, seperti tercantum dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan susunan besar butir agregat ringan untuk beton ringan struktural

Ukuran	Persentase yang lulus angka (% berat)								
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,3
Agregat Halus									
(4,75-0) mm	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat Kasar									
(25,0-4,75) mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0-4,75) mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5-4,75) mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5-2,36) mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi agregat halus & kasar									
(12,5-8,0) mm	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9,5-8,0) mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

Sumber: SNI 03-2461-2002, Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktur, 2002

2.2.5 Agregat Ringan Berdasarkan Tujuan Konstruksi

Tabel 2.3 Jenis Agregat Ringan yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)	
- Struktural : Minimum	17,24	1400	- Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu - Serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau abu terbang
Maksimum	41,36	1850	
- Struktural : Minimum Ringan	6,39	800	- Agregat ringan alam : scoria atau batu apung
Maksimum	17,24	1400	
- Struktural : Minimum Sangat ringan sebagai isolasi	-	-	- Perlit atau vemikulit
Maksimum	-	800	

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

2.3 PORTLAND CEMENT

2.3.1 Definisi *Portland Cement*

Semen Portland adalah salah satu bahan perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat kalsium ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat (umumnya *gypsum*). Fungsi *gypsum* adalah untuk menghindari terjadinya pengikatan awal yang lebih cepat pada semen jika bereaksi dengan air.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun *Portland Cement* adalah kapur (CaO) sekitar 60 %- 65 %, silica (SiO₂) sekitar 17-25 %, Alumina (Al₂O₃) sekitar 3-8 %, Besi (Fe₂O₃) sekitar 0,5-6 %, Magnesia (MgO) sekitar 0,5-4 %, Sulfur (SO₃) sekitar 1-2 %, Soda/ Potash (Na₂O + K₂O) sekitar 0,5-1 %. Pada dasarnya terdapat empat unsur penting, yaitu:

1. Trikalsium silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂
2. Dikalsium Silikat (C₂S) atau 2CaO. SiO₂
3. Trikalsium aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃
4. Tetrakalsium aluminoforit (C₄AF) atau 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃

2.3.2 Jenis – jenis *Portland Cement*

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, Semen Portland dibagi dalam 5 jenis, yaitu :

1. Jenis I
Untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis lain pada jenis-jenis lainnya.
2. Jenis II
Untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agar tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
3. Jenis III
Untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal tinggi.
4. Jenis IV
Untuk konstruksi yang persyaratan panas hidrasi yang rendah.

5. Jenis V

Untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.3.3 Sifat Fisika *Portland Cement*

1. Kehalusan Butir (*Fineness*)

Reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan buti-butir semen, sehingga makin luas permukaan butiran-butiran semen maka makin cepat proses hidrasinya. Hal ini berarti bahwa butir-butir semen yang halus akan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat daripada semen dengan butir-butir yang lebih kasar.

Kehalusan semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya bleeding atau naiknya air ke permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

2. Waktu Ikatan

Semen jika dicampur dengan air akan membentuk pasta yang secara bertahap akan menjadi kurang plastis dan akhirnya menjadi keras. Pada proses ini tahap pertama dicapai ketika pasta semen cukup kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu untuk mencapai tahap ini disebut sebagai waktu ikatan. Waktu tersebut dihitung sejak air dicampur dengan semen.

3. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Panas hidrasi dapat menimbulkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Pada beberapa struktur beton, terutama pada struktur beton mutu tinggi, retakan ini tidak diinginkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan.

Apabila semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung dalam arah ke luar dan ke dalam, yaitu hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2-5 jam sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah.

Pada tahapan hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel (suatu butiran agregat halus hasil hidrasi, memiliki luas permukaan yang amat besar), dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida Ca(OH)_2 dan air, dan beberapa senyawa yang lain. Kristal-kristal dari berbagai senyawa yang dihasilkan membentuk suatu rangkaian tiga dimensi yang saling melekat secara random dan kemudian sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang mula-mula ditempati air, lalu menjadi kaku dan mengeras. Dengan demikian pasta semen yang telah mengeras memiliki struktur yang berpori dengan ukuran bervariasi dari yang sangat kecil (4×10^{-7} mm) sampai yang lebih besar. Pori-pori ini disebut pori-pori gel. Setelah hidrasi berlangsung, endapan hasil hidrasi pada permukaan butiran semen membuat difusi air ke bagian dalam yang belum berhidrasi semakin sulit sehingga laju hidrasi semakin lambat.

Proses hidrasi pada semen Portland sangat kompleks. Tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus proses kimia (perkiraan) untuk reaksi hidrasi dari unsur C_2S dan C_3S dapat ditulis sebagai berikut:

- ◆ Proses hidrasi *Tricalcium silicate*

Tricalcium silicate + Air \rightarrow *Calcium silicate hydrate* + *Calcium hydroxide* + panas



- ◆ Proses hidrasi *Dicalcium silicate*

Dicalcium silicate + Air \rightarrow *Calcium silicate hydrate* + *Calcium hydroxide* + panas



2.4 MORTAR

2.4.1 Definisi Mortar

Mortar semen portland adalah campuran antara pasir kuarsa, air suling dan semen portland dalam komposisi tertentu. [SNI M-111-1990-03][24]. Mortar merupakan campuran dari semen, pasir, dan air, yang merupakan perekat utama dalam campuran beton. Selain dalam campuran beton, pada umumnya mortar

digunakan sebagai plesteran dalam pasangan batu bata yang berfungsi untuk melekatkan batu bata menjadi satu kesatuan yang kuat dan kaku. Mortar dapat juga digunakan sebagai plesteran untuk banyak keperluan lain, seperti pelapis dinding, plafon, dan sebagai material perbaikan beton.

2.4.2 Sifat-sifat Mortar

Sifat-sifat mortar yang ditinjau adalah *compressive strength*, *tensile strength*, *linear shrinkage*, *water absorption*, *density*, dan *initial surface absorption*.

2.4.2.1. Kekuatan Tekan / *Compressive Strength*

Kekuatan tekan pada beton sangat penting dan diperlukan dalam perencanaan struktur. Demikian juga halnya pada mortar. Kekuatan tekan pada mortar dapat digunakan sebagai kriteria utama dalam pemilihan tipe mortar karena selain relatif mudah untuk diukur juga pada umumnya berkaitan erat dengan propertis yang lain seperti kekuatan tarik dan penyerapan pada mortar. Pada dasarnya terdapat 2 faktor yang sangat menentukan kuat tekan pada mortar, yaitu berat semen dan *water/cement ratio*. Kuat tekan pada mortar akan bertambah bila berat semen bertambah dan *water/cement ratio* berkurang.

2.4.2.2. Kekuatan Tarik / *Tensile Strength*

Kekuatan tarik mortar yang rendah menyebabkan mortar rentan terhadap retak, terutama retak plastis akibat penyusutan pada waktu proses pengerasan. Untuk mencegah terjadinya retak pada mortar maka perlu dilakukan sesuatu untuk dapat meningkatkan kekuatannya, seperti dengan menambah berat semen atau dengan menambahkan material lain.

2.4.2.3. Penyusutan / *Linear Shrinkage*

Syarat utama plesteran yang baik adalah adanya rekatan yang baik antara mortar dengan permukaan struktur. Seringkali kegagalan rekatan tidak disebabkan oleh kegagalan mortar untuk merekat pada permukaan struktur, tetapi lebih sering karena susut kering. Penyusutan itu dapat terjadi karena penguapan yang cepat pada permukaan mortar, proses hidrasi yang terlalu cepat, dan juga terjadinya penyusutan pada *cement gel* dalam mortar. Faktor - faktor yang mempengaruhi

penyusutan tersebut antara lain: kualitas dan komposisi masing-masing material penyusun, kondisi *curing*, dan kelembaban udara sekitar.

2.4.2.4. Penyerapan air / *Water Absorption*

Besar kecilnya penyerapan air oleh mortar sangat dipengaruhi oleh jumlah pori atau rongga yang terdapat dalam mortar. Semakin besar dan banyak jumlah pori yang terkandung dalam mortar, semakin besar pula penyerapan airnya sehingga ketahanannya akan berkurang. Rongga atau pori yang terdapat dalam mortar terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya. Selain itu pengaruhi *water/cement ratio* yang terlalu besar juga dapat menyebabkan rongga, karena terdapat air yang tidak bereaksi dengan semen yang kemudian menguap dan meninggalkan rongga.

2.4.2.5. Penyerapan Awal Permukaan / *Initial Surface Absorption*

Karakteristik mortar yang tidak kalah pentingnya yaitu penyerapan awal mortar dalam suatu interval waktu tertentu. Kondisi ini penting untuk mengatasi keadaan tertentu seperti mortar yang digunakan pada tembok yang diekspos pada cuaca hujan lebat dalam jangka waktu tertentu.

2.4.3 Bahan Penyusun Mortar [http://www.google.com,2009][34]

1. *Portland Cement*

Semen sangatlah mempengaruhi karakteristik campuran mortar. Kandungan semen hidraulis yang tinggi akan memberikan banyak keuntungan, antara lain dapat membuat campuran mortar menjadi lebih kuat, lebih padat, lebih tahan air, lebih cepat mengeras, dan juga memberi rekatan yang lebih baik. Kerugiannya adalah dengan cepatnya campuran mortar mengeras, maka dapat menyebabkan susut kering yang lebih tinggi pula. Mortar dengan kandungan semen hidraulis rendah akan lebih lemah.

2. Pasir

Gradasi yang baik dari pasir juga memberikan efek yang penting pada kelecakan dan ketahanan pada mortar. Pasir dengan butiran yang sangat halus tidak praktis untuk kelecakannya, sehingga harus ditambahkan semen untuk mengisi rongga diantara butiran yang halus tersebut untuk mendapatkan kelecakan yang baik, sedangkan mortar yang menggunakan pasir dengan butiran

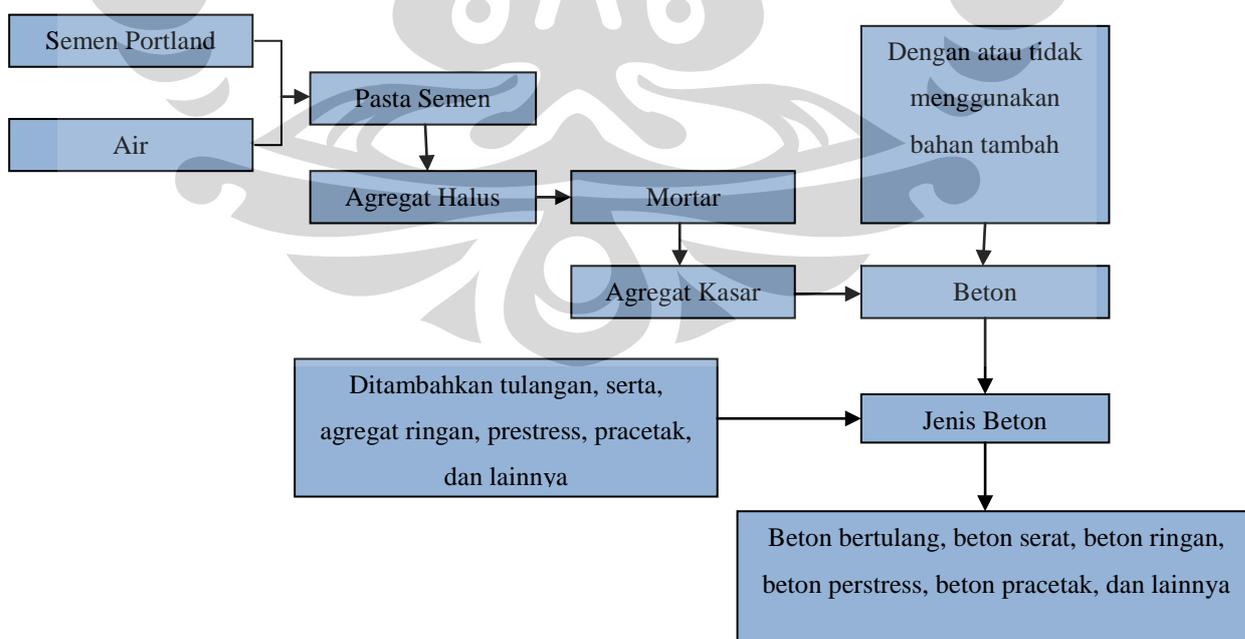
yang besar biasanya lemah karena rongga antar butiran cukup lebar sehingga tegangan tidak dapat menyebar secara merata.

3. Air

Air yang digunakan pada campuran mortar mempunyai fungsi untuk meningkatkan kelecakan dalam pembuatan mortar dan berperan penting dalam reaksi kimia yang disebut juga reaksi hidrasi. Jumlah air dalam pembuatan mortar harus cukup supaya terjadi rekatan yang benar - benar kuat antara partikel di dalam campuran mortar, tetapi jumlahnya tidak boleh berlebih karena akan menimbulkan rongga - rongga dalam mortar dan kekuatannya akan menurun.

2.5 BETON

Beton adalah campuran agregat kasar, agregat halus, semen, air, dan dengan atau tanpa bahan tambah lainnya.[ACI 211.1-1991][1]. Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar dan jika ditambahkan dengan agregat kasar menjadi beton. Penambahan material lain akan membedakan jenis beton, misalnya yang ditambahkan adalah tulangan baja akan terbentuk beton bertulang. Proses terjadinya beton dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Terjadinya Beton

2.6 BETON RINGAN

Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketahanan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m^3 kondisi kering permukaan jenuh dan harus memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural [SNI 03-2461-2002][27]. Beton ringan structural mempunyai kuat tekan lebih besar dari 17,25 MPa. [Povovics. Sandor.,1979][41]

2.6.1 Klasifikasi Beton Ringan

Klasifikasi beton ringan berdasarkan cara pembuatannya dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu [Brooks, J.J., Neville, A. M., 1981][11] :

1. Menggunakan agregat ringan yang porous dengan berat jenis kurang dari 2,6. Nama betonnya berdasarkan dari jenis agregat ringan yang digunakan.
2. Memperbesar pori dalam beton, atau masa mortarnya, dengan cara memasukkan udara. Betonnya disebut *aerated*, *cellular foamed* atau *gas concrete*.
3. Dengan mengurangi agregat halus (pasir) dari campuran betonnya. Betonnya disebut *no fines concrete*.

2.6.1.1 Beton Ringan Agregat

Beton ringan berdasarkan jenis agregat dapat diklasifikasikan sebagai berikut [ACI committee 213R-87, *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*, 1987][2]:

1. Beton Ringan dengan Berat Jenis Rendah (*Low Density Concrete*)
Beton ini merupakan beton non-struktural yang sangat ringan dan digunakan untuk bangunan insulasi (*thermal insulation*). Berat isi beton tidak boleh melebihi 800 kg/m^3 dengan kuat tekan antara 0,69-6,89 MPa.
2. Beton Ringan dengan Kekuatan Sedang (*Moderate Strength Concrete*)
Untuk struktur ringan dengan berat jenis antara 800 kg/m^3 sampai 1400 kg/m^3 . Beton ringan ini biasa digunakan sebagai beton pengisi dengan kuat tekan antara 6,89-17,24 MPa.
3. Beton Struktural (*Structural Concrete*)

Untuk struktur dengan berat jenis antara 1400 kg/m^3 sampai 1800 kg/m^3 dan kuat tekan lebih dari 17,24 MPa. Beton ringan struktural dibuat dengan menggunakan agregat ringan seperti *expanded shales, clays, slates, siages, pumice* dan *scoria*.

2.6.1.2 Beton Aerasi

Salah satu cara untuk mendapatkan beton ringan yaitu dengan memasukkan gelembung udara ke dalam mortar pada keadaan plastis, sehingga membentuk benda yang menyerupai busa yang mempunyai rongga antara 0,1 mm dan 1 mm harus stabil didalam beton, baik pada waktu dicampur atau dipadatkan. Beton seperti ini tidak mengandung agregat kasar. Ada dua cara untuk menghasilkan udara kedalamnya [Brooks, J.J., Neville, A. M., 1981][6], yaitu :

1. Beton Gas

Didapat dengan cara reaksi kimia antara bahan yang menimbulkan gas dalam mortar. Mortar harus memiliki konsistensi yang baik (tidak terlalu encer) agar gas yang terdapat di dalamnya tetap dan tidak keluar. Kecepatan terbentuknya gas, konsistensi mortar dan waktu pengikatan harus tepat. Pada beton ini, biasanya menggunakan serbuk alumunium sebanyak 0,2 % terhadap semen sehingga menghasilkan gelembung udara. Selain itu dipakai juga seng atau alumunium campuran.

2. Beton Busa

Dihasilkan dengan cara menambahkan ke dalam campuran sejenis bahan yang menghasilkan busa umumnya dari *hydrolyzed* protein atau *resin soap* yang stabil pada saat dicampur pada kecepatan tinggi. *Aerated concrete* dapat mengandung agregat atau tanpa agregat. Umumnya digunakan untuk pemakaian non struktural yang memerlukan isolasi panas dengan kepadatan 300 kg/m^3 , selain itu ada yang memiliki kepadatan 200 kg/m^3 jika menggunakan agregat yang sangat halus. Sebagian besar memiliki kepadatan antara 500 dan 1100 kg/m^3 .

Sama dengan beton agregat ringan kekuatan dan konduktivitas panasnya sangat tergantung kepadatannya. Beton dengan kepadatan 500 kg/m^3 dapat mencapai kekuatan 3-4 MPa. Dan konduktivitas panas $0,1 \text{ J/m}^2\text{s}.\text{°C/m}$. Untuk beton dengan kepadatan 1400 kg/m^3 dapat mencapai kekuatan 12-14

MPa dengan konduktivitas panas $0,4 \text{ J/m}^2\text{s} \cdot ^\circ\text{C/m}$. Sebagai perbandingan untuk beton normal bisa lebih besar dari 10 kali lipat. Konduktivitas panas pun sangat tergantung kadar air, dengan kadar air 20% konduktivitas panasnya bisa dua kali lipat dibandingkan dengan beton normal kering mutlak.

Modulus elastisitas *aerated concrete* antara 1,7 sampai 3,5 GPa. *Aerated concrete* digunakan sebagai bahan isolasi panas karena mempunyai konduktivitas panas yang rendah, juga memiliki sifat tahan api lebih tinggi dibandingkan beton normal. Keuntungan lain yaitu beton ini mudah untuk digergaji dan dipasang paku, memiliki penyerapan air yang tinggi dan tahan terhadap pembekuan.

Tulangan yang tidak terlindung yang terdapat dalam *aerated concrete* akan mengalami korosi. Tulangan tersebut dapat dilindungi dengan cairan anti korosi seperti aspal dan epoxy resin.

2.6.1.3 No Fines Concrete

Beton ini dibuat dengan cara mengurangi bagian agregat halus nya, sehingga hanya mengandung pasta semen dan agregat kasar saja. Jadi sekelompok agregat kasar yang terselimuti oleh pasta semen setebal $\pm 1,3 \text{ mm}$. Dengan pori yang besar, maka kekuatan menjadi lebih rendah, tetapi tidak terjadi perubahan kadar air didalamnya, karena tidak ada pori-pori kapiler sehingga kuantitas air yang masuk menjadi kecil.

Untuk jenis agregat tertentu, berat isi *no fines concrete* tergantung dari gradasi agregatnya. Dengan gradasi agregat yang seragam, berat isi yang didapat sekitar 10 % lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan agregat yang bergradasi baik. Ukuran agregat yang digunakan yaitu 10-20 mm, dengan ukuran agregat lebih besar dari 20 mm sebanyak 5 % dan 10% untuk ukuran agregat yang kurang dari 10 mm tetapi tidak boleh ada agregat dengan ukuran kurang dari 5 mm.

No fines concrete dengan berat isi kurang dari 640 kg/m^3 dapat dibuat dengan menggunakan agregat ringan. Apabila menggunakan agregat normal berat isi betonnya bervariasi antara 1600 kg/m^3 sampai 2000 kg/m^3 .

2.6.2 Sifat-sifat Mekanis Beton Ringan

2.6.2.1 *Workability*

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai slump yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. [Mulyono, Tri, 2003][34]. Slump merupakan salah satu faktor penting dalam kemudahan pengerjaan beton ringan dengan batasan nilai slump maksimum yaitu 4 in. Nilai slump yang lebih dari 4 in akan menyebabkan segregasi [ACI 213R-87][2].

Berbagai faktor yang diketahui dapat mempengaruhi sifat pengerjaan dari suatu campuran beton segar diantaranya:

1. Keadaan Lingkungan

Faktor-faktor lingkungan yang dapat memperburuk sifat pengerjaan beton adalah: suhu, kelembaban dan kecepatan angin. Oleh karena itu, jangka waktu sejak permulaan pengadukan sampai pemadatan serta pengaruh lingkungan, menguasai memburuknya sifat pengerjaan beton yang bersangkutan. Kenaikan suhu mempercepat jumlah penggunaan air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi dan kehilangan akibat penguapan. Demikian pula kecepatan angin dan kelembaban mempengaruhi sifat pengerjaan serta derajat penguapan air. [PEDC Bandung,1983][12]

2. Waktu

Waktu yang berlalu antara pengadukan dan pemadatan akhir dari beton bergantung pada keadaan umum suatu pekerjaan, seperti jarak antara mesin pengaduk beton dan tempat pengecoran, peraturan setempat dan pengolahan secara umum.

Memburuknya sifat pengerjaan sehubungan dengan waktu sebagai akibat langsung dari kehilangan air bebas melalui penguapan, daya serap agregat dan hidrasi awal dari semen. Untuk beton dengan keadaan lingkungan tertentu, derajat memburuknya sifat pengerjaan sehubungan dengan waktu, bergantung pada cara-cara pengolahan beton yang bersangkutan.

3. Stabilitas

Disamping harus dikerjakan dengan mudah, beton segar harus mempunyai susunan sedemikian sehingga bahan-bahan campurannya tetap

terbagi rata dalam beton selama jangka waktu antara pengadukan dan jangka waktu setelah pemadatan sebelum beton itu mengikat.

Akibat perbedaan-perbedaan dalam ukuran butiran dan berat jenis dari bahan-bahan campuran beton, maka secara alami ada kecenderungan bagi bahan-bahan tersebut untuk memisahkan diri.

Beton yang dapat mempertahankan keseragaman yang disyaratkan disebut beton yang stabil, semua beton yang stabil, semua beton yang kohesif termasuk ke dalam kategori ini. Untuk suatu campuran beton yang tidak stabil besarnya kecenderungan untuk memisahkan diri dari bahan-bahan campuran yang bersangkutan, bergantung pada cara pengangkutan, pengecoran serta pemadatan. Dua buah sifat yang biasa dijumpai pada beton yang tidak stabil adalah segregasi dan bleeding. [PEDC Bandung, 1983][12]

4. Segregasi

Segregasi adalah pemisahan dari berbagai bahan campuran beton disebabkan ukuran partikel dari berat jenis relatif yang berbeda. Terdapat suatu tendensi pada partikel yang lebih kasar dan lebih berat untuk mengendap dan pada bahan-bahan yang lebih ringan, terutama air untuk naik ke permukaan. [Brook, K.M., Murdock, L.J., 1981][10]

Apabila ada kecenderungan yang nyata bahwa butiran-butiran kasar dan halus dari suatu campuran beton hendak memisahkan diri, maka yang dihadapi adalah segregasi. Pada umumnya makin encer suatu campuran beton, makin besar kecenderungan untuk terjadi segregasi pada beton yang bersangkutan.

Segregasi dipengaruhi oleh luas jenis bahan-bahan padat total termasuk semen dan jumlah mortar yang terdapat dalam adukan. Adukan beton yang kasar, sangat encer, demikian pula yang sangat kering, yang kadar pasirnya kurang terutama fraksi halusanya, cenderung untuk mengalami segregasi. Sejauh mungkin cara-cara pengolahan yang dapat menyebabkan segregasi seperti guncangan-guncangan selama pengadukan beton, pengecoran dari tempat yang tinggi dan penggunaan alat penggetaran beton secara berlebihan, harus dihindarkan.

5. Bleeding

Selama pemadatan dan sampai pasta semen mengeras ada kecenderungan alami bagi bahan-bahan padat, bergantung pada ukurannya serta berat jenisnya, untuk mengendap. Apabila kekentalan beton itu sedemikian sehingga tidak mungkin untuk menahan semua air yang dikandungnya, maka sebagian dari air itu akan bergerak dan kemudian mengalir ke permukaan, sebagian lagi akan mengalir ke luar melalui sambungan-sambungan pada acuan. Pemisahan diri dari air campuran secara sedemikian itu disebut *bleeding*. Sebagian dari air itu dapat mencapai permukaan, sebagian tersekap diantara butiran-butiran besar dan diantara tulangan-tulangan. Variasi-variasi dari kadar air efektif dalam adukan beton menyebabkan perubahan-perubahan dalam sifat-sifatnya. Cara lain untuk mengurangi bleeding adalah dengan mencampurkan bahan pembantu yang membentuk udara dalam adukan. [PEDC Bandung,1983][12]

2.6.2.2 Berat Isi

Pengurangan berat beton dengan kualitas struktural merupakan keuntungan utama dari pemakaian beton ringan. Berat beton ringan struktural adalah $1440-1840 \text{ kg/m}^3$, tergantung pada sumber agregatnya. ASTM membatasi untuk berat isi agregat kasar yaitu $608-848 \text{ kg/m}^3$ dan agregat halus yaitu $800-1088 \text{ kg/m}^3$. Dengan menggantikan sebagian atau seluruh agregat halus dengan pasir alam yang mempunyai berat isi $1520-1760 \text{ kg/m}^3$ akan menaikkan berat beton sebesar $160-240 \text{ kg/m}^3$. [ACI 213R-87][2]

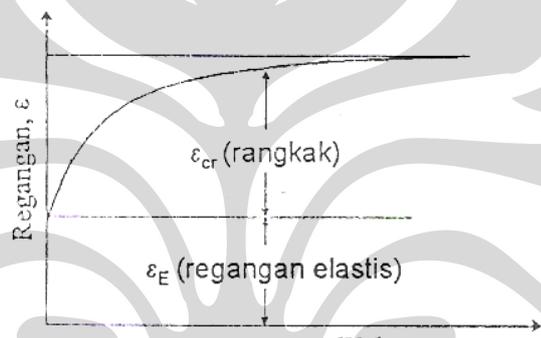
Sebagai contoh, dengan memakai agregat yang sama, pemakaian pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan akan menaikkan berat beton sebesar $80-160 \text{ kg/m}^3$ dengan kekuatan yang sama. Dengan memakai material yang sama, penambahan semen akan meningkatkan kekuatan beton dari 20,68 MPa menjadi 34,47 MPa dan berat beton bertambah $48-96 \text{ kg/m}^3$. [ACI 213R-87][2]

2.6.2.3 Rangkak dan Susut

Rangkak (*creep*) didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Deformasi awal akibat pembebanan

disebut sebagai regangan elastis, sedangkan regangan tambahan akibat beban yang sama disebut regangan rangkak. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Umumnya, rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur tetapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (*deflection*).

Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Proses rangkak selalu dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan dan seringkali memberikan pengaruh yang sama terhadap deformasi. [Mulyono, Tri, 2003][36]



Gambar 2.4 Kurva Waktu Regangan

2.6.2.4 Kuat Tekan Beton Ringan

Rata-rata kekuatan tekan minimum yang harus dimiliki beton yang menggunakan agregat ringan didasarkan atas berat isi kering maksimum. Jika ada nilai berat yang berada pada nilai tengah tabel maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai kekuatan tekan minimumnya. [Mulyono, Tri, 2003][36]

Tabel 2.4 Hubungan kekuatan tekan rata-rata dengan kandungan semen

Kekuatan Tekan Psi (Mpa)	Kandungan semen (kg/m ³)	
	All lightweight	Sanded Lightweight
2500 (17.24)	237-303	237-303
3000 (20.08)	261-332	249-332
4000 (27.58)	314-392	291-392

5000 (34.47)	374-445	356-445
6000 (41.37)	439-498	415-498

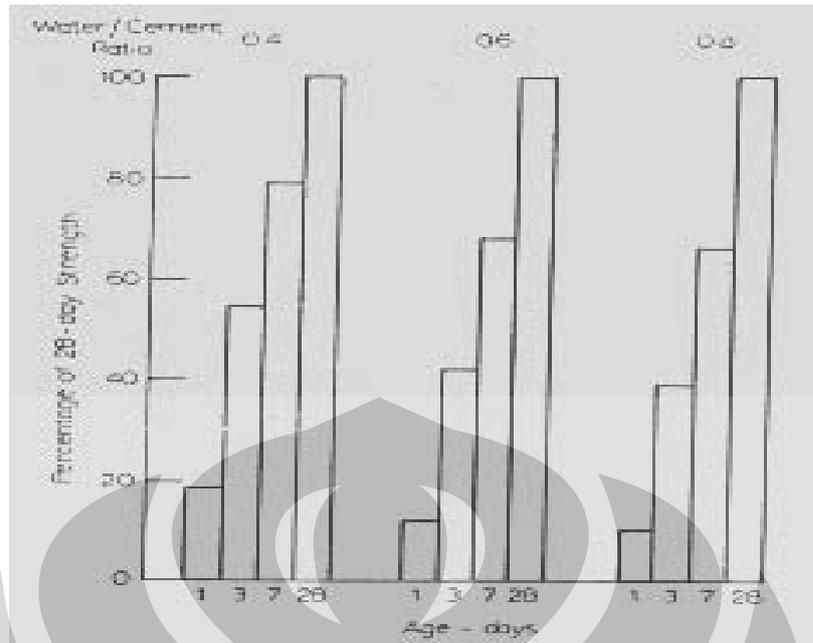
Sumber : *ACI committee 213R-87, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, 1987*

Tingkat kekuatan beton yang dibutuhkan untuk memenuhi kekuatan dengan cara beton *cast-in-place*, *pre-cast*, *pre-stress* dapat diperoleh dengan memakai agregat ringan. Kekuatan tekan 28 hari beton ringan umumnya adalah 20,68-34,47 MPa. Setiap agregat mempunyai kekuatan batas (*strength ceiling*) tetapi dapat dinaikkan batas kekuatan ini, yaitu dengan cara mengurangi ukuran butiran maksimum agregat untuk kadar semen dan nilai slump yang sama. Sebagai contoh, dengan memakai agregat ringan berukuran maksimum 3/4 inci, akan diperoleh beton berkekuatan 37,92 MPa. Tetapi apabila memakai agregat kasar ringan berukuran maksimum 1/2 inci atau 3/8 inci, batas kekuatan beton ringan tersebut akan meningkat sebesar 44,81-48,25 MPa. [*ACI Committee 213R-87*][2]

Kekuatan tekan beton ringan lebih tergantung pada kandungan semen dengan nilai slump tertentu daripada rasio air-semen. Penambahan air tanpa diikuti dengan penambahan semen pada campuran beton akan meningkatkan nilai slump. Pemakaian *Air-Entrained Agent* pada campuran beton ringan juga sangat menguntungkan. Pada tabel 2.6 dapat dilihat kadar semen yang diperlukan untuk memperoleh kekuatan tekan rata-rata beton pada umur 28 hari.

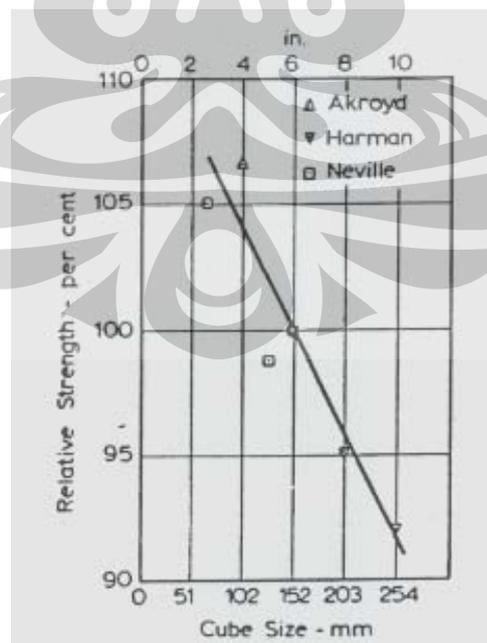
Dalam beberapa hal, kekuatan tekan beton ringan dapat ditingkatkan dengan mengganti sebagian atau seluruh agregat halus ringan dengan memakai agregat halus normal, pasir alam. Dimana dengan pemakaian agregat halus normal dapat meningkatkan berat isi beton (*density*). [*ACI Committee 213R-87*][2].

Umur beton mempengaruhi kuat tekan beton, Prosentase kuat tekan beton normal terhadap umur beton dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini[Neville, A.M.,1981][38].



Gambar 2.5 Grafik Prosentase Kuat Tekan Beton Ringan

Rasio kuat tekan spesimen silinder ukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm terhadap spesimen kubus (15x15x15) cm yaitu sebesar 0,8. Rasio kuat tekan spesimen kubus (5x5x5) cm terhadap spesimen kubus (15x15x15) cm dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini. [Neville, A.M.,1981][38].



Gambar 2.6 Grafik Rasio Kuat Tekan Spesimen Kubus

2.6.2.5 Kuat Tarik Belah

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

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

$$f_{ct} = \frac{2P}{\rho LD} \quad (2.1)$$

Di mana :

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

P = beban pada waktu belah (N)

L = panjang benda uji silinder (m)

D = diameter benda uji silinder (m)

Beton ringan pada umumnya mempunyai kuat tarik lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Berikut ini adalah ketentuan mengenai beton ringan (*lightweight concrete*) :

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

$$f_r = 1,09 f_{ct} \leq 7,5 \sqrt{f_c} \quad (2.2)$$

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

Hubungan antara kuat tarik beton dengan kuat tekannya dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$f_{ct} = 0,3(f_{c\phi})^{2/3} \quad (2.3)$$

Dimana :

f_{ct} = kuat tarik belah beton, MPa

$f_{c\phi}$ = kuat tekan beton, MPa

f_r = modulus of rupture

2.6.2.6 Poisson's Ratio

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

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

Berdasarkan agregat yang digunakan, *Poisson's ratio* beton berkisar antara 0,17-0,2, diketahui dari pengukuran regangan, baik untuk beton normal, maupun beton ringan. Penentuan besarnya nilai dari *Poisson's ratio* beton dapat ditentukan melalui suatu uji dinamik. Pengujian dinamik ini dikembangkan oleh R. Jones (1955) pada benda uji balok beton, dimana secara matematis *Poisson's ratio* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{V}{2nL}\right)^2 = \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)} \quad (2.4)$$

Dimana :

V = Kecepatan getaran (pulse)

n = Frekuensi getaran

L = Panjang getaran

Dari hasil tes dengan metode resonansi, diperoleh angka Poisson untuk beton ringan antara 0,16-0,25 dengan rata-rata 0,21. Test ini dilakukan untuk menggambarkan nilai *Poisson's ratio* dengan metode statik untuk beton ringan yaitu 0,15-0,25 dengan rata-rata 0,20. Umur beton, kekuatan beton dan agregat yang dipakai untuk membuat beton ringan tidak terlalu mempengaruhi angka poisson ini. [Nawy, Edward. G., 1990][37]

Biasanya untuk keperluan desain dipakai angka Poisson sebesar 0,20. Untuk dapat memperoleh hasil yang lebih akurat harus dilakukan tes di laboratorium dengan metode atau standard ASTM C.469-94. [ASTM C.469-94][7]

2.6.2.7 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung dari jumlah mortar semen dan agregat serta nilai modulus dari masing-masing bahan pembentuknya. Beton normal mempunyai nilai modulus elastisitas yang lebih besar karena nilai modulus dari pasir dan kerikil lebih besar dari modulus agregat ringan struktural.

Dasar yang digunakan untuk menghitung harga modulus elastisitas pada beton normal maupun beton ringan adalah mengacu pada rumus Hooke [Nawy, Edward. G., 1990][37], yaitu :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.5)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan pada saat beban bekerja

ε = Regangan pada saat beban bekerja

Tegangan didapat dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.6)$$

Dimana :

σ = Tegangan

P = Gaya (N)

A = Luas Penampang

Regangan didapat dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.7)$$

Dimana :

ε = regangan

ΔL = deformasi panjang

L = panjang awal

Untuk menghitung angka perbandingan Poisson digunakan rumus dasar [Neville A.M., 1981][36] yaitu perbandingan antara regangan lateral dibagi regangan aksial :

$$\nu = \frac{\varepsilon \text{ lateral}}{\varepsilon \text{ aksial}} \quad (2.8)$$

Dimana :

ν = Poisson rasio

ε lateral = regangan lateral

ε aksial = regangan aksial

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

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

$$d = \frac{g \cdot er}{er + eg}$$
(2.9)

Dimana :

d = deformasi total benda uji.

Deformasi total sampel/benda uji seluruh/sepanjang jarak dial efektif

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

er = eksentrisitas batang indikator

Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuannya, dari sumbu rotasinya yang menghubungkan rotasinya

eg = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji.

Jarak tegak lurus dari dial ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuan yang menghubungkan rotasinya

- ♦ Untuk pembacaan dial regangan transversal, terdapat koreksi sesuai dengan posisi alat.

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

$$d = \frac{g' \cdot e'h}{e'h + e'g}$$
(2.10)

Dimana :

d = deformasi total benda uji.

Deformasi total sampel/benda uji seluruh/sepanjang jarak dial efektif

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

e'h = eksentrisitas batang indikator

Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuannya, dari sumbu tengah

e'g = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji.

Jarak tegak lurus dari dial ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuan yang menghubungkan sumbu tengahnya

Rumus umum untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton (E_c) sebagai berikut :

$$E_c = w_c^{1.5} \times 0.043 \sqrt{f'_c} \quad (2.11)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas Beton (Mpa)

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

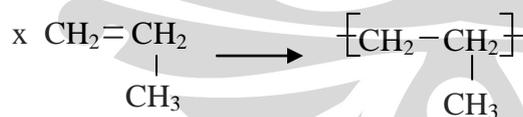
f'_c = Kuat Tekan Beton (Mpa)

ACI 318 menggunakan nilai w antara 1440-2480 kg/m³. Nilai modulus elastisitas beton (E_c) yang didapat dengan menggunakan rumusan ini kurang akurat sehingga untuk memperoleh hasil yang lebih mendekati harus dilakukan tes di laboratorium dengan metode atau standard ASTM C.469.

2.7 POLYPROPYLENE

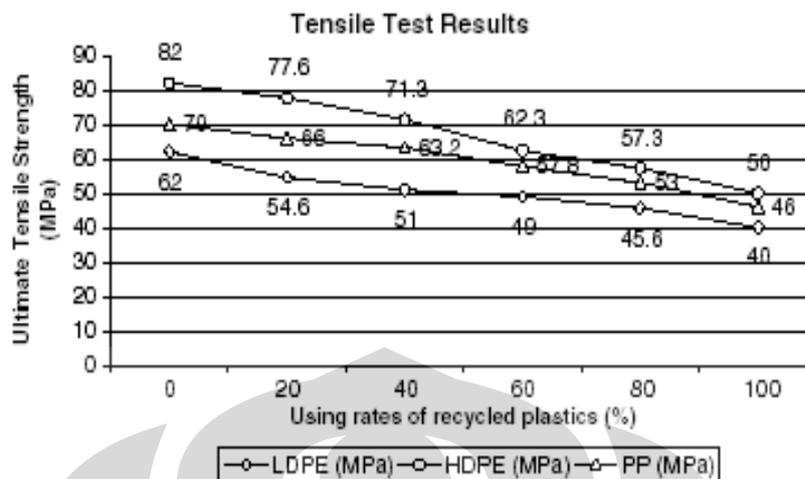
2.7.1 Definisi Polypropylene

Poly propylene (PP) adalah suatu ikatan kimia yang tersusun dari polimerisasi propilen, suatu monomer yang berasal dari produksi minyak.[Harper, Charles, A.,2001][31]. *Polypropylene* (PP) merupakan polimer yang kaku dan tahan panas. *Polypropylene* dibentuk oleh polimerisasi polimer menggunakan katalis dan membentuk suatu struktur [McLean, 1990][33]. *Polypropylene* (PP) merupakan polimerisasi dari *propilene*. Reaksi pembentukan *polypropylene* adalah sebagai berikut [Brandrup, Johannes., 1997][8]:



Poli Propilen dan Poli Etilen mempunyai banyak kesamaan sifat, karena Poli Propilen dan Poli Etilen merupakan kelompok *metyl*. Kelompok *metyl* ini mempengaruhi sifat kimia. Sebagai contoh, atom karbon tersier menjadi tempat untuk oksidasi sehingga polimer Poli Propilen lebih stabil daripada Poli Etilen.

Kelompok *metyl* Suhu dan energi yang tinggi menyebabkan pemisahan rantai karbon. Perbandingan kuat tarik ultimate antara HDPE, LDPE dan *Poly Propylene* dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini [http://www.elsevier.com/locate/matdes][33]:



Gambar 2.7 Perbandingan kuat tarik ultimate HDPE, LDPE, dan Poli Propilen

Poli Propilen terbagi menjadi dua struktur dasar yaitu isotactic dan atactic atau syndiotactic.

2.7.1.1 Isotactic

Pada umumnya Poli Propilen berbentuk *isotactic*. Pada bentuk ini, salah satu sisi molekul terpisah dari kelompok *metyl*. Beberapa molekul tidak dapat membentuk kristal pada formasi zig zag seperti Poli Etilen karena terhalang oleh kelompok *metyl* tetapi kristal terbentuk pada *helix* yang membutuhkan tiga buah molekul untuk satu putaran *helix*. Kedua sisi *helix* baik kanan maupun kiri syndiotactic bergabung membentuk kristal yang sama. Sekitar 90-95 % produk yang digunakan merupakan produk *isotactic*. Sebagian besar industri menggunakan produk isotactic mutu tinggi. [Brydson, J.A., 1982] [9]

Sifat-sifat Poli Propilen *isotactic* yaitu:

1. Mempunyai berat jenis $0,9 \text{ gr/cm}^3$.
2. Mempunyai titik leleh yang lebih tinggi daripada Poli Etilen.
3. Poli Propilen lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan luar terutama sulfur dan *chromic acid*.
4. Mempunyai titik getas yang lebih tinggi daripada Poli Etilen.
5. Tahan terhadap oksidasi.

2.7.1.2 *Atactic atau Syndiotactic*

Struktur *atactic* dan *syndiotactic* merupakan molekul pelengkap atau sebagai bagian dari variasi lengan *helix* pada rantai molekul *isotactic*. Polimer stereo juga dibentuk dari residu polimer pada lengan kanan *helix* yang berhasil dihalangi oleh lengan kiri *helix*. Frekuensi pergantian *helix* mempengaruhi kristalisasi dan sifat-sifat polimer. *Atactic* polimer merupakan struktur yang amorf seperti karet, sedangkan polimer *isotactic* biasanya kaku, mempunyai tingkat kristalisasi, titik leleh, kuat tarik, modulus elastisitas yang lebih tinggi.

Untuk industri, Poli Propilen *atactic* biasanya diberikan bahan tambah, antara lain:

1. Bahan pengisi
2. Karet
3. Pigmen hitam dan bahan penyerap ultra violet
4. Anti oksidan
5. *Nucleating agents*

2.7.2 Proses Pembentukan

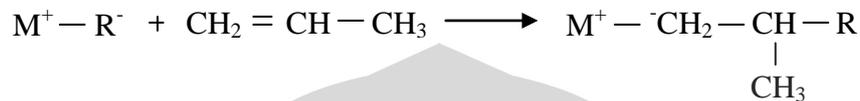
Dalam pembuatan polipropilen, monomer propilen dipolimerisasi agar membentuk homopolimer. Pada awalnya etilen secara acak terdapat di sepanjang rantai propilen, blok-blok polimer itu terbentuk ketika etilen dan propilen bersatu dalam reaksi polimerisasi sehingga menghasilkan polipropilen. Reaksi tahap awal terjadi ketika molekul propilen ditambahkan ke pusat argonometalik aktif yaitu M^+-R^- . Dengan penambahan ke pusat argonometalik aktif, maka terjadi proses penyebaran reaksi kimia. Reaksi ini diakhiri dengan transfer monomer, transfer *metal alkyl*, atau transfer ion hidrasi yang bereaksi dengan katalis.

Proses pembentukan Poli Propilen serupa dengan Poli Etilen. Perbedaannya hanya terletak suhu pembuatan dan kadar nilai gesar. Temperatur tungku pelelehan sekitar 210-250°C. Hal ini dilakukan untuk menjaga suhu tetap rendah pada saat tahap oksidasi. Proses ini merupakan tahapan yang sulit karena untuk membuat struktur homogen untuk menghindari degradasi polimer. Oleh karena itu harus menggunakan alat yang dapat tahan terhadap tekanan tinggi

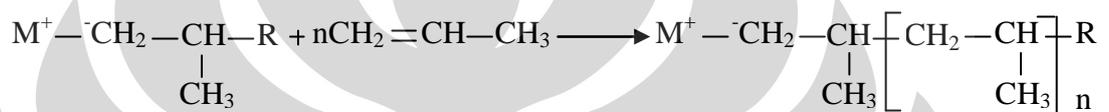
dengan menjaga temperatur agar tetap stabil. Alat juga harus dilapisi oleh bahan khusus agar kristal-kristal kecil Poli Propilen tidak tercecer keluar.

Secara umum tahap pembuatan Polipropilen adalah [McLean, 1990][35] sebagai berikut :

1. Tahap Awal/ Inisiasi

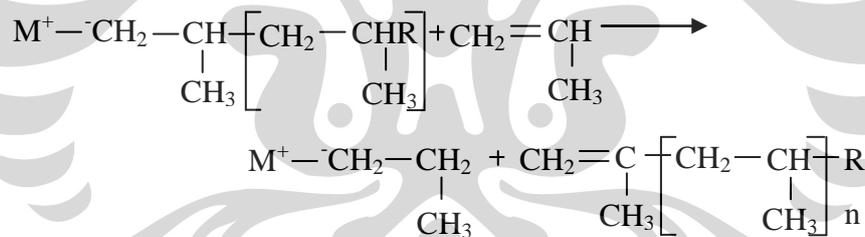


2. Propagasi

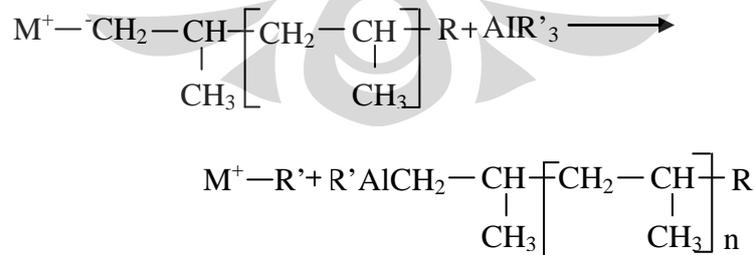


3. Terminasi

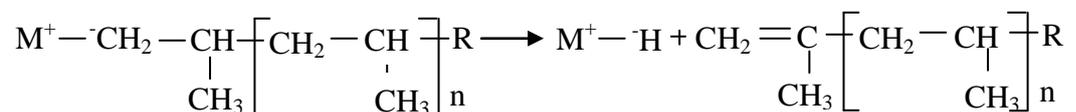
* Terminasi oleh Transfer Monomer

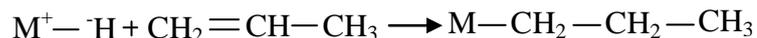


* Terminasi oleh Transfer *Metal Alkyl*



* Terminasi oleh Transfer Ion Hidrida





2.7.3 Sifat-sifat Poli Propilen (PP)

- Sifat – sifat fisik dari Poli Propilen (PP), [Domininghaus, Hans, 1994][30] sebagai berikut :

- Density* : 0,90-0,91 g/cm²
- Crystalline melting range : 160-165 °C
- Thermal conductivity* : 0,22 W/m K
- Spesific heat capacity at 20°C* : 1,7 kJ/kg K
- Water absorbsion* : < 2 mg

- Sifat-sifat mekanik dari Poli Propilen (PP) sebagai berikut :

- Tensile stress at yield* : 30 N/mm²
- Elongation at yield* : -
- Torsional stiffness* : 480 N/mm²
- Flexural creep modulus (1-min)* : 1650 N/mm²
- Impact strength* : 20 kJ/m²
- Modulus of Elasticity* : 4100 Mpa

- Sifat Kimia dari Poli Propilen (PP) [Domininghaus, Hans, 1994][30]

- Ketahanan terhadap zat kimia

Pada umumnya, Poli Propilen tahan terhadap serangan kimia. Polypropilene tahan terhadap zat asam (kecuali asam oksidasi), alkali, garam, alkohol, air, jus buah, susu, minyak, dan deterjen. Poli Propilen tidak tahan terhadap hidrokarbon klorinat seperti benzena.

- Tahan terhadap cuaca
- Tahan terhadap energy radiasi yang tinggi.

Poli Propilen tahan terhadap radiasi sinar UV walaupun tingkatannya lebih rendah dari pada Poli Etilen disebabkan oleh atom karbon tersier yang terdapat pada Propilen.

- Tahan terhadap zat beracun

2.7.4 Penggunaan Poli Propilen (PP)

Produk daur ulang poli propilen digunakan pada industri pembuatan baterai [www.elsevier.com/locate/conbuildmat][33]. Selain itu Poli Propilen juga digunakan untuk beberapa produksi komersial, [McLean, 1990][35] diantaranya:

1. Botol Sirup
2. Kemasan deterjen, shampoo, alat-alat kedokteran, dan beberapa jenis kemasan obat
3. Pembungkus dan pelindung alat-alat otomotif
4. Karpet
5. Pembungkus makanan dan produk industri
6. Karung pasir
7. Kantung dan pelapis barang
8. Kapasitor elektronik
9. Pembungkus aerosol dan pipa, pembungkus makanan, tempat penyimpanan produk.
10. *Bumper* mobil
11. Tangki
12. Pita dekorasi, pengikat bagian-bagian mesin kendaraan.
13. Pipa pada sistem industri air kotor, sistem irigasi, dan sebagainya.

2.8 PENGUJIAN AGREGAT

2.8.1 Pengujian Agregat Halus

2.8.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Tujuan pengujian ini untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, dan angka penyerapan air pada agregat halus. [SNI 03-1970-1990][14].

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Timbangan, kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram;
2. Piknometer dengan kapasitas 500 ml;

3. Kerucut terpancung, diameter bagian atas (40 ± 3) mm, diameter bagian bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm;
4. Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram, diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm;
5. Saringan No. 4 (4,75) mm;
6. Oven;
7. Pengukur suhu;
8. Talam;
9. Bejana tempat air;

Benda uji adalah agregat yang lewat saringan No. 4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah atau contoh cara perempat (*quarry*) sebanyak 500 gram.

Untuk proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu (110 ± 5)° C, sampai berat tetap; yang dimaksudkan berat tetap adalah keadaan berat benda uji selama 3 kali proses penimbangan atau pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut, tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar daripada 0,1%; dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama (24 ± 4)jam;
2. Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talam, keringkan di udara dengan cara membalik-balikkan benda uji; lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh;
3. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung. Padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak;
4. Segera setekah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam picnometer, masukkan air suling sampai mencapai 90 % isi picnometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.

5. Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C;
6. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas;
7. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (B_t);
8. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji;
9. Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (B_k);
10. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu standar 25°C (B).

Dalam metode ini dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- Berat jenis curah =
$$\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.12)$$

- Berat jenis jenuh kering permukaan =
$$\frac{500}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.13)$$

- Berat jenis semu =
$$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \quad (2.14)$$

- Penyerapan =
$$\frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan :

B_k = benda uji kering oven, dalam gram

B = Berat piknometer berisi air, dalam gram

B_t = benda piknometer berisi benda uji dalam air., dalam gram

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram.

Yang dimaksud dengan :

- Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C;
- Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C;

- Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C;
- Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap *quarry* terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

2.8.1.2 Pengujian Analisa Ayak

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus. [SNI 03-1968-1990][26]

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

1. Timbangan dan neraca.
2. Satu set saringan; 27,5 mm (3"); 62,5 mm (2 ½ "); 50,8 mm (2"); No. 4 (4,75 mm); No. 8 (2,36 mm); No. 16 (1,18 mm); No. 30 (0,600 mm); No. 50 (0,300 mm); No. 16 (1,18 mm); No. 30 (0,600 mm); No. 50 (0,300 mm); No. 100 (0,150 mm); No. 200 (0,075 mm).
3. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 + 5)°C.
4. Alat pemisah contoh.
5. Mesin pengguncang saringan.
6. Talam-talam.
7. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat lainnya.

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat banyak.

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C, sampai berat tetap.
2. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digoncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
3. Timbang berat agregat kasar yang terdapat pada masing-masing ayakan.

Perhitungan :

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

$$FM = \frac{\sum \% \text{ tertahan komulatif diatas ayakan } 0,15 \text{ mm}}{100} \quad (2.16)$$

2.8.1.3 Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh persentase jumlah dalam bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm), yang dimaksud dengan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih. [SNI 03-4142-1996][18].

Peralatan yang digunakan:

1. Saringan terdiri dari dua ukuran, bagian bawah No.200 (0,075 mm) dan di atasnya saringan No.16 (1,18 mm)
2. Wadah untuk mencuci mempunyai kapasitas yang dapat menampung benda uji sehingga pada waktu pengadukan benda uji dan air pencuci tidak mudah tumpah.
3. Timbangan
4. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

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 c,d dan e, 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

Perhitungan:

Hitung persen bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) :

- Berat kering benda uji awal

$$w_3 = w_1 - w_2 \quad (2.17)$$

- Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$w_5 = w_4 - w_2 \quad (2.18)$$

- Bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

$$w_6 = \frac{w_3 - w_5}{w_3} \cdot 100\% \quad (2.19)$$

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 setelah pencucian (gram)

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

2.8.1.4 Pengujian Kadar Organik dalam Pasir Untuk Campuran Mortar dan Beton

Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan angka petunjuk larutan standar atau standar warna yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir. [SNI 03-2816-1992][20].

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Botol/ gelas tidak berwarna dengan isi \pm 35 ml.
2. standard warna
3. larutan NaOH 3 %

Benda uji yang digunakan yaitu pasir sebanyak 1/3 botol (115 ml).

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

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

2.8.1.5 Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh angka presentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat halus. [SNI 03-1971-1990][19]

Peralatan yang dipakai dalam pengujian kadar air adalah sebagai berikut :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh;
2. Oven;
3. Talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan benda uji.

Urutan proses pengujian adalah sebagai berikut:

1. Timbang dan catatlah berat talam (W_1);
2. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2);

3. Hitunglah berat benda uji beserta dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap;
4. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4);
5. Hitunglah berta benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$)

Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100\% \quad (2.20)$$

Keterangan :

W_1 = berat talam (gram)

W_3 = berat benda uji dan talam (gram)

W_3 = berat benda uji semula (gram)

W_3 = berat benda uji kering oven (gram)

W_3 = berat benda uji kering (gram)

2.8.2 Pengujian Agregat Kasar

2.8.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan dari agregat kasar. [SNI 03-1969-1990][15]

Peralatan yang dipakai meliputi:

1. Keranjang kawat ukuran 3,35 mm (No. 6) atau 2,36 mm (No. 8) dengan kapasitas rata-rata 5 kg;
2. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap;
3. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan ketelitian 0,1 % dari berta contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang;
4. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
5. Alat pemisah contoh;
6. Saringan No. 4 (4,75 mm)

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara seperempat sebanyak kira-kira 5 kg.

Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan;
2. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap; sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven;
3. Rendam benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (B_k);
4. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam;
5. Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan halus satu persatu;
6. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j);
7. Letakkan benda uji dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (B_a), dan ukur suhu air untuk penyelesaian perhitungan kepada suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar (25°C);
8. Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir-butir berat dan ringan; bahan semacam ini memberikan harga-harga berat jenis yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan sangat hati-hati, dalam hal ini beberapa pemeriksaan ulangan diperlukan untuk mendapatkan harga rata-rata yang memuaskan.

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar diberikan sebagai berikut :

- Berat jenis curah (*bulk specific gravity*) = $\frac{B_k}{B_j - B_a}$ (2.21)

- Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*)

$$= \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (2.22)$$

- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) = $\frac{B_k}{B_k - B_a}$ (2.23)

- Penyerapan = $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$ (2.24)

Keterangan :

B_k = berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j = berat benda uji kering permukaan, dalam gram

B_a = berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air, dalam gram

Yang dimaksud dengan:

- Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C;
- Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C;
- Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C;
- Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap *quarry* terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

2.8.2.2 Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Pengujian ini adalah untuk mengetahui angka untuk bobot isi dan rongga udara dalam agregat. [SNI 03-4804-1998][16]

Peralatan yang digunakan harus memenuhi ketentuan berikut :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram kapasitas 2 kg untuk contoh agregat halus, dan ketelitian 1 gram kapasitas 20 kg untuk contoh agregat kasar;
2. Batang penusuk terbuat dari baja berbentuk batang lurus, berdiameter 16 mm dan panjang 610 mm dan ujungnya dibuat tumpul setengah bundar.

3. Alat penakar berbentuk silinder terbuat dari logam atau bahan kedap air dengan ujung dan dasar benar-benar rata, kapasitas takar sesuai dengan Tabel 2.9;
4. Sekop atau sendok sesuai dengan kebutuhan;
5. Peralatan Kalibrasi

Tabel 2.5 Kapasitas Penakar Untuk Berbagai Ukuran Agregat

Ukuran Besar Beton Nominal Agregat (mm)	Kapasitas Maksimum Penakar (liter)
12,5	2,8
25,0	9,3
37,5	14
75	28
112	70
150	100

Contoh benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Jumlah mendekati 125% - 200% dari jumlah yang diuji;
2. Kering oven atau kering permukaan.

Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat dilakukan sebagai berikut :

1. Kondisi Padat

Kondisi padat dilakukan dengan cara tusuk dan cara ketuk:

- Cara tusuk :
 - 1) Isi penakar seperiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata;
 - 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 x tusukan batang penusuk;
 - 3) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dengan tusuk seperti diatas;
 - 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi;
 - 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata;
 - 6) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri;
 - 7) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg;
 - 8) Hitung berat isi agregat
 - 9) Hitung kadar rongga udara

Perhitungan

- Berat isi

Berat isi sebagai berikut :

1. Agregat dalam keadaan kering oven dihitung menurut rumus berikut :

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad (2.25)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (2.26)$$

Keterangan :

M = Berat isis agregat dalam kondisi kering oven, dalam kg/m^3 ;

G = Berat agregat dan penakar, dalam kg;

T = Berat penakar, kg;

V = Volume penakar, dalam m^3 ;

F = Faktor penakar, dalam m^3 .

2. Agregat dalam keadaan kering permukaan dihitung menurut rumus berikut :

$$M_{SSD} = M [1 + (A/100)] \quad (2.27)$$

Keterangan :

M_{SSD} = Berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan dalam kg/m^3 ;

M = Berat isi dalam kondisi kering oven dalam kg/m^3 ;

A = Absorpsi dalam %

- Kadar Rongga Udara

Kadar rongga udara dalam agregat dihitung menurut rumus berikut :

$$\text{Rongga Udara} = \frac{[(s \times w) - M]}{(s \times w)} \times 100\% \quad (2.28)$$

Keterangan :

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

s = Berat jenis agregat dalam kering oven

w = kerapatan air, 998 kg/m^3 .

2.8.2.3 Pengujian Analisis Ayak Agregat kasar

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat kasar. [SNI 03-1968-1990][26]

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

1. Timbangan dan neraca.
2. Satu set saringan; 37,5 mm (1 ½ ”); 25 mm (1 ”); 19 mm (3/4”); 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm.
3. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 + 5)°C.
4. Alat pemisah contoh.
5. Mesin pengguncang saringan.
6. Talam-talam.
7. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat lainnya.

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat banyak.

Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C, sampai berat tetap.
2. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digoncang dengan tangan atau mesin penggoncang selama 15 menit.
3. Timbang berat agregat kasar yang terdapat pada masing-masing ayakan.
4. Hitung persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

2.8.2.4 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula dalam persen.[SNI 03-2417-1991][21]

Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mesin Abrasi Los Angeles;
2. Saringan No. 12 (1,7 mm) dan saringan-saringan lainnya;

3. Timbangan, dengan ketelitian 5 gram;
4. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm ($1 \frac{7}{8}$ ") dan berat masing-masing antara 400 gram sampai 440 gram;
5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.

Benda uji dipersiapkan dengan cara sebagai berikut :

1. Berat dan gradasi benda uji sesuai daftar;
2. Bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

Pengujian dilaksanakan dengan cara sebagai berikut:

1. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 (tujuh) cara berikut :
 - 1) Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm.
Jumlah bola 12 buah dengan putaran 500 putaran.
 - 2) Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm.
Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
 - 3) Cara C : Gradasi C, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 4,75 mm.
Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - 4) Cara D : Gradasi D, bahan lolos 4,75 mm sampai tertahan 2,36 mm.
Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
 - 5) Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm.
Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - 6) Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm.
Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
2. Benda uji 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 100 putaran;
4. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No. 12 (1,7 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci

bersih. Selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

5. Benda uji bola baja dimasukkan ke dalam mesin Abrasi los Angeles;
6. Putar mesin dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gardasi A, B, C, dan D 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G 100 putaran;
7. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No. 12 (1,7 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih. Selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

Perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.29)$$

Keterangan :

a = berat benda uji semula, gram

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

2.8.2.5 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh angka presentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. [SNI 03-1971-1990][19]

Peralatan yang dipakai dalam pengujian kadar air adalah sebagai berikut :

4. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh;
5. Oven;
6. Talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan benda uji.

Berat benda uji untuk pemeriksaan agregat minimum tergantung pada ukuran butir maksimum Tabel 2.6

Tabel 2.6 Berat Minimum Benda Uji

Ukuran butir maksimum		Berat (W) agregat minimum (kg)
Mm	Psi	
6,3	¼	0,5
9,5	3/8	1,5
12,7	½	2,0
19,1	¾	3,0
25,4	1	4,0
38,1	1 ½	6,0
50,8	2	8,0
63,5	2 ½	10,0
76,2	3	13,0
88,9	3 ½	16,0
101,6	4	25
152,4	6	50

Urutan proses pengujian adalah sebagai berikut:

1. Timbang dan catatlah berat talam (W_1);
2. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2);
3. Hitunglah berat benda uji beserta dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap;
4. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4);
5. Hitunglah berta benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$)

Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100\% \quad (2.30)$$

Keterangan :

W_1 = berat talam (gram)

W_2 = berat benda uji dan talam (gram)

W_3 = berat benda uji semula (gram)

W_4 = berat benda uji kering oven (gram)

W_5 = berat benda uji kering (gram)

2.9 PENGUJIAN BETON SEGAR

2.9.1 Pengujian Slump

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh angka slump beton. [SNI 03-1972-1990][13]

Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Cetakan dari logam tebal minimal 1,2 mm berupa kerucut terpancung (*cone*) dengan diameter bagian bawah 203 mm, bagian atas 102 mm, dan tinggi 305 mm, bagian bawah dan atas cetakan terbuka.
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 600 mm, ujung dibuatkan dibuat dari baja yang bersih dan bebas dari karat.
3. Pelat logam dengan permukaan yang kokoh, rata dan kedap air.
4. Sendok cengkung menyerap air.
5. Mistar ukur.

Pengujian slump dilakukan sebagai berikut :

1. Cetakan dan plat dibasahi
2. Cetakan diletakkan diatas plat
3. Cetakan diisi beton segar sampai penuh dalam 3 lapis tiap lapis berisi kira-kira 1/3 dari cetakan, setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata, pada lapisan pertama penusukan bagian tepi tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan cetakan.
4. Setelah selesai penusukkan, permukaan benda uji diratakan dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang jatuh disekitar cetakan dibersihkan.
5. Cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus keatas.
6. Cetakkan dibalik dan diletakkan perlahan-lahan disamping benda uji, lalu slump diukur dengan menentukan perbedaan tinggi rata-rata benda uji.

2.9.2 Pengujian Berat Isi Beton Segar

Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh angka yang benar dari berat isi beton. [SNI 03-1973-1990][17]

Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Timbangan;
2. Tongkat pemadat, diameter 16 mm, panjang 600 mm, ujung dibulatkan dibuat dari baja yang bersih dan bebas dari karat;
3. Alat perata;
4. Takaran bentuk silinder.

Pengujian berat isi beton segar dilakukan sebagai berikut :

1. Takaran diisi benda uji dalam 3 lapis
2. Tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan lapis pertama, tongkat tidak boleh mengenai dasar takaran, pada pemadatan lapisan kedua dan ketiga, tongkat boleh masuk kira-kira 25,4 mm dibawah lapisan sebelumnya.
3. Setelah selesai pemadatan, sisi takaran diketuk perlahan-lahan sampai tidak tampak gelembung-gelembung udara pada permukaan serta rongga-rongga bekas tusukan tertutup.
4. Permukaan benda uji diratakan dan ditentukan beratnya.

Perhitungan:

$$\text{Berat isi beton} \quad D = \frac{W}{V} \quad (2.31)$$

Keterangan:

W = Berat benda uji (kg)

V = isi takaran (liter)

2.10 PENGUJIAN BETON RINGAN

2.10.1 Pengujian Kuat Tekan [SNI 03-1974-1990][23]

Pengujian kuat tekan dilakukan sebagai berikut :

1. Benda uji diletakkan secara sentries pada mesin tekan.
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik.
3. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur.
4. Catat beban maksimum yang terjadi.
5. Bentuk pecah digambar dan catat keadaan benda uji.

Perhitungan

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

Keterangan :

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

2.10.2 Pengujian Kuat Tarik belah [SNI 03-2451-2002][22]

Cara pengujian:

1. Timbang benda uji.
2. Tarik garis tengah pada setiap sisi ujung silinder benda uji.
3. Penempatan benda uji pada mesin tekan berdasarkan tanda garis tengah pada kedua permukaan benda uji.
4. Pemberian beban dilakukan secara kontinu hingga benda uji terbelah menjadi 2 bagian dan beban maksimum ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

Perhitungan :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2.32)$$

dimana :

f_{ct} = kuat tarik belah beton (N/m²)

P = Beban pada waktu belah (N)

L = Panjang benda uji silinder (m)

D = Diameter benda uji silinder(m)

2.10.3 Pengujian Modulus Elastisitas [SNI 03-4169-1996][25]

Tujuan pengujian ini adalah 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.

Pengujian modulus elastisitas ini dilakukan dengan menggunakan alat dial gage, yaitu :

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

Perhitungan

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

$$\frac{g}{(er + eg)} = \frac{d}{er} \quad (2.33)$$

$$d = \frac{g \cdot er}{er + eg}$$

Dimana :

d = deformasi total benda uji.

Deformasi total sampel/benda uji seluruh/sepanjang jarak dial efektif

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

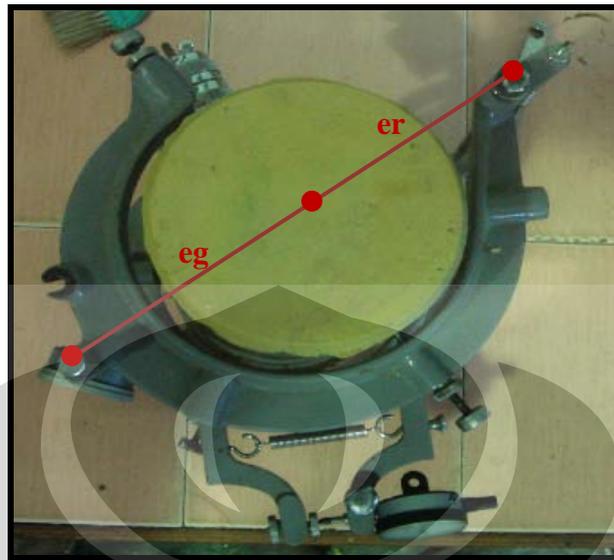
er = eksentrisitas batang indikator

Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke bidang vertikal melalui sepanjang

dua titik tumpuannya, dari sumbu rotasinya yang menghubungkan rotasinya

eg = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji.

Jarak tegak lurus dari dial ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuan yang menghubungkan rotasinya



Gambar 2.8 Koreksi Pembacaan Dial Lateral

- ♦ Untuk pembacaan dial regangan transversal, terdapat koreksi sesuai dengan posisi alat.

$$\frac{g'}{(e'h + e'g)} = \frac{d}{e'h} \quad (2.34)$$

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

Dimana :

d = deformasi total benda uji.

Deformasi total sampel/benda uji seluruh/sepanjang jarak dial efektif

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

$e'h$ = eksentrisitas batang indikator

Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuannya, dari sumbu tengah

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

Jarak tegak lurus dari dial ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuan yang menghubungkan sumbu tengahnya

- Modulus Elastisitas

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,000050} \quad (2.35)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas, dalam MPa;

S₂ = Kuat tekan pada saat 40 % dari beban maksimum, dalam MPa;

S₁ = Kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai $\varepsilon_1 = 50$ per juta, dalam MPa

ε_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S₂

- Rasio Poisson

$$\mu = \frac{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}}{\varepsilon_2 - 0,000050} \quad (2.36)$$

Keterangan:

μ = rasio Poisson

ε_{r2} = regangan lateral pada tengah-tengah tinggi benda uji yang diakibatkan oleh S₂

ε_{r1} = regangan lateral pada tengah-tengah tinggi benda uji yang diakibatkan oleh S₁

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 PENDAHULUAN

Pada penelitian ini akan dipelajari karakteristik agregat kasar ringan buatan yang berasal dari limbah gelas plastik PP (*Poly propylene*). Untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar ringan buatan tersebut maka dilakukan pemeriksaan terhadap mutu dan syarat dari agregat kasar buatan, dengan berdasarkan pada standard yang telah ditetapkan. Setelah mengetahui karakteristik agregat kasar ringan buatan tersebut maka dilanjutkan dengan membuat rancang campur beton ringan guna mengetahui pengaruh agregat kasar ringan buatan tersebut terhadap sifat-sifat mekanis beton ringan yang dihasilkan, metode rancang campur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, standar nasional Indonesia SNI 03-3449-2002.

3.2 SUMBER BAHAN BAKU

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini berasal dari:

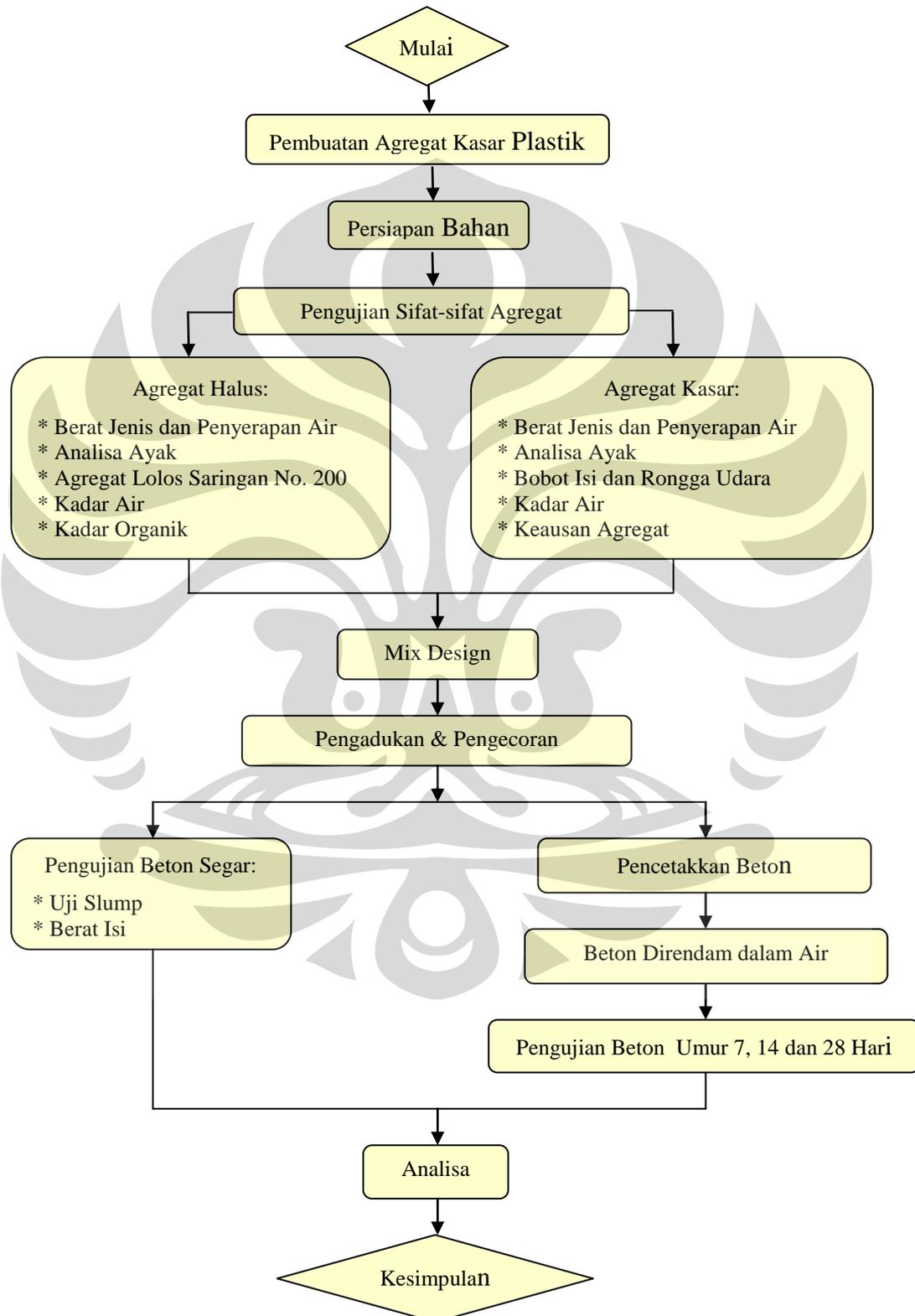
1. Semen : PCC, Tiga Roda
2. Agregat Halus : Pasir alam berasal dari Cimangkok Jawa Barat
3. Agregat Kasar : Agregat kasar ringan buatan berasal dari limbah gelas plastik PP (*Poly Propylene*)
4. Air : PAM / sumber air Laboratorium Teknik Sipil

3.3 PENELITIAN TERHADAP BAHAN BAKU

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar ringan buatan yang berasal dari limbah gelas plastik PP (*Polypropylene*), sedangkan semen dan air tidak dilakukan pengujian. Sifat-sifat semen diambil dari standar pabrik dan air yang digunakan sudah memenuhi standar air baku. Agregat ringan buatan ini tidak umum digunakan sebagai bahan pembuat beton, oleh karena itu bahan baku limbah gelas plastik PP (*Poly Propylene*) diperoleh dengan cara membeli limbah gelas plastik pada pengumpul dan juga mengumpulkan

limbah gelas plastik bekas pakai untuk kemudian akan diproses menjadi agregat ringan buatan.

3.4 DIAGRAM ALIR PROSES PENELITIAN



3.5 PEMBUATAN BENDA UJI AGREGAT KASAR RINGAN POLI PROPILEN (PP)

3.5.1 Pembuatan Agregat Kasar Ringan Poli Propilen (PP)

Bahan dasar yang digunakan untuk benda uji yang akan dibuat adalah agregat kasar yang berasal dari limbah gelas plastik daur ulang, proses pembuatan agregat kasar dari limbah gelas plastik daur ulang adalah sebagai berikut :

1. Siapkan alat-alat seperti wajan anti lengket, tongkat pengaduk, sendok, wadah air dan bahan dasar pembuatan agregat kasar ringan yaitu limbah gelas plastik minuman Poli Propilen (PP) serta minyak tanah sebagai katalisator pada saat proses pelehan bahan dasar.
2. Limbah gelas plastik Poli Propilen (PP) dikumpulkan lalu dibersihkan dan dicuci dari kotoran yang melekat pada permukaan plastik setelah itu plastik di keringkan dari air.
3. Kemudian plastik dipotong-potong untuk memudahkan proses pelehan plastik.
4. Rendam potongan-potongan limbah gelas plastik tersebut ke dalam minyak tanah selama beberapa saat lalu tiriskan agar minyak tanah yang melapisi potongan-potongan tersebut tidak berlebihan.
5. Masukkan potongan-potongan limbah gelas plastik tersebut ke dalam wajan dan lakukan pembakaran sampai seluruh bahan dasar tersebut meleleh merata.
6. Buat agregat dari lelehan plastik tersebut dengan menggunakan sendok dengan gradasi yang tidak seragam setelah itu lelehan dicelupkan dalam air agar cepat mengeras.
7. Setelah itu ambil agregat yang mengambang di air dengan saringan kemudian ditiriskan.

3.5.2 Pembuatan Benda Uji Agregat Ringan dengan Bentuk Spesimen Kubus (15 x 15 x 15) cm dan Kubus (5 x 5 x 5) cm

Proses pembuatan agregat ringan plastik untuk kubus (5 x 5 x 5) cm dibuat sebanyak 5 buah dibuat dengan cara melelehkan potongan plastik *Poly Propylene* dalam wajan setelah itu lelehan plastik tersebut dituang dalam cetakan kubus (5 x

5 x 5) cm. Untuk kubus (15 x 15 x 15) cm dibuat sebanyak sebanyak 5 buah dengan cara melelehkan plastik dalam wajan-wajan kecil lalu dikumpulkan dalam wajan besar. Wajan besar dipanaskan di atas kompor pada saat penuangan lelehan plastik wajan kecil ke wajan besar agar lelehan plastik tersebut tidak cepat mengeras dan meleleh merata, setelah itu lelehan dituang ke dalam cetakan kubus (15 x 15 x 15) cm

3.6 PENGUJIAN AGREGAT

Pengujian terhadap agregat halus dan kasar berdasarkan pada standar SNI, terdapat beberapa pengujian-pengujian yang relevan dilakukan terhadap agregat kasar, diantaranya :

3.6.1 Pengujian Agregat Halus

- SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
- SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisa Ayak Agregat Halus
- SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200
- SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat Halus
- SNI 03-2816-1992 Metode Pengujian Kadar Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar dan Beton

3.6.2 Pengujian Agregat Kasar

- SNI 03-1969-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar
- SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Ayak Agregat Kasar
- SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat Kasar
- SNI 03-2417-1991 Metode Pengujian Keausan Agregat dengan mesin Abrasi Los Angeles
- SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat Kasar

3.7 METODE RANCANG CAMPUR BETON RINGAN DENGAN AGREGAT RINGAN

Rancang campur beton ringan menurut standar SNI 03-3449-2002 salah satunya ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat hancur agregat ($f'c'_A$) dengan kuat tekan adukan ($f'c'_M$) sehingga diperlukan data kuat hancur agregat ($f'c'_A$) dalam perhitungan rancang campur beton ringan standar SNI. Dikarenakan dalam rancang campur beton ringan menurut standar SNI 03-3449-2002 tidak terdapat grafik atau rumus empiris yang mendefinisikan secara jelas nilai dari kuat hancur agregat kasar ringan buatan dari PP (*Poly Propylene*), maka dalam perhitungan rancang campur beton ringan standar SNI yang menggunakan agregat kasar ringan buatan dari PP (*Poly Propylene*) ini terlebih dahulu menentukan kuat hancur agregat ($f'c'_A$).

Perancangan campuran beton ringan menurut standar SNI 03-3449-02 ditentukan berdasarkan hubungan antara:

- 4 Kuat tekan beton ringan ($f'c', B_r$) terhadap bobot isi beton yang diharapkan.
- 5 Bobot isi beton ringan (BI_{B_r}) terhadap jumlah fraksi agregat yang digunakan.
- 6 Kuat hancur agregat ($f'c'_A$) tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan mortar ($f'c'_M$).

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

1. Tentukan kuat tekan beton yang disyaratkan, $f'c', B$ pada umur 28 hari
2. Tentukan deviasi standar (S). Data hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus mengikuti ketentuan yang berlaku untuk beton normal menurut SNI 03-3834-2000, tentang “*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*”.

3. Hitung nilai tambah (M)

$$M = k \times s$$

Dimana:

M = nilai tambah

k = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada presentase hasil uji yang

lebih rendah dari fc' . Dalam hal ini diambil 5 % dan nilai $k = 1,64$

s = deviasi standar

4. Hitung kuat tekan beton ringan rata-rata yang ditargetkan (fc', B_r)
5. Tentukan berat isi beton ringan sesuai ketentuan pada tabel 2.4 “*Jenis Agregat Ringan yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi*”
6. Tentukan kuat hancur agregat, fc', A ditentukan pada grafik atau hasil percobaan laboratorium.
7. Hitung jumlah fraksi agregat kasar, n_f dimana data kuat tekan adukan fc'_M 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 = 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 :
 - 1) Lakukan penyesuaian berat isi dan kuat tekan dengan mengubah fraksi agregat ringan.
 - 2) 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.
 - 3) Jika penyimpangan terlalu besar, pilih bahan-bahan lain, agregat yang lebih kuat atau jenis semen lainnya.

3.8 PROSEDUR PERCOBAAN BETON RINGAN

3.8.1 Pembuatan Benda Uji Beton Ringan

Jumlah benda uji yang dibuat untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel Jumlah Benda Uji untuk Tiap Jenis Pengujian

No.	Jenis Pengujian	Ukuran Cetakan	Jumlah
1	Kuat Tekan	Silinder, diameter 15 cm tinggi 30 cm	5
2	Kuat Tarik Belah	Silinder, diameter 15 cm tinggi 30 cm	4
3	Modulus Elastisitas	Silinder, diameter 15 cm tinggi 30 cm	4

Pada penelitian ini, prosedur pembuatan benda uji terdiri dari empat tahapan, yaitu:

1. Persiapan dan Penakaran

- * Alat-alat yang akan digunakan disiapkan untuk pengujian.
- * Bahan baku disiapkan dan ditakar sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.

2. Pengadukan

- * Mesin aduk dijalankan terlebih dahulu
- * Agregat kasar ringan dan sejumlah air dimasukkan ke dalam mesin aduk
- * Mesin dimatikan lalu agregat halus dan semen serta seluruh sisa air dimasukkan perlahan-lahan
- * Beton diaduk kembali setelah seluruh bahan masuk ke dalam tempat pengaduk selama 3 menit, kemudian 3 menit berhenti dan dilanjutkan 2 menit diaduk kembali sampai diperoleh adukan yang seragam.
- * Sisa adukan dibersihkan dan dicampur kembali kedalam campuran dan diaduk kembali dengan menggunakan sendok aduk sampai adukan merata.

2. Pengecoran

- * Dinding bagian dalam cetakan dilumasi dengan pelumas.
- * Adukan beton dimasukkan kedalam cetakan dalam tiga tahapan, setiap tahap dilakukan pemadatan dengan cara ditusuk-tusuk.
- * Penusukkan dilakukan sebanyak 25 kali pada setiap lapis hingga menembus ketebalan lapisannya.
- * Pada tahap akhir ditambahkan adukan beton lalu ratakan permukaannya dan bagian sisanya dibuang hingga didapatkan permukaan beton yang rata/licin.

3. Perawatan

- * Benda uji yang telah dilicinkan ditutup dengan lembaran plastic melebihi seluruh permukaan cetakan bagian luar.
- * Benda uji dilepaskan dari cetakan minimal 20 jam setelah pencetakan.
- * Untuk memudahkan identifikasi, benda uji diberikan tanda dan tanggal.
- * Rendam benda uji dalam air sampai batas umur beton 28 hari.

4. Kaping Benda Uji Silinder

Sebelum dilakukan pengujian, permukaan beton yang akan dilakukan pengujian kuat tekan dilapisi dahulu oleh bahan kaping. Bila bagian ujung dari benda uji mengandung minyak atau bahan lilin yang akan berpengaruh terhadap lekatan dari kaping, bersihkan lapisan tersebut. Bagian ujung benda uji harus dikasarkan sedikit dengan kikir atau sikat kawat untuk menghasilkan daya lekat yang baik pada kaping. Jika diperlukan, pelat kaping harus dilapisi dengan lapisan tipis minyak atau pelumas untuk mencegah melekatnya abahan kaping pada permukaan pelat.

3.8.2 Pelaksanaan Pengujian Beton Ringan

Pengujian terhadap sifat mekanik benda uji dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian terhadap beton ringan berdasarkan pada standar SNI, terdapat beberapa pengujian-pengujian yang relevan dilakukan terhadap beton segar dan beton ringan, diantaranya :

3.8.2.1 Pengujian Beton Segar

SNI 03-1972-1990 Cara Uji Slump Beton

SNI 03-1973-1990 Metode Pengujian Berat Isi Beton

3.8.2.2 Pengujian Beton Ringan

SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton

SNI 03-2451-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

SNI 03-4169-1996 Metode Pengujian Modulus Elastisitas

BAB 4

DATA DAN ANALISA

4.1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi hasil dan analisa dari prosedur pengujian material yang dilakukan terhadap agregat kasar ringan buatan dari limbah gelas plastik Poli Propilen (PP), agregat halus dan beton ringan.

Hasil Pengujian yang didapat meliputi:

1. Hasil pengujian agregat kasar
 - Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
 - Pengujian berat isi dan rongga udara agregat kasar
 - Pengujian analisa ayak agregat kasar
 - Pengujian kadar air agregat kasar
 - Pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles
2. Hasil pengujian agregat halus
 - Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus
 - Pengujian kadar lumpur agregat halus
 - Pengujian kadar organik agregat halus
 - Pengujian analisa ayak agregat halus
 - Pengujian kadar air agregat halus
3. Hasil pengujian sifat fisis beton segar
 - Pengujian slump
 - Pengujian berat isi
4. Hasil pengujian sifat mekanis beton keras
 - Pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari
 - Pengujian kuat tarik beton pada umur 7, 14 dan 28 hari
 - Pengujian modulus elastisitas beton umur 28 hari
5. Analisa Biaya

4.2 KARAKTERISTIK AGREGAT RINGAN KASAR POLI PROPILEN

4.2.1 Karakteristik Fisik Agregat Ringan

Karakteristik yang terlihat dari pembuatan agregat kasar ringan limbah gelas plastik Poli Propilen (PP) dapat dilihat dalam bentuk tabel adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Karakteristik Geometik Agregat Kasar Ringan Plastik

Karakteristik Agregat	Agregat Buatan Poli Propilen
Bentuk	Tidak beraturan, bulat dan bersudut
Tekstur Permukaan	Licin (halus) dan mengkilap
Ukuran maksimum agregat	25 mm
Warna	Coklat muda mengkilap
Tebal maksimum agregat	30 mm



Gambar 4.1 Karakteristik Geometik Agregat Kasar Ringan Poli Propilen

Pembuatan agregat yang dilakukan secara manual menghasilkan bentuk agregat yang tidak beraturan, bulat dan bersudut. Hal yang sangat menjadi perhatian dari agregat kasar ringan plastik adalah tekstur dari permukaan agregat tersebut, dimana pada agregat kasar Poli Propilen mempunyai tekstur yang halus, licin serta mengkilap (*polished*) bila terkena cahaya. Hal ini dapat mempengaruhi

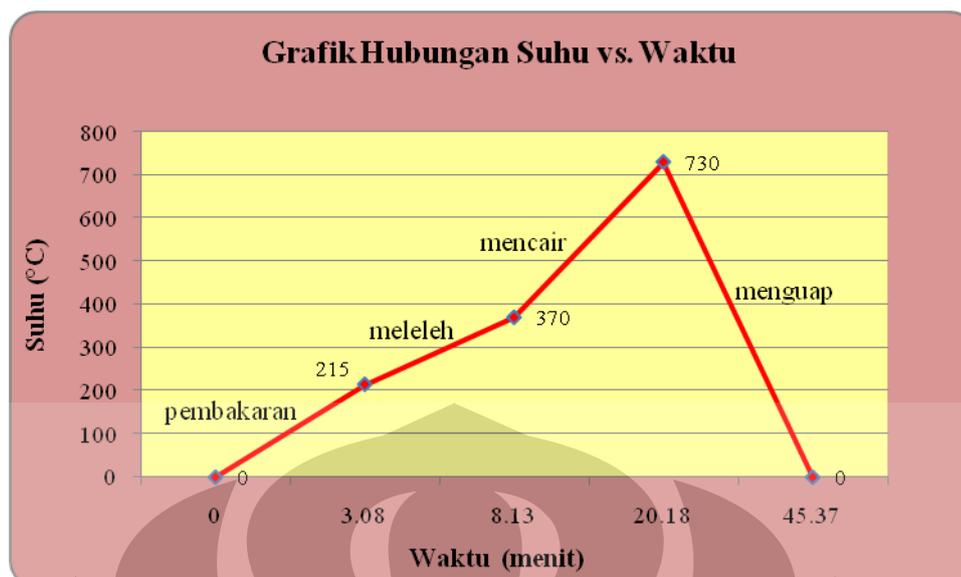
ikatan antara mortar dengan agregat kasar ringan buatan pada saat pengadukan sehingga dapat menurunkan mutu beton ringan.

4.2.2 Proses Perubahan Plastik Poli Propilen Terhadap Suhu dan Waktu

Pada proses pembuatan agregat kasar ringan limbah gelas plastik Poli Propilen dilakukan pengukuran suhu terhadap waktu. Pengukuran suhu ini dilakukan untuk mengetahui proses perubahan fisik limbah gelas plastik Poli Propilen dari awal pembakaran potongan limbah gelas plastik sampai akhir pembakaran. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah potongan limbah gelas plastik Poli Propilen sebanyak 200 gram. Potongan limbah gelas plastik Poli Propilen direndam kedalam minyak tanah selama \pm 30 detik lalu ditiriskan kemudian dibakar.

Pada suhu 0°C sampai suhu 215°C plastik mengalami proses pembakaran, proses ini terjadi selama 3 menit 8 detik sampai potongan plastik Poli Propilen tersebut terbakar secara keseluruhan. Pada suhu 215°C - 370°C plastik mengalami leleh, proses ini terjadi selama 4 menit 55 detik. Setelah itu pada suhu 370°C-730°C plastik mengalami proses selanjutnya yaitu mencair agak kental, dibutuhkan waktu selama 12 menit 15 detik. Suhu 730 °C merupakan suhu tertinggi kemudian setelah itu plastik tersebut menjadi lebih kalis dan pada saat ini terjadi proses pembuatan agregat kasar ringan karena plastik tersebut mudah dibentuk dengan cetakan sendok.

Seiring berjalannya waktu, plastik mengalami penguapan sehingga plastik menjadi berkurang secara bertahap dan kemudian bersisa menjadi karbon hitam dan kerak plastik yang melekat pada permukaan wajan, proses ini terjadi selama 25 menit 19 detik. Agregat kasar ringan yang terbentuk telah mengalami kerusakan rantai karbon akibat adanya pembakaran sehingga plastik tersebut tidak dapat dikatakan sebagai plastik Poli Propilen lagi. Proses pembuatan agregat dapat dilihat pada lampiran H. Grafik hubungan suhu terhadap waktu pada pembuatan agregat kasar ringan Poli Propilen (PP) dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Suhu dan Waktu

4.2.3 Gradasi Agregat Kasar Plastik Poli Propilen dan Agregat Halus

4.2.3.1 Gradasi Agregat Kasar Ringan Plastik Poli Propilen

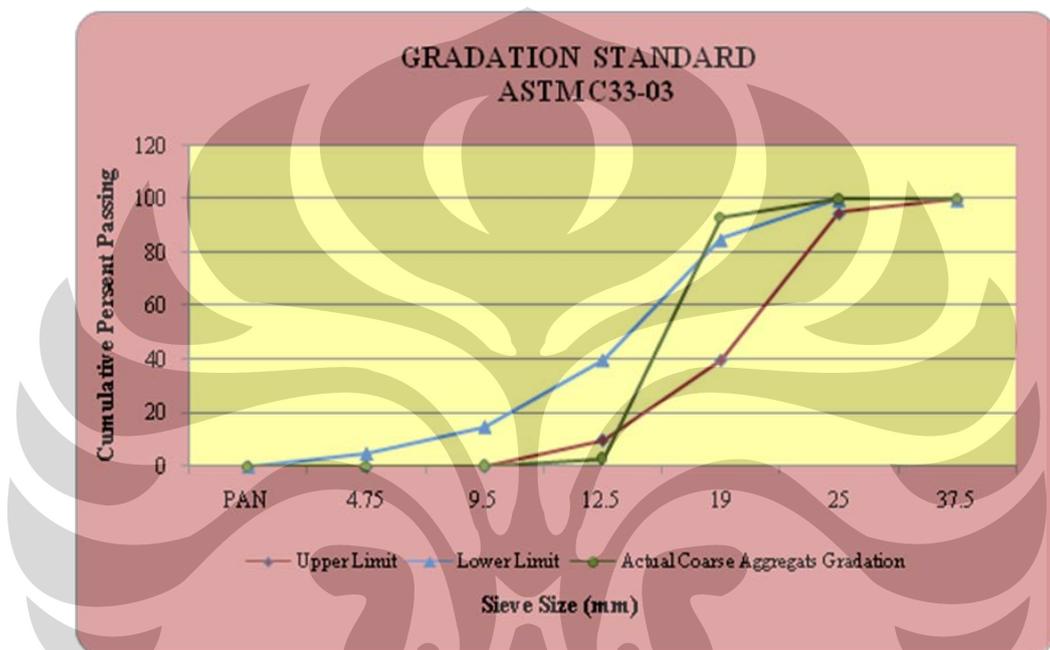
Agregat kasar ringan gelas plastik Poli Propilen yang digunakan dalam pengujian mempunyai gradasi butiran yang tidak baik. Berdasarkan SNI 03-2461-2002 tentang "Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktur" dan ASTM C-330-80, dapat dilihat bahwa gradasi agregat kasar ringan yang diperoleh tidak berada pada batasan standar gradasi agregat kasar ringan.

Hal ini disebabkan karena proses pembuatan agregat kasar ringan yang dilakukan secara manual, yaitu dengan menggunakan sendok sebagai cetakan dalam membentuk butiran-butiran agregat kasar ringan gelas plastik Poli Propilen dengan acuan ukuran agregat kasar ringan tidak melebihi ukuran butir maksimum 25,4 mm. Pengujian selengkapnya terdapat pada lampiran A-3. Gradasi butiran agregat kasar ringan plastik Poli Propilen dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4.2 Gradasi Agregat Kasar Ringan Poli Propilen

Ukuran Saringan (mm)	Batas Bawah Lolos kumulatif (%)	Batas Atas Lolos Kumulatif (%)	Gradasi Agregat Kasar Lolos Kumulatif (%)
37,5	100	100	100

25	95	100	100
19	40	85	93,06
12,5	10	40	3,06
9,5	0	15	0,18
4,75	0	5	0
PAN	0	0	0



Gambar 4.3 Analisa Ayak Agregat Kasar Ringan Gelas Plastik Poli Propilen

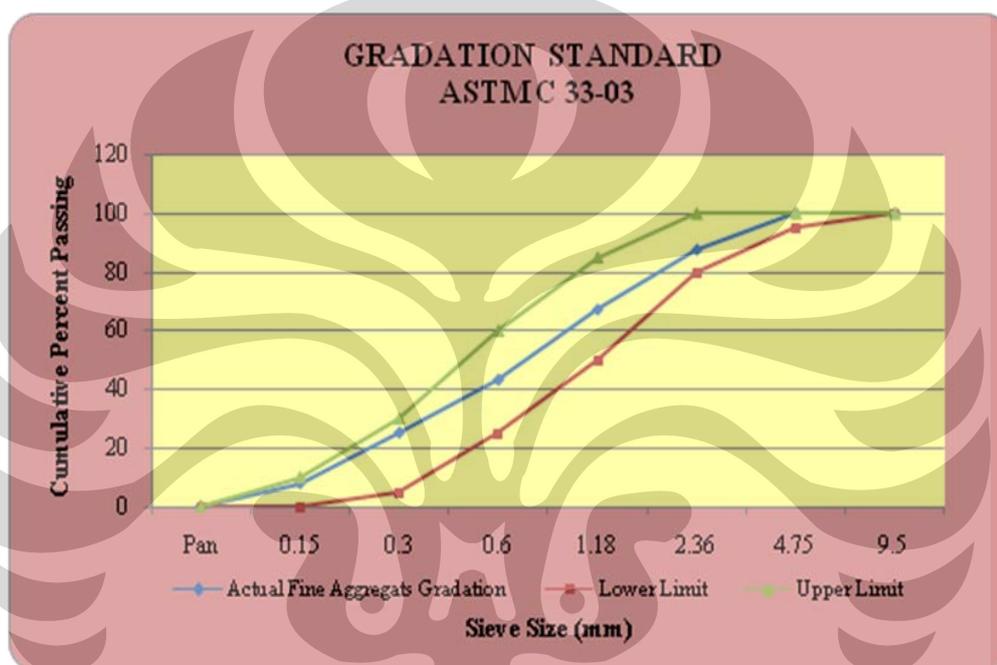
4.2.3.2 Gradasi Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan untuk pengujian memiliki gradasi yang baik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4 bahwa gradasi agregat halus berada diantara batas atas dan batas bawah standar gradasi berdasarkan ASTM C 33-03. Pengujian analisa ayak agregat halus selengkapnya terdapat pada lampiran B-2.

Tabel 4.3 Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Batas Bawah Lolos Komulatif (%)	Batas Atas Lolos Komulatif (%)	Gradasi Agregat Halus Lolos Komulatif (%)
9,5	100	100	100

4,75	95	100	100
2,36	80	100	87,6
1,18	50	85	67,2
0,6	25	60	43,2
0,3	5	30	25,2
0,15	0	10	7,9
PAN	0	0	0



Gambar 4.4 Analisa Ayak Agregat Halus Normal

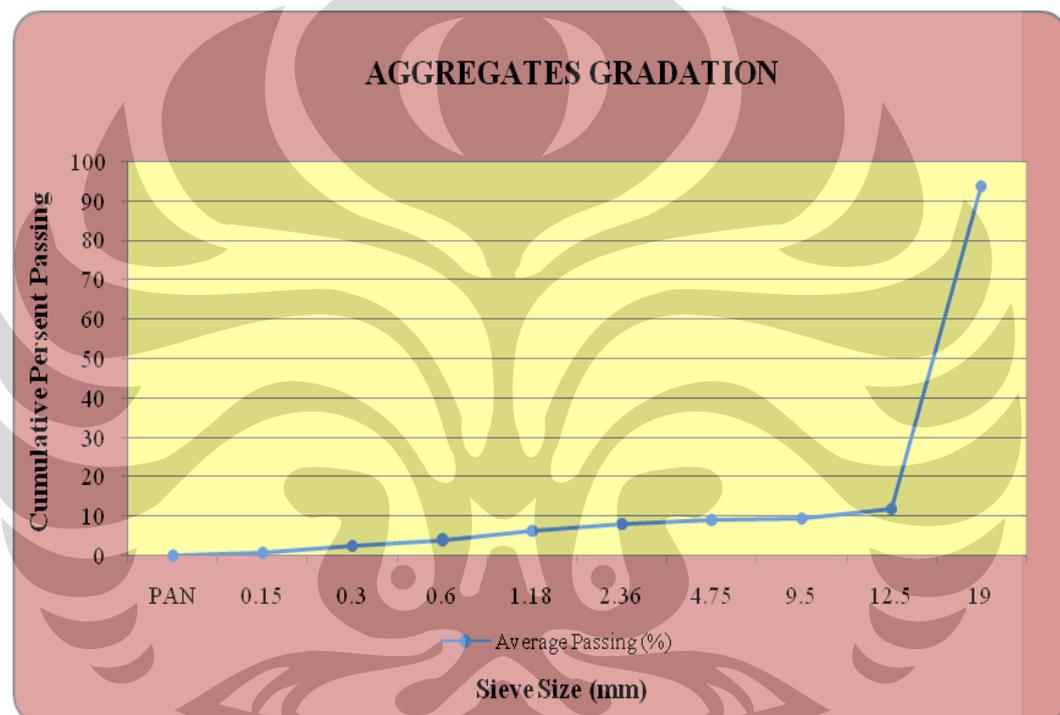
4.2.3.3 Gradasi Agregat Gabungan

Berikut ini adalah gradasi gabungan antara gradasi agregat halus dan gradasi agregat kasar ringan Poli Propilen :

Tabel 4.4 Gradasi Agregat Gabungan

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 (%)
37,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
25,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19,0	394	7,16	7,16	300	5,45	5,45	6,31	6,31	93,69

12,5	4466	81,20	88,36	4534	82,44	87,89	81,82	88,13	11,87
9,5	132	2,40	90,76	156	2,84	90,73	2,62	90,74	9,26
4,75	8	0,15	90,91	10	0,18	90,91	0,16	90,91	9,09
2,36	63	1,15	92,05	61	1,11	92,02	1,13	92,03	7,97
1,18	110	2,00	94,05	94	1,71	93,73	1,85	93,89	6,11
0,6	121	2,20	96,25	119	2,16	95,89	2,18	96,07	3,93
0,3	86	1,56	97,81	94	1,71	97,60	1,64	97,71	2,29
0,15	80	1,45	99,27	93	1,69	99,29	1,57	99,28	0,72
PAN	40	0,73	100,00	39	0,71	100,00	0,72	100,00	0,00
FM	7,5662		7,5351		7,5507				



Gambar 4.5 Analisa Ayak Agregat Halus dan Agregat Kasar

4.3 HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN AGREGAT

4.3.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik Poli Propilen (PP)

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dilaboratorium dengan mengambil sampel bahan baku secara acak dan kemudian dilakukan penelitian sesuai dengan standar ASTM C.330-80, “*Standard Spesification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-2002, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktur*”, didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Agregat Kasar Ringan Plastik PP

Pengujian	PP	Standar SNI
Apparent Spesific Gravity (gr/cm^3)	0,9063 *	1-1,8
Bulk Spesific Gravity (gr/cm^3)	0,9068 *	1,1,8
Absorpsi (%) ♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran A-1	0,6624	< 20 %
Berat Isi (kg/m^3) ♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran A-2	483	< 1040
Kadar Air (%) ♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran A-4	0,075	-
Abrasi (%) ♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran A-5	7,68	7,5-12

*⁾ Nilai tidak memenuhi standar SNI 03-2461-2002

Berdasarkan syarat-syarat yang ditetapkan oleh ASTM C.330-00, “*Standard Spesification for Lightweight for Structural Concrete*”, dan SNI 03-2461-2002, “*Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural*”., maka hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan gelas plastik Poli Propilen (PP) dapat disimpulkan sebagai berikut :

- ♦ Hasil pengujian terhadap agregat kasar ringan plastik di dapat berat jenis sebesar $0,9068 \text{ gr}/\text{cm}^3$, nilai ini lebih rendah dari memenuhi syarat berat jenis agregat ringan yaitu $1,0 - 1,8 \text{ gr}/\text{cm}^3$.
- ♦ Dari hasil pengujian penyerapan air (absorpsi) agregat kasar ringan plastik yaitu $0,6624 \%$, nilai ini sesuai dengan syarat penyerapan air maksimum agregat ringan yaitu sebesar 20% .
- ♦ Berat isi agregat kasar ringan yaitu $483 \text{ kg}/\text{m}^3$, nilai ini memenuhi standar berat isi maksimum yaitu sebesar $1040 \text{ kg}/\text{m}^3$.
- ♦ Nilai kekasaran agregat kasar ringan yaitu sebesar $7,68$ 5 sesuai sengan standar yaitu antara $7,5 - 12 \%$.

4.3.2 Hasil Pengujian Agregat Halus Normal

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dilaboratorium dengan mengambil sampel bahan baku secara acak dan kemudian dilakukan penelitian sesuai dengan standar ASTM C 33-02A, "*Standard for Concrete Aggregates*", didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pada Agregat Halus

Pengujian	Hasil
Apparent Spesific Gravity (gr/cm^3)	2,693
Bulk Spesific Gravity (SSD) (gr/cm^3)	2,482
Absorpsi (%)	2,373
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-1	4,603
Fine Modulus (FM) (%)	2,74
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-2	
Kadar Material Lolos Saringan No.200 (%)	2,1
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-3	
Kadar Organik (Sesuai Nomor Warna)	Lighter (2)
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-4	
Berat Isi Kering (kg/m^3)	1415,5
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-5	
Kadar Air (%)	5,82
♦ Pengujian selengkapnya pada lampiran B-6	

Dari data pengujian agregat halus pada tabel 4.6 dapat disimpulkan, berdasarkan pada standar mutu dan syarat pengujian ASTM C 33-02A, "*Standard for Concrete Aggregates*", yang dilakukan terhadap agregat halus, yaitu:

- ♦ Fine Modulus yang dihasilkan 2,689 % masuk batas syaratnya yaitu 2,3 sampai 3,1 %.
- ♦ Kadar material lolos saringan No.200 atau kadar lumpurnya sebesar 2,1 %, hasilnya masih dibawah nilai maksimum sebesar 5 %.
- ♦ Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3 %, menghasilkan warna yang lebih muda jika dibandingkan dengan warna standar yaitu No.3.



Gambar 4.6 Pengujian kadar organik dengan *plate organik*

4.3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Hancur Agregat Kasar Ringan Plastik Poli Propilen (PP)

Berdasarkan pengujian di laboratorium untuk kuat tekan hancur pada kubus agregat plastik dengan ukuran (5×5×5) cm dan (15×15×15) cm dengan jumlah sampel untuk kubus ukuran (5×5×5) cm sebanyak 3 buah, kubus ukuran (15×15×15) cm sebanyak 5 buah, dan 1 buah silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, tertera pada tabel berikut:

Tabel 4.7 Data Kuat Tekan Kubus Plastik (15x15x15)

No.	Beban (kg)	Dimensi (PxLxT) cm	Luas Permukaan (cm ²)	Berat Jenis (gr/cm ³)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	16500	15x15x15	225	0,9050	73,333	6,7689
2	15750	15x15x15	225	0,9028	70	
3	13400	15x15x15	225	0,9008	66,667	
4	15000	15x15x15	225	0,9004	59,556	
5	15500	15x15x15	225	0,9026	68,889	

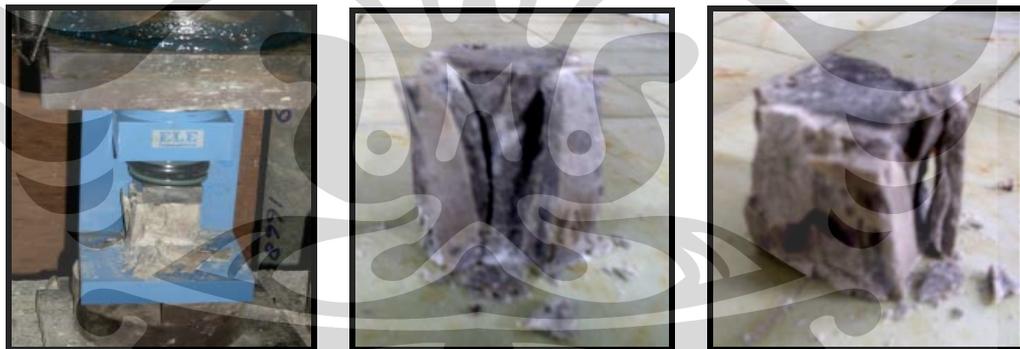




Gambar 4.7 Pengujian Kuat Tekan Plastik PP Ukuran Kubus (15x15x15)cm

Tabel 4.8 Data Berat Jenis dan Kuat Tekan Kubus Plastik (5x5x5) cm

No.	Beban (kg)	Dimensi (PxLxT)	Luas Permukaan (cm ²)	Berat Jenis	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata-Rata (MPa)
1	2150	5x5x5	25	0,901	86	9,9333
2	2800	5x5x5	25	0,907	112	
3	2500	5x5x5	25	0,904	100	



Gambar 4.8 Pengujian Kuat Tekan Agregat Plastik PP Ukuran (5x5x5) cm

Tabel 4.9 Data Berat Jenis dan Kuat Tekan Silinder Plastik Poli Propilen

No.	Beban (kg)	Dimensi		Luas Permukaan (cm ²)	Berat Jenis	Kuat Tekan (MPa)
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)			
1	4785	15	30	176,7146	0,903	6,3945



Gambar 4.9 Pengujian Kuat Tekan Agregat Plastik PP ukuran Silender Diameter 15 cm Tinggi 30 cm

Berdasarkan tabel 4.7, 4.8, dan 4.9 dihasilkan kuat tekan rata-rata untuk kubus ukuran (15x15x15) cm sebesar 6,7689 MPa, kuat tekan rata-rata untuk kubus (5x5x5) cm sebesar 9,9333 Mpa, kuat tekan rata-rata untuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebesar 6,3945 MPa menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata kubus ukuran (5x5x5) cm lebih besar dari kuat tekan rata-rata kubus ukuran (15x15x15) cm. Demikian juga kuat tekan kubus ukuran (15x15x15) cm lebih besar bila dibandingkan dengan kuat tekan silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Pola retak dari hasil kuat tekan spesimen kubus ukuran (15x15x15)cm pada gambar 4.7 termasuk pada pola retak tipe 3, yaitu retak vertikal di sepanjang sisi. Pengujian kuat tekan spesimen kubus (5x5x5) cm pada gambar 4.8 juga termasuk pada pola retak tipe 3, yaitu retak vertikal di sepanjang sisi. Sedangkan pola retak dari hasil kuat tekan spesimen silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm pada gambar 4.9 termasuk pada pola retak tipe 4, yaitu retak diagonal geser tidak sampai ujung sisi.

Dari data kuat tekan hancur agregat plastik yang diperoleh dapat dikonversikan terhadap benda uji spesimen silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Nilai faktor konversi spesimen kuat tekan kubus plastik ukuran (5x5x5)cm , kubus plastik ukuran (15x15x15) cm dan silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm, dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.10 Faktor konversi kuat hancur agregat kasar ringan Poli Propilen

Spesimen Benda Uji	Faktor Konversi		
	Kubus (5x5x5) cm	Kubus (15x15x15) cm	Silinder (15x30) cm
Kubus (5x5x5) cm	1	0,6815	0,6437
Kubus (15x15x15) cm	1,4675	1	0,9447
Silinder (15x30) cm	1,5534	1,0586	1

Berdasarkan tabel 4.10 didapat nilai faktor konversi kuat hancur agregat plastik Poli Propilen spesimen silinder terhadap spesimen kubus (15x15x15) cm sebesar 0,9447, nilai faktor konversi kuat hancur agregat plastik Poli Propilen lebih tinggi 0,14 % bila dibandingkan dengan ketetapan faktor konversi kuat tekan hancur antara spesimen silinder terhadap spesimen kubus (15x15x15) cm yaitu sebesar 0,8 [Neville,A.M][38].

Sedangkan nilai faktor konversi kuat hancur agregat plastik Poli Propilen spesimen kubus (5x5x5) cm terhadap spesimen kubus (15x15x15) cm yaitu 1,5675 , nilai ini lebih tinggi 0,37 % bila dibandingkan dengan ketetapan faktor konversi kuat hancur spesimen kubus (5x5x5) cm terhadap spesimen kubus (15x15x15) cm yaitu 1,05-1,1 [Neville,A.M][38].

Tabel 4.11 Kuat Tekan Agregat Kasar Ringan Poli Propilen (PP) Spesimen Silinder

No	Ukuran Sampel	Faktor Konversi Silinder	Kuat Tekan Konversi (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	Kubus (5x5x5) cm 86	0,6437	55,3582	6,3941
2	112		72,0944	
3	100		64,3700	

	Kubus (15x15x15) cm			
1	73,333		69,2777	
2	70	0,9447	66,1290	6,3946
3	66,667		62,9803	
4	59,556		56,2626	
5	68,889		65,0794	
1	Silinder (Diameter 15 cm Tinggi 30 cm)	1	63,945	6,3945
	63,945			
Rata-rata				6,3944

4.4 PENGUJIAN MORTAR

Untuk pengujian mortar, semen dan agregat halus yang digunakan merupakan semen dan agregat halus yang sama seperti pengujian sebelumnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan spesimen kubus (5x5x5) cm sebanyak 18 buah dengan dua variasi perbandingan mortar dan tiga variasi Faktor Air Semen. Setelah itu dilakukan pengujian kuat tekan mortar pada umur 7 hari lalu dikonversi terhadap kuat tekan umur 28 hari. Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 4.12.

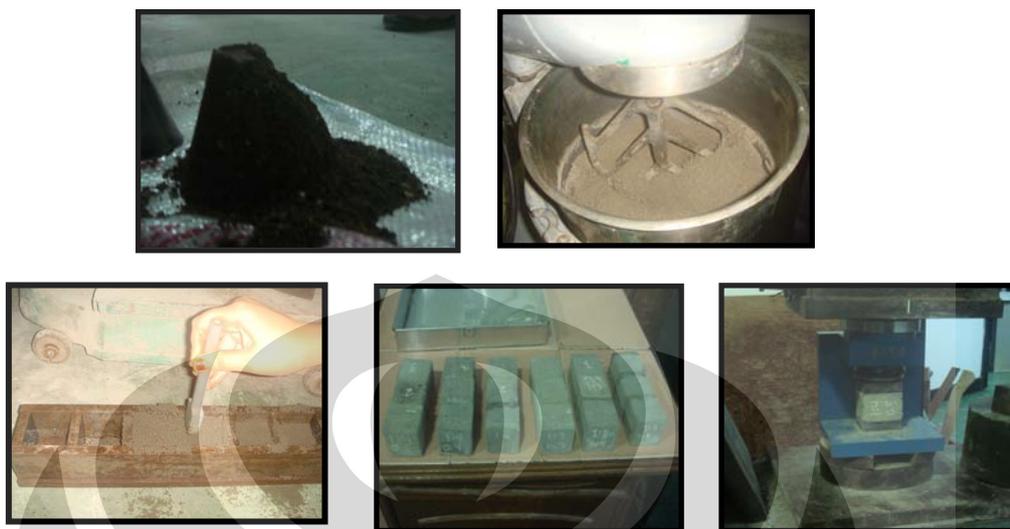
Tabel 4.12 Jumlah Benda Uji Spesimen Kubus (5x5x5) cm

Mortar	FAS	Kuat Tekan (MPa)	Jumlah (buah)
1:3	0,3	503,333	3
	0,4	311,429	3
	0,5	136,667	3
1:4	0,3	372,381	3
	0,4	168,095	3
	0,5	90,476	3
Jumlah Total			18

♦ Data selengkapnya pada lampiran C

Pengujian mortar dilakukan sesuai dengan standar SK SNI M-11-1990-03 tentang " *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk*

Pekerjaan Sipil”, Data mortar selengkapnya terdapat pada lampiran C dan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Pengujian Mortar

4.5 RANCANG CAMPUR BETON RINGAN

Rancang campur yang dibuat mengacu pada SNI 03-3449-2002. Rancang campur digunakan untuk menentukan kebutuhan bahan. Dalam pengujian ini terdapat 2 jenis perhitungan rancang campur, yaitu rancang campur yang memperhitungkan jumlah kebutuhan dengan menggunakan koreksi terhadap kandungan air dalam agregat dan tanpa menggunakan koreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Adukan mortar yang digunakan untuk perhitungan rancang campur yaitu dengan menggunakan nilai FAS 0,4 dan perbandingan semen dengan pasir yaitu 1:4 sesuai dengan syarat jumlah fraksi agregat kasar ringan (n_f).

Pada data perencanaan, beton yang direncanakan ditujukan untuk beton ringan struktural ringan yang hanya mengacu pada kuat tekan saja dimana berat isi tidak memenuhi syarat berat isi untuk beton ringan struktural ringan. Semen yang digunakan adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*) yang dijual di pasaran. Data agregat halus, agregat kasar, mortar dan kuat hancur agregat kasar ringan yang digunakan diperoleh dari pengujian sebelumnya. Setelah itu dilakukan perhitungan kebutuhan bahan dengan menggunakan koreksi terhadap kandungan air dalam agregat dan tanpa menggunakan koreksi terhadap

kandungan air dalam agregat. Perhitungan Rancang Campur selengkapnya terdapat pada lampiran D.

4.6 PENGUJIAN BETON SEGAR

Setelah proses pengujian agregat kasar ringan dan agregat halus dilaksanakan, maka tahapan selanjutnya adalah tahap pengecoran. Pada tahap pengecoran, pemadatan beton dilakukan dengan alat vibrator. Jumlah kebutuhan bahan yang dibutuhkan untuk pengecoran sesuai dengan rancang campur yang telah dibuat.

Pengujian yang dilakukan terhadap beton segar terdiri dari:

1. Pengujian slump
2. Pengujian berat isi beton segar

4.6.1 Pengujian Slump

Nilai slump diperoleh setelah pengadukan selesai dilaksanakan. Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai slump. Pengujian slump ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan yaitu slump yang diperoleh dari perhitungan rancang campur yang memperhitungkan kebutuhan bahan dengan menggunakan koreksi terhadap air dan tanpa menggunakan koreksi terhadap air.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Slump Test (I)

Tanggal Pengecoran	Nilai Slump Test (cm)
15 April 2009	0
16 April 2009	0



Gambar 4.11 Pengujian Slump (I)

Berdasarkan pengujian slump (I) yang dilakukan setelah pengecoran, diperoleh nilai slump sebesar 0 cm. Hal terjadi karena adanya koreksi air dalam perhitungan mix design. Berdasarkan SNI 03-3449-2002 tentang "Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan", jika agregat tidak dalam keadaan jenuh permukaan kering, proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Dalam pelaksanaan pengecoran agregat halus yang digunakan dalam keadaan Jenuh Permukaan Kering (JPK), dengan adanya koreksi air pada perhitungan rancang campur menyebabkan jumlah air yang digunakan dalam pengecoran menjadi semakin berkurang dan mengakibatkan beton tidak lecah.

ACI 213R-79 mensyaratkan nilai slump berkisar 3in - 4in (8-10 cm). Dengan nilai slump ini beton ringan agregat plastik relatif kurang baik tingkat kelecakannya (*workability*). Karena hasil nilai slump yang didapatkan tidak memenuhi syarat, maka dilakukan perhitungan rancang campur yang kedua dengan tanpa menggunakan koreksi untuk mendapatkan nilai slump yang baik. Berikut ini adalah nilai slump yang didapatkan dari perhitungan rancang campur yang kedua, yaitu:

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Slump Test (II)

No.	Tanggal Pengecoran	Nilai Slump Test (cm)
1	23 Juni 2009	8,5
2	23 Juni 2009	7,8
3	23 Juni 2009	7,9
Rata-rata		8,07



Gambar 4.12 Pengujian Slump (II)

Dengan menggunakan rancang campur kedua, yaitu tanpa adanya koreksi terhadap air, agregat halus dan agregat kasar maka didapatkan nilai slump sebesar 8,07 cm. ACI 213R-79 mensyaratkan nilai slump berkisar 3in - 4in (8-10 cm). Nilai slump ini memenuhi syarat dan menunjukkan bahwa beton tersebut mempunyai tingkat kelecakkan yang baik / mudah dikerjakan. Perhitungan rancang campur selengkapnya terdapat pada lampiran D-b.

4.6.2 Hasil Pengujian Berat Isi Segar Beton Ringan

Hasil pengujian berat isi beton segar ringan menggunakan agregat kasar ringan gelas plastik Poli Propilen terdapat pada tabel berikut :

Tabel 4.15 Nilai Berat Isi Beton Ringan Segar

Benda Uji	Berat Beton Segar+Wadah (kg)	Berat Wadah (kg)	Berat Beton Segar (kg)	Volume Wadah (m ³)	Berat Isi Beton Segar (kg/m ³)
1	19,000	5,089	13,911	0,009567	1454
2	18,800	5,089	13,711	0,009567	1433
3	19,450	5,089	14,661	0,009567	1532
Rata-rata					1473

Dari pengujian berat isi beton segar diperoleh nilai rata-rata berat isi beton segar sebesar 1473 kg/m³, dalam rancang campur direncanakan nilai berat isi sebesar 1400 kg/m³. Berdasarkan nilai tersebut maka terdapat selisih rata-rata berat isi beton segar terhadap berat isi rencana sebesar 5,2 %.

4.7 PENGUJIAN BETON RINGAN

4.7.1 Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan

4.7.1.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan

Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton ringan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan pada beton ringan agregat kasar ringan plastik dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari adalah sebagai berikut:

Tabel 4.16 Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Luas Permukaan (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	8,426	17500	176,7146	9,903
2	8,569	17750	176,7146	10,044
3	8,364	16250	176,7146	9,196
4	8,375	17000	176,7146	9,620
5	8,267	15500	176,7146	8,771
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 7 hari				9,507
Standar Deviasi				± 0,468

Tabel 4.17 Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Luas Permukaan (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	8,414	19500	176,7146	11,035
2	8,542	20000	176,7146	11,318
3	8,384	19500	176,7146	11,035
4	8,442	19500	176,7146	11,035
5	8,447	20000	176,7146	11,318
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 14 hari				11,142
Standar Deviasi				± 0,139

Tabel 4.18 Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari

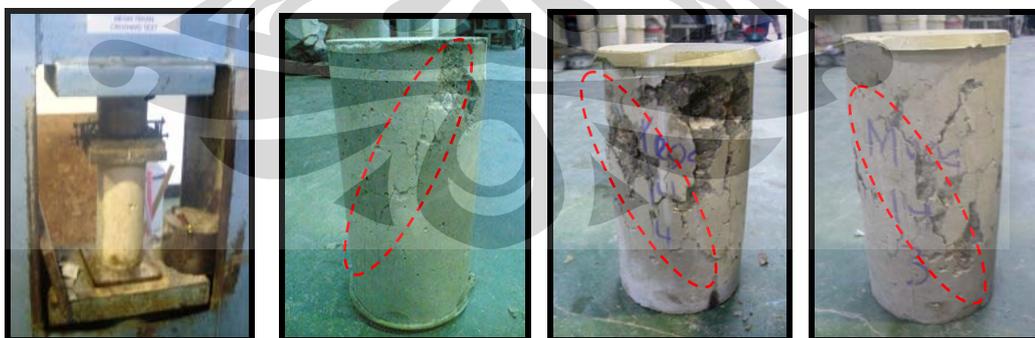
No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Luas Permukaan (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	8,589	20500	176,7146	11,601
2	8,766	21000	176,7146	11,884
3	8,604	20500	176,7146	11,601
4	8,761	20500	176,7146	11,601
5	8,790	21000	176,7146	11,884
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari				11,714

Standar Deviasi	$\pm 0,139$
------------------------	-------------



Gambar 4.13 Grafik Pengujian Kuat Tekan Rata- Rata Beton Ringan PP

Berdasarkan gambar 4.13 maka diperoleh nilai kuat tekan rata-rata beton ringan umur 7 hari sebesar 9,507 MPa, umur 14 hari sebesar 11,142 MPa, dan umur 28 hari sebesar 11,714 MPa. Dari data tersebut didapat perbandingan nilai kuat tekan rata-rata beton ringan umur 7 hari terhadap kuat tekan rata-rata beton ringan umur 14 hari sebesar 95,117 %, dan perbandingan nilai kuat tekan rata-rata beton ringan umur 7 hari terhadap umur 28 hari sebesar 81,15 %.



Gambar 4.14 Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan (Versi Adukan I)

Berdasarkan data kuat tekan beton ringan diperoleh nilai yang mengalami peningkatan dari setiap penambahan jumlah hari dengan nilai kuat tekan rata-rata beton ringan umur 7 hari yaitu 9,507 MPa, umur 14 hari yaitu 11,142 MPa, umur

28 hari yaitu 11,714 MPa. Kuat tekan umur 7 hari mengalami kenaikan sebesar 17 %, pada umur 14 hari, dan kuat tekan 14 hari mengalami kenaikan sebesar 5% pada umur 28 hari. Kuat tekan yang diperoleh pada pengujian umur 28 hari sebesar 11,714 MPa memenuhi kuat tekan beton ringan yang ditargetkan yaitu sebesar 11,602 MPa. Berdasarkan SNI 03-3449-2002 tentang "Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan", maka beton ringan agregat limbah gelas plastik Poli Propilen termasuk kedalam kategori konstruksi beton ringan struktural ringan dengan batasan kuat tekan 6,89 MPa sampai 17,24 MPa.

Pada gambar 4.14 dapat dilihat pola retak pada benda uji silinder plastik Poli Propilen termasuk tipe retak no.4 yaitu retak diagonal geser. Retak ini diakibatkan karena kegagalan ikatan antara agregat kasar ringan plastik dengan mortar. Hal ini dapat disebabkan karena tekstur permukaan agregat kasar ringan plastik yang licin sehingga mempengaruhi ikatan dengan mortar.

4.7.1.2 Perbandingan Kuat Tekan Beton Ringan Poli Propilen Terhadap Beton Normal

Hasil kuat tekan beton ringan yang diperoleh dari pengujian dapat dibandingkan dengan kuat tekan beton normal berdasarkan umur pengujian kuat tekan. Kuat tekan yang diperoleh pada umur 1, 3, 7, 28 hari dikonversikan terhadap kuat tekan umur 28 hari. Prosentase kuat tekan beton normal [Neville, A.M.,1981][38] dan beton ringan dapat dilihat pada tabel 4.19.

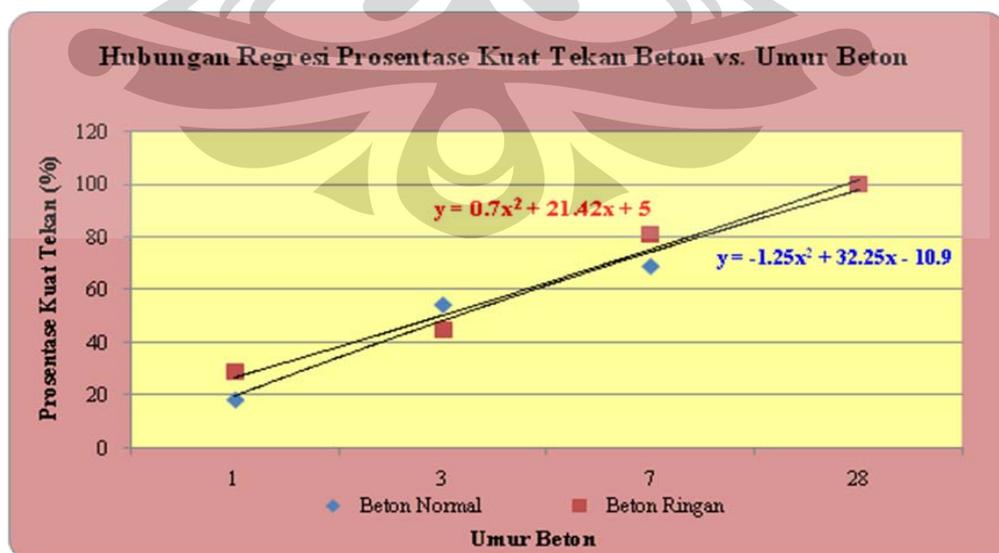
Tabel 4.19 Prosentase Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Ringan

Umur Beton (hari)	Prosentase Kuat Tekan Beton Normal (%)	Prosentase Kuat Tekan Beton Ringan (%)
1	18,2	29
3	54,3	45
7	68,9	81,2
28	100	100



Gambar 4.15 Prosentase Kuat Tekan vs. Umur Beton

Berdasarkan gambar 4.15, dapat dilihat bahwa beton normal mengalami kenaikan prosentase kuat tekan yang cukup signifikan pada umur 3 hari. Kenaikkan prosentase kuat tekan beton umur 3 hari terhadap 1 hari yaitu sebesar 36,1 %, kenaikan kuat tekan beton umur 7 hari terhadap 3 hari yaitu sebesar 26,9 %, kenaikan kuat tekan beton umur 28 hari terhadap 7 hari yaitu sebesar 31,1 %. Sedangkan pada beton ringan kenaikan kuat tekan beton yang cukup signifikan terjadi pada umur 7 hari yaitu sebesar 36,2 %, kenaikan kuat tekan beton ringan umur 3 hari terhadap 1 hari yaitu sebesar 16 %, kenaikan kuat tekan beton ringan umur 28 hari terhadap 7 hari hanya sebesar 18,8 %.



Gambar 4.16 Hubungan Regresi Kuat Tekan vs. Umur Beton

Dari gambar 4.16 didapat hubungan regresi antara kuat tekan beton terhadap umur beton. Regresi polynomial beton ringan yaitu $y = 0,7x^2 + 21,42x + 5$ dan beton normal yaitu $y = -1,25x^2 + 32,25x - 10,9$. Dengan memasukkan umur beton pada persamaan maka akan didapat prosentase kuat tekan beton.

Prosentase kenaikan kuat tekan rata-rata beton ringan berdasarkan umur beton lebih besar daripada kuat tekan rata-rata beton normal. Hal ini diduga disebabkan oleh absorpsi agregat kasar ringan plastik Poli Propilen juga tergolong kecil yaitu 0,6624 % sehingga air yang diserap oleh agregat kasar ringan menjadi sedikit dan air tersebut bereaksi dengan semen sehingga mempercepat panas hidrasi. Selain itu penggunaan jumlah semen pada perencanaan kebutuhan bahan untuk beton ringan lebih banyak daripada kebutuhan semen untuk beton normal sehingga panas hidrasi yang berlangsung lebih cepat sehingga beton lebih cepat mengeras.

- ◆ Proses pembentukan beton yaitu:



Semen merupakan unsur terpenting dalam pembuatan beton, karena semen berfungsi sebagai bahan pengikat untuk mempersatukan bahan agregat kasar dan agregat halus menjadi satu massa yang kompak dan padat. Semen akan berfungsi sebagai pengikat apabila diberi air, sehingga semen tergolong bahan pengikat hidrolis. Dalam proses pembentukan beton, semen yang bereaksi dengan air menyebabkan panas hidrasi, dua unsur pembentuk semen yang mempengaruhi proses hidrasi adalah *Tricalcium silicate* dan *Dicalcium silicate*.

- ◆ Proses hidrasi *Tricalcium silicate*



- ◆ Proses hidrasi *Dicalcium silicate*



Untuk mengetahui mutu beton ringan plastik Poli Propilen berdasarkan kuat tekan menurut ACI 318 (*American Concrete Institute*) dapat dilihat pada tabel 4.20 berikut ini:

Tabel 4.20 Mutu Beton Ringan PP vs Beton Normal

Jenis Mutu Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Normal Mutu Tinggi	41 - 83
Beton Normal Mutu Sedang	36 - 40
Beton Normal Mutu Rendah	21 - 35
Beton Ringan Poli Propilen	11,714



Gambar 4.17 Grafik Mutu Kuat Tekan Beton Ringan vs. Beton Normal

Kuat tekan beton ringan agregat plastik Poli Propilen yaitu 11,714 MPa. Selisih kuat tekan beton ringan plastik Poli Propilen dengan kuat tekan minimum beton mutu rendah yaitu 55,7810 %. Berdasarkan Gambar 4.17, nilai kuat tekan beton ringan plastik Poli Propilen tidak berada diantara batasan mutu kuat tekan beton normal. Kuat tekan beton ringan plastik Poli Propilen berada di bawah batas minimum kuat tekan beton mutu rendah sehingga beton ringan plastik Poli Propilen dapat diklasifikasikan dalam beton mutu sangat rendah.

4.7.1.3 Perbandingan Kuat Tekan Beton Ringan Poli Propilen Terhadap Beton Ringan

Untuk mengetahui mutu beton ringan plastik Poli Propilen berdasarkan batasan kuat tekan pada kualifikasi beton ringan berikut [ACI committee 213R-87, *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*, 1987][2] dapat dilihat pada tabel 4.21 berikut ini:

Tabel 4.21 Mutu Beton Ringan Poli Propilen vs. Beton Ringan

Jenis Mutu Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Ringan Mutu Tinggi	>17,24
Beton Ringan Mutu Sedang	6,89-17,24
Beton Ringan Mutu Rendah	0,69-6,89
Beton Ringan Poli Propilen	11,714

Beton ringan Poli Propilen mempunyai kuat tekan sebesar 11,714 MPa, Berdasarkan tabel 4.18, beton ringan Poli Propilen dapat digolongkan sebagai beton ringan mutu sedang yaitu dengan batasan kuat tekan 6,89-17,24 MPa.

4.7.1.4 Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan Terhadap Berat Isi Kering

Kuat tekan beton ringan yang didapat dari pengujian beton ringan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari mempunyai hubungan dengan berat isi beton kering, data terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.22 Kuat Tekan Beton Ringan Umur 7 Hari Terhadap Berat Isi Kering

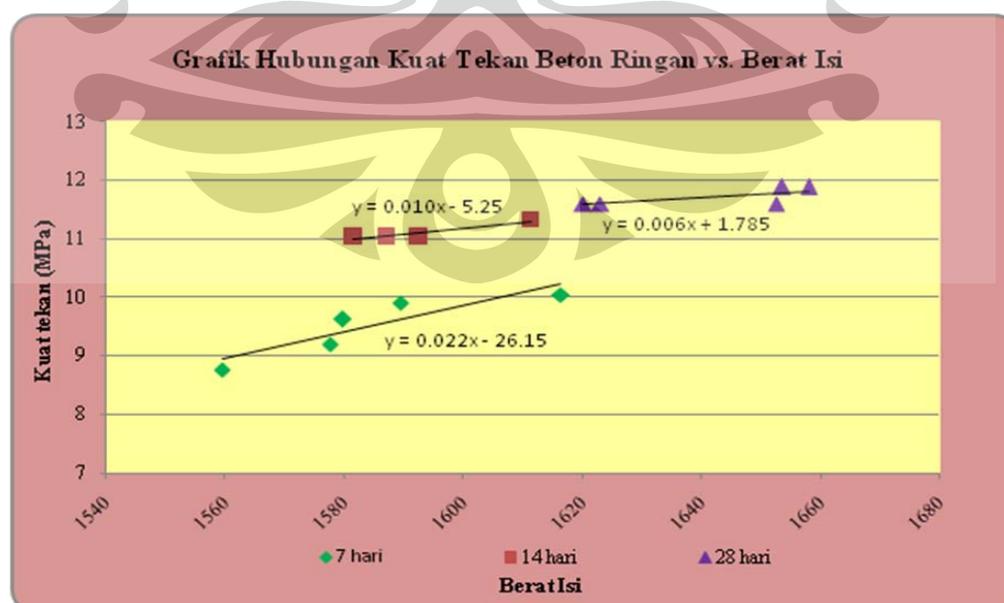
No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Volume (m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)
1	8,426	17500	0,0053	9,903	1589,3802
2	8,569	17750	0,0053	10,044	1616,3540
3	8,364	16250	0,0053	9,196	1277,6853
4	8,375	17000	0,0053	9,620	1579,7602
5	8,267	15500	0,0053	8,771	1559,3883
Rata – Rata				9,507	1584,5136

Tabel 4.23 Kuat Tekan Beton Ringan Umur 14 Hari Terhadap Berat Isi Kering

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Volume (m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)
1	8,414	19500	0,0053	11,035	1587,1167
2	8,542	20000	0,0053	11,318	1611,2611
3	8,384	19500	0,0053	11,035	1581,4578
4	8,442	19500	0,0053	11,035	1592,3983
5	8,447	20000	0,0053	11,318	1593,3414
Rata - rata				11,7138	1593,1150

Tabel 4.24 Kuat Tekan Beton Ringan Umur 28 Hari Terhadap Berat Isi Kering

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Volume (m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)
1	8,589	20500	0,0053	11,601	1620,1266
2	8,766	21000	0,0053	11,884	1653,51376
3	8,604	20500	0,0053	11,601	1622,9560
4	8,761	20500	0,0053	11,601	1652,5706
5	8,790	21000	176,7146	11,884	1658,0408
Rata - Rata				11,714	1641,4416

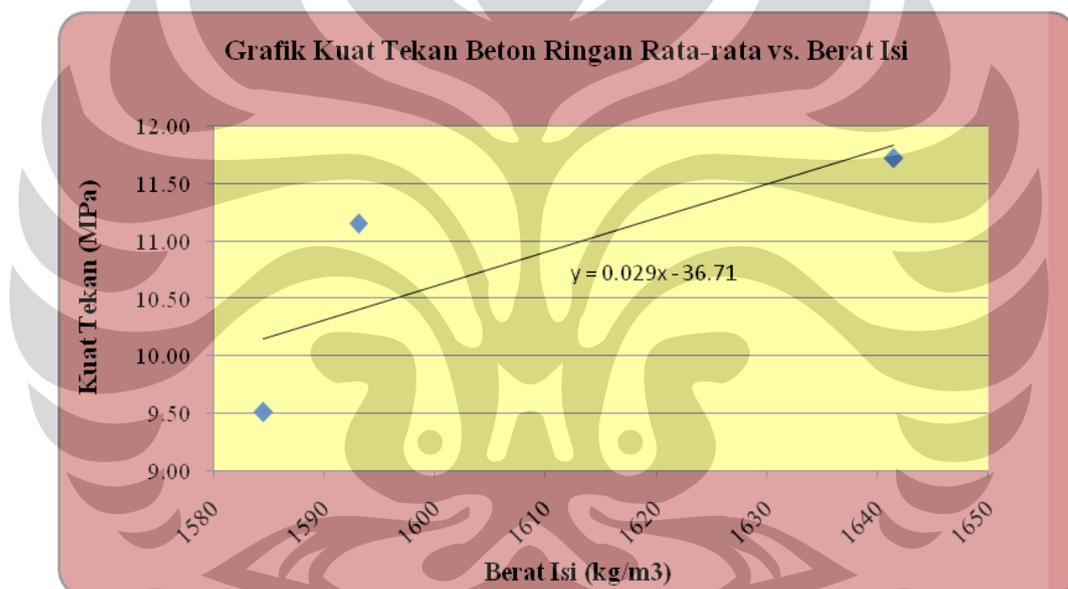


Gambar 4.18 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs. Berat Isi

Berdasarkan dari data hubungan antara kuat tekan beton ringan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan berat isi beton ringan, didapat nilai rata-rata sebagai berikut:

Tabel 4.25 Hubungan Kuat Tekan Rata-rata Beton Ringan vs. Berat Isi Kering

Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi Kering (kg/m ³)
7	9,507	1584,5136
14	11,148	1593,1150
28	11,714	1641,4416



Gambar 4.19 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan Rata-rata vs. Berat Isi

Dari data pada tabel 4.25 dan gambar 4.19, didapat nilai berat isi kering beton ringan sebanding dengan nilai kuat tekannya yaitu dengan bertambahnya berat isi kering beton ringan maka nilai kuat tekan beton ringan juga semakin bertambah. Kuat tekan rata-rata beton ringan pada umur 7 hari yaitu sebesar 9,507 MPa dengan berat isi kering 1584,5136 kg/m³, kuat tekan rata-rata beton ringan umur 14 hari sebesar 11,148 MPa dengan berat isi kering 1593,1150 kg/m³, kuat tekan rata-rata beton ringan sebesar 11,714 MPa dengan berat isi kering 1641,4416 kg/m³.

4.7.2 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan

4.7.2.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan

Pengujian kuat tarik belah pada beton ringan Agregat Kasar Ringan Plastik dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari adalah sebagai berikut:

Tabel 4.26 Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Kuat Tarik belah (MPa)
1	8,297	7500	1,0610
2	8,264	5000	0,7074
3	8,672	6250	0,8842
4	8,461	7000	0,9903
Rata-Rata			0,9107
Standar Deviasi			± 0,1332

Tabel 4.27 Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Kuat Tarik belah (MPa)
1	8,459	7500	1,0610
2	8,363	5750	0,8135
3	8,342	7750	1,0984
4	8,228	6750	0,9550
Rata-Rata			0,9815
Standar Deviasi			± 0,1101

Tabel 4.28 Nilai Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	8,317	7500	1,0610
2	8,524	9000	1,2732
3	8,766	9500	1,3440

4	8,357	6500	0,9196
Rata-Rata			1,1495
Deviasi Standar			$\pm 0,1687$



Gambar 4.20 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Rata- Rata Beton Ringan PP



Gambar 4.21 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian kuat tarik belah diperoleh peningkatan nilai kuat tarik yaitu pada pengujian kuat tarik rata-rata beton umur 7 hari sebesar 0,9107 MPa, umur 14 hari sebesar 0,9815 MPa, dan umur 28 hari sebesar 1,1495 MPa.

4.7.2.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan Terhadap Berat Isi Kering

Kuat tarik belah beton ringan yang didapat dari pengujian beton ringan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari mempunyai hubungan dengan berat isi beton kering, data terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.29 Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 7 Hari Terhadap Berat Isi Kering

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Volume (m ³)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)
1	8,297	7500	0,0053	1,0610	1565,0472
2	8,264	5000	0,0053	0,7074	1558,8225
3	8,672	6250	0,0053	0,8842	1635,7827
4	8,461	7000	0,0053	0,9903	1595,9822
Rata – Rata				0,9107	1588,9086

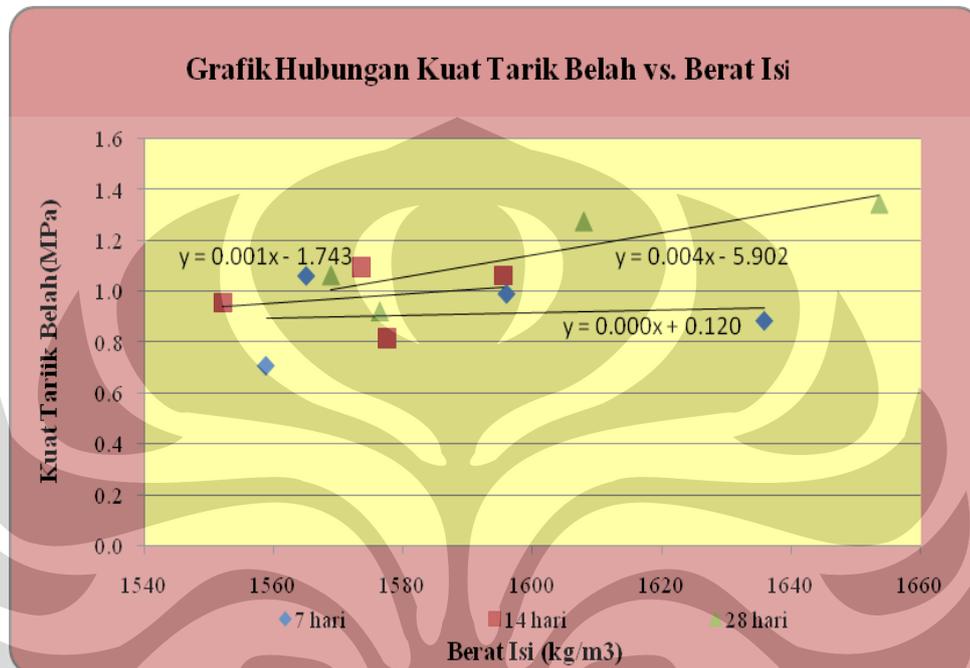
Tabel 4.30 Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 14 Hari Terhadap Berat Isi Kering

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Volume (m ³)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)
1	8,459	7500	0,0053	1,0610	1595,6049
2	8,363	5750	0,0053	0,8135	1577,4966
3	8,342	7750	0,0053	1,0964	1573,5354
4	8,228	6750	0,0053	0,9550	1552,0318
Rata – Rata				0,9815	1574,6772

Tabel 4.31 Kuat Tarik Belah Beton Ringan Umur 28 Hari Terhadap Berat Isi Kering

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Volume (m ³)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Berat Isi (kg/m ³)
1	8,317	7500	0,0053	1,0610	1568,8197

2	8,524	9000	0,0053	1,2732	1607,8658
3	8,766	9500	0,0053	1,3440	1653,5138
4	8,357	6500	0,0053	0,9196	1576,3649
Rata – Rata				1,1495	1601,6410

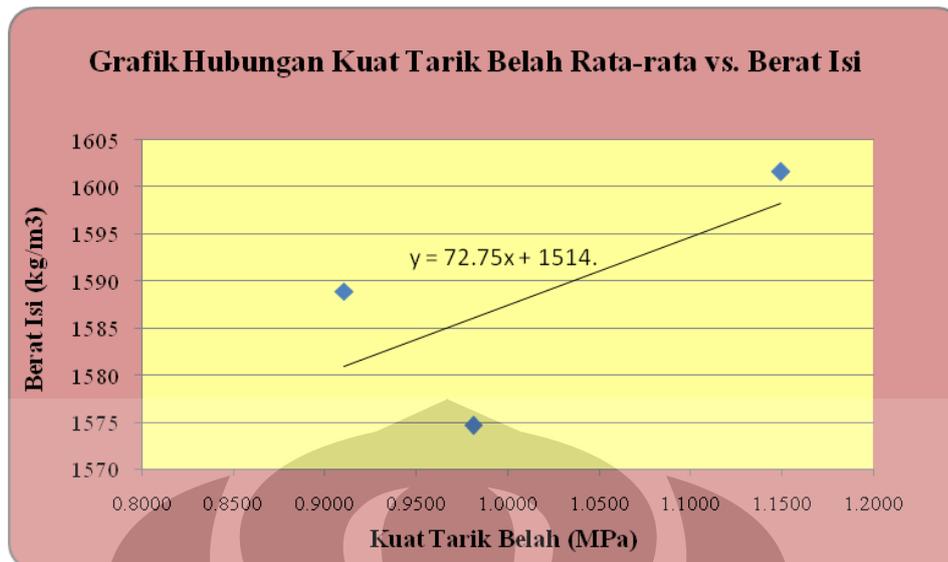


Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah vs. Berat Isi

Berdasarkan dari data hubungan antara kuat tarik belah beton ringan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan berat isi beton ringan, didapat nilai rata-rata sebagai berikut:

Tabel 4.32 Hubungan Kuat Tarik Belah Rata-rata Beton Ringan vs. Berat Isi Kering

Umur Beton (hari)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Berat Isi Kering (kg/m³)
7	0,9107	1588,9086
14	0,9815	1574,6772
28	1,1495	1601,6410



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah Rata-rata vs. Berat Isi

Dari data pada tabel 4.32 dan gambar 4.23, didapat nilai berat isi kering beton ringan sebanding dengan nilai kuat tarik belah yaitu dengan bertambahnya berat isi kering beton ringan maka nilai kuat tarik belah beton ringan juga semakin bertambah. Kuat tarik belah rata-rata beton ringan pada umur 7 hari yaitu sebesar 0,9107 MPa dengan berat isi kering 1588,9086 kg/m³, kuat tarik belah rata-rata beton ringan umur 14 hari sebesar 0,9815 MPa dengan berat isi kering 1574,6772 kg/m³, kuat tarik belah rata-rata beton ringan sebesar 1,1495 MPa dengan berat isi kering 1601,6410 kg/m³.

4.7.3 Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah Beton Ringan

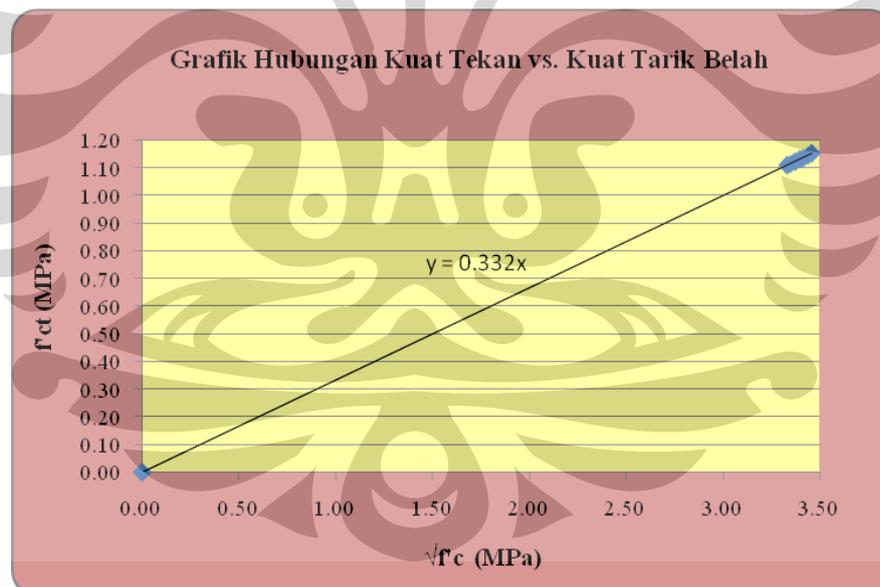
Dari data yang diperoleh pada pengujian beton ringan umur 28 hari, terdapat hubungan antara kuat tekan beton ringan dengan kuat tarik belah beton ringan terhadap berat isi. Dalam hal ini batasan berat isi yang diambil yaitu dengan batasan antara 1550 kg/m³-1700 kg/m³.

Tabel 4.33 Hubungan Kuat Tekan vs. Kuat Tarik Belah Beton Ringan

Berat Isi (kg/m ³)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	$\sqrt{f'c}$ (MPa)
1550	1,1080	11,0850	3,3294
1575	1,1155	11,2350	3,3519

1600	1,1229	11,3850	3,3742
1625	1,1303	11,5350	3,3963
1650	1,1376	11,6850	3,4183
1675	1,1449	11,8350	3,4402
1700	1,1521	11,9850	3,4619

Berdasarkan tabel 4.33, didapat nilai kuat tarik belah beton ringan dan kuat tekan beton ringan berdasarkan berat isi yang didapat dari pengujian kuat tarik belah beton ringan dan kuat tekan beton ringan umur 28 hari. Kuat tekan rata-rata beton ringan sebesar 11,5350 MPa dan kuat tarik belah rata-rata sebesar 1,1303 MPa. Dari nilai tersebut didapat bahwa kuat tarik belah beton ringan mempunyai angka perbandingan sebesar 0,0980 dari kuat tekannya dan tidak sesuai dengan ketentuan perbandingan kuat tarik belah beton terhadap kuat tekan beton yaitu $0,10f_c < f_{ct} < 0,20f_c$.



Gambar 4.24 Hubungan Kuat Tekan vs. Kuat Tarik Belah

Gambar 4.24 merupakan grafik hubungan antara kuat tekan beton ringan terhadap kuat tarik belah beton ringan. Sumbu y merupakan nilai dari f'_{ct} dan sumbu x merupakan nilai dari $\sqrt{f'_c}$. Dari grafik tersebut didapat nilai regresi yaitu $y = 0,332\sqrt{f'_c}$.

4.7.4 Pengujian Modulus Elastisitas Beton Ringan

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

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4.1)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan pada saat beban bekerja

ε = Regangan pada saat beban bekerja

Tegangan didapat dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.2)$$

Dimana :

σ = Tegangan

P = Gaya (N)

A = Luas Penampang

Regangan didapat dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (4.3)$$

Dimana :

ε = regangan

ΔL = deformasi panjang

L = panjang awal

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

$$\nu = \frac{\varepsilon \text{ lateral}}{\varepsilon \text{ aksial}} \quad (4.4)$$

Dimana :

ν	= Poisson's ratio
ε lateral	= regangan lateral
ε aksial	= regangan aksial

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

$$\frac{g}{(er + eg)} = \frac{d}{er} \quad (4.5)$$

$$d = \frac{g \cdot er}{er + eg}$$

Dimana :

d = deformasi total benda uji.

Deformasi total sampel/benda uji seluruh/sepanjang jarak dial efektif

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

er = eksentrisitas batang indikator

Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuannya, dari sumbu rotasinya yang menghubungkan rotasinya

eg = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji.

Jarak tegak lurus dari dial ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuan yang menghubungkan rotasinya

Nilai koreksi untuk pembacaan dial deformasi lateral:

$$er = 14 \text{ cm}$$

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

$$\text{nilai koreksi} = 14 \text{ cm} / (14 \text{ cm} + 14 \text{ cm}) = 0,5 \quad (4.6)$$

- ♦ Untuk pembacaan dial regangan transversal, terdapat koreksi sesuai dengan posisi alat.

$$\frac{g'}{(e'h + e'g)} = \frac{d}{e'h} \quad (4.7)$$

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

Dimana :

d = deformasi total benda uji.

Deformasi total sampel/benda uji seluruh/sepanjang jarak dial efektif

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

$e'h$ = eksentrisitas batang indikator

Jarak tegak lurus dari sumbu benda uji ke bidang sepanjang dua titik tumpuannya, dari sumbu tengah

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

Jarak tegak lurus dari dial ke bidang vertikal melalui sepanjang dua titik tumpuan yang menghubungkan sumbu tengahnya

Nilai koreksi untuk pembacaan dial deformasi transversal pada sampel silinder untuk modulus elastisitas nomor 1:

$$e'h = 9,7 \text{ cm}$$

$$e'g = 19,3 \text{ cm}$$

$$\text{nilai koreksi} = 9,7 \text{ cm} / (9,7 \text{ cm} + 19,3 \text{ cm}) = 0,3345 \quad (4.8)$$

Hasil penelitian modulus elastisitas rata-rata dan angka perbandingan Poisson beton ringan rata-rata disajikan pada berikut:

Tabel 4.34 Nilai Rata-rata Modulus Elastisitas dan Poisson's Ratio Beton Ringan Plastik

No. Sampel	Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-rata Poisson Ratio (ν)
1	11,8836	6804,9178	0,3345
2	11,6006	6891,9411	0,3290
3	11,6006	6047,0470	0,3376
4	11,8836	5911,9842	0,2947
Rata-rata		6413,9725	0,3240

Standar Deviasi	438,1549	$\pm 0,0173$
------------------------	----------	--------------

- ♦ Perhitungan selengkapnya pada lampiran G

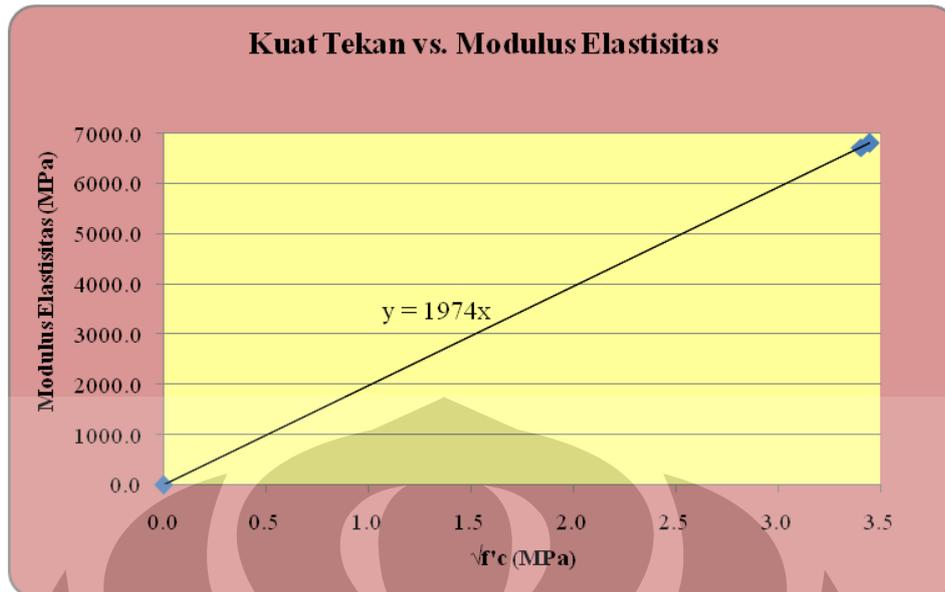
Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada beton ringan agregat buatan PP umur 28 hari diperoleh nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 6413,9725 MPa. Klasifikasi beton mutu rendah yaitu mempunyai nilai Modulus Elastisitas beton minimum 18 GPa atau 18.000 MPa [Timoshenko, Gere] [40], dengan nilai modulus elastisitas sebesar 6413,9725 MPa, maka beton termasuk dalam klasifikasi beton mutu sangat rendah. Kecepatan pembebanan mempengaruhi bacaan dial aksial dan lateral, berdasarkan ASTM C 469-02, pembebanan harus dilakukan secara bertahap dengan kecepatan berkisar 1,25 mm/menit. Pada saat pelaksanaan pengujian, kecepatan pembebanan melebihi kecepatan standard sehingga bacaan dial yang dihasilkan kurang akurat. Ini menyebabkan kondisi benda uji yang dibebani belum sempat kembali ke keadaan awal pada saat pembebanan siklus berikutnya. Rata-rata nilai poisson ratio (ν) sebesar 0,3241 nilai yang diperoleh tidak memenuhi syarat untuk nilai poisson ratio (ν) beton yaitu 0,17-0,2 [Neville, A.M.,1981][38].



Gambar 4.25 Pengujian Modulus Elastisitas Beton Ringan

4.7.4.1 Hubungan Kuat Tekan Beton Ringan vs. Modulus Elastisitas Beton Ringan

Hubungan antara kuat tekan beton ringan terhadap modulus elastisitas beton ringan dapat dilihat pada gambar 4.26 berikut ini:



Gambar 4.26 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan Beton Ringan vs. Modulus Elastisitas

Berdasarkan gambar 4.26, persamaan hubungan antara kuat tekan beton ringan terhadap modulus elastisitas beton ringan yaitu:

$$\begin{aligned} y &= 1974 x \\ &= 1974 \sqrt{f'c} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Dimana:

y = Modulus elastisitas beton ringan (MPa)

x = Kuat tekan beton ringan (MPa)

Untuk memperoleh nilai perbandingan modulus elastisitas beton ringan terhadap modulus elastisitas beton ringan adalah sebagai berikut:

- ♦ Modulus elastisitas beton normal :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \sqrt{11,7421} \\ &= 16143,065 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.10)$$

- ♦ Modulus elastisitas beton ringan :

$$\begin{aligned} E_c &= 1974 \sqrt{f'c} \\ &= 1974 \sqrt{11,7421} \\ &= 6764,2554 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Dari hasil tersebut diperoleh nilai modulus elastisitas beton normal sebesar 16143,065 MPa dan nilai modulus elastisitas beton ringan sebesar 6764,2554 MPa. Perbandingan antara modulus elastisitas beton ringan terhadap modulus elastisitas beton normal yaitu sebesar 41 %.

4.7.4.2 Perbandingan Modulus Elastisitas Baja terhadap Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas baja yaitu 21.000 MPa, modulus elastisitas beton normal mutu rendah yaitu 18.000 GPa. [Neville][38] dan modulus elastisitas beton ringan dari pengujian yaitu 6413,9725 MPa.

- ♦ Perbandingan nilai modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton normal:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000 \text{ MPa}}{18000 \text{ MPa}} = 11,67 \quad (4.12)$$

- ♦ Perbandingan nilai modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton ringan:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000 \text{ MPa}}{6413,9725 \text{ MPa}} = 32,74 \quad (4.13)$$

Berdasarkan kedua perbandingan tersebut, diperoleh nilai perbandingan modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton normal sebesar 11,67, nilai perbandingan ini lebih rendah 36 % bila dibandingkan dengan perbandingan nilai modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton ringan yaitu sebesar 32,74. Agar memperoleh nilai perbandingan modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton ringan maka dapat dilakukan dengan mengganti jenis tulangan baja dengan jenis tulangan yang lebih kecil nilai modulus elastisitasnya.

4.8 PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS PLASTIK POLI PROPILEN

Pengujian modulus elastisitas plastik Poli Propilen menggunakan spesimen silinder dengan diameter 15 cm tinggi 30 cm. Pengujian modulus elastisitas plastik Poli Propilen dilakukan dengan dua cara, yaitu:

1. Pengujian modulus elastisitas dengan alat Pundit.
2. Pengujian modulus elastisitas dengan alat ekstensometer

4.8.1 Pengujian Modulus Elastisitas dengan alat Pundit

Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan pengujian UPV dengan menggunakan alat Pundit untuk mendapatkan kecepatan rambat gelombang yang melalui benda uji plastik Poli Propilen spesimen silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.35 berikut ini:

Tabel 4.35 Pulse Velocity Plastik Poli Propilen

Transit Time (μ s)	Transit Time Rata-rata (μ s)	Berat Benda Uji (Kg)	Tinggi Benda Uji (mm)	Berat Jenis (Kg/m^3)	Pulse Velocity (km/s)
238	241	4,379	302	826,0024	1,253
247					
238					



Gambar 4.27 Pengujian Modulus Elastisitas Plastik PP dengan alat Pundit

Dari pengujian UPV diperoleh nilai pulse velocity sebesar 1,253 km/s. Nilai kecepatan ini lalu dimasukkan ke dalam persamaan $y = 317,05^{e^{1,0168x}}$ yang terdapat pada gambar 4.28 berikut ini:



Gambar 4.28 Kurva Modulus Elastisitas (E) dengan kecepatan gelombang(km/s) berdasarkan manual Pundit

- ◆ Persamaan statis:

$$y = 317,05e^{1,0168x} \quad (4.14)$$

Dimana :

y = Modulus Elastisitas statis (MPa)

x = *Pulse velocity* (km/s)

Dari persamaan tersebut maka diperoleh nilai modulus elastisitas statis:

$$\begin{aligned} y &= 317,05e^{1,0168x} & (4.15) \\ &= 317,05e^{(1,0168 \times 1,253)} \\ &= 1133,55 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- ◆ Persamaan dinamis:

$$y = 2366,3e^{0,6294x} \quad (4.16)$$

Dimana :

y = Modulus Elastisitas dinamis (MPa)

x = *Pulse velocity* (km/s)

Dari persamaan tersebut maka diperoleh nilai modulus elastisitas dinamis:

$$\begin{aligned} y &= 2366,3e^{0,6294x} \\ &= 2366,3e^{(0,6294 \times 1,253)} \\ &= 5206,8015 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.17)$$

- ♦ Persamaan modulus elastis terhadap *Poissons ratio*:

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1 + \delta)(1 - 2\delta)}{(1 - \delta)} \quad (4.18)$$

Dimana :

E_d = the dynamic elastic modulus (MN/m²)

δ = the Poisson's ratio.

ρ = the density (Kg/m³).

V = the compression pulse velocity (km/s)

$$\begin{aligned} 1133,55 &= \frac{826,0024 \times 1,253^3 (1 + \delta)(1 - 2\delta)}{(1 - \delta)} \\ 3363542,323 \delta^2 - 1680631,61 \delta + 1682904,712 &= 0 \\ \delta &= 0,2498 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Berdasarkan data diperoleh nilai modulus elastisitas statis sebesar 1133,55 MPa , modulus elastisitas dinamis sebesar 5206,80 MPa, berat jenis sebesar 826,0024 Kg/m³, dan *pulse velocity* sebesar 1,253 km/s maka diperoleh nilai *Poisson's ratio* untuk plastik Poli Propilen sebesar 0,2498.

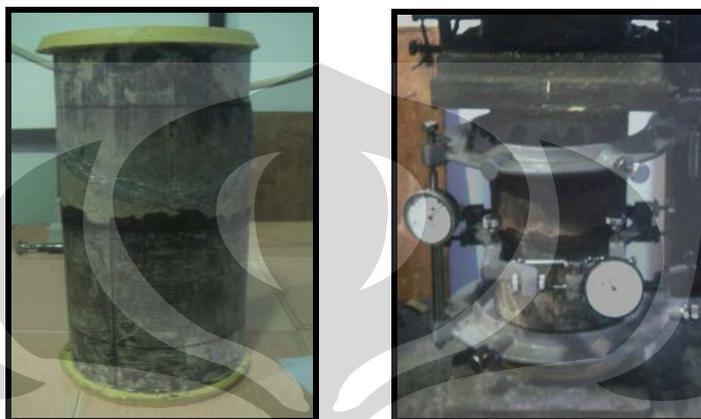
4.8.2 Pengujian Modulus Elastisitas dengan Alat Ekstensometer

Pengujian modulus elastisitas dengan alat ekstensometer dilakukan untuk membandingkan nilai modulus elastisitas dan *Poisson's ratio* yang didapat dengan menggunakan alat ekstensometer dan nilai modulus elastisitas dan *Poisson's ratio* yang didapat dengan menggunakan alat pundit.

Dari pengujian modulus elastisitas dengan alat ekstensometer didapatkan nilai modulus elastisitas plastik Poli Propilen sebesar 614,2507 MPa dan *Poisson's ratio* sebesar 0,3278. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran G. Nilai modulus elastisitas dan *Poisson's ratio* dengan menggunakan alat ekstensometer dapat dilihat pada table 4.36 berikut:

Tabel 4.36 Nilai Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio*

Pengujian	Nilai
Modulus Elastisitas (MPa)	614,2507
<i>Poisson's Ratio</i>	0,3278

**Gambar 4.29** Pengujian Modulus Elastisitas Silinder Plastik Poli Propilen

Modulus elastisitas statis dengan menggunakan alat Pundit yaitu 1133,55 MPa sedangkan nilai modulus elastisitas yang didapat dengan menggunakan alat ekstensometer yaitu 614,2507 MPa, nilai modulus elastisitas yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan alat ekstensometer lebih rendah 54,1883 % bila dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas yang diperoleh dengan menggunakan alat ekstensometer.

Perbedaan yang cukup signifikan ini diakibatkan oleh kecepatan pembebanan melebihi kecepatan minimum pembebanan yaitu 1,25 mm/menit dan benda uji yang digunakan dalam pengujian dengan menggunakan alat ekstensometer telah mengalami keretakan sebelum dilakukan pengujian yang menyebabkan Δ aksial menjadi semakin besar sehingga nilai modulus elastisitas semakin kecil.

4.9 ANALISA BIAYA

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap karakteristik agregat kasar limbah gelas plastik Poli Propilen (PP) yang meliputi pengujian terhadap

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

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

- ♦ 1 kg gelas plastik PP berbagai merk = Rp. 7500,-
- ♦ 1 ltr minyak tanah (harga eceran /Oktober 2008) = Rp. 9000,-

Setelah melakukan pengujian berulang-ulang pada proses pembuatan agregat kasar ringan dari limbah gelas plastik Poli Propilen (PP), maka pada penelitian ini diperoleh penggunaan bahan baku untuk 1 kg potongan gelas plastik diperoleh dari \pm 350 buah gelas plastik Poli Propilen, dimana untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan dibutuhkan sekitar 1,24 kg potongan gelas plastik, hal ini karena banyaknya bahan yang mengalami penguapan pada saat pembakaran, dari 1000 gr bahan yang dibakar hanya menghasilkan 860 gr agregat ringan plastik, sedangkan kebutuhan minyak tanahnya \pm 200 ml.

Perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 kg agregat kasar ringan adalah sebagai berikut:

- 1,24 kg gelas plastik PP (@Rp.7500,-/kg) = Rp. 9.300,-
 - 0,2 ltr minyak tanah = Rp. 1.800,- +
- Rp. 11.100,-

Hal yang menjadi perhatian, pada saat ini terkadang ada kelangkaan penjualan minyak tanah dan harga minyak tanah juga tidak tetap/ fluktuatif sehingga dapat meningkatkan biaya produksi apabila harga minyak tanah juga mengalami kenaikan harga.

Dengan biaya langsung yang dikeluarkan sebesar Rp.11.100,-/kg agregat, penulis menganggap biaya produksi agregat kasar ringan masih belum ekonomis. Namun biaya produksi ini dapat digunakan sebagai acuan atau pedoman bagi pengujian-pengujian selanjutnya yang serupa, yaitu penelitian mengenai

karakteristik agregat kasar ringan dari limbah gelas plastik dan penggunaannya pada suatu elemen struktur beton khususnya struktur beton ringan.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan yang diperoleh pada pengujian umur 28 hari sebesar 11,714 MPa memenuhi kuat tekan beton ringan yang ditargetkan yaitu sebesar 11,602 MPa. Berdasarkan SNI 03-3449-2002 tentang "Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan", maka beton ringan agregat limbah gelas plastik Poli Propilen termasuk kedalam kategori konstruksi beton ringan struktural ringan dengan batasan kuat tekan 6,89 MPa samapai 17,24 MPa.
2. Agregat kasar limbah gelas plastik Poli Propilen (PP) tidak dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar ringan pada umumnya untuk campuran konstruksi beton ringan struktural, hal ini didasari oleh beberapa alasan sebagai berikut :
 - Tekstur permukaan agregat yang licin dapat mengakibatkan lemahnya ikatan antara agregat kasar dengan pasta semen sehingga dapat menurunkan kuat tekan beton.
 - Berat jenis agregat ringan limbah gelas plastik Poli Propilen yaitu 0,9068, nilai ini tidak memenuhi standar untuk berat jenis agregat ringan yaitu 1,0-1,8 maka agregat tidak dapat digolongkan dalam agregat ringan
 - Berat jenis agregat ringan limbah gelas plastik Poli Propilen lebih rendah dari berat jenis air yaitu 0,988 sehingga agregat mengambang dalam air. Hal ini mengakibatkan adanya kesulitan pada saat pengadukan beton karena apabila dihasilkan slump yang encer dapat menyebabkan segregasi.
3. Gradasi agregat kasar yang dihasilkan tidak baik karena pembuatan agregat kasar yang dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan sendok sebagai cetakan dalam membentuk butiran-butiran agregat kasar ringan gelas plastik Poli Propilen. Gradasi yang tidak baik mempengaruhi kuat tekan beton

karena adanya ukuran butiran yang tidak saling mengisi sehingga menyebabkan beton menjadi berongga.

4. Agregat kasar ringan plastik masih mengandung minyak tanah sehingga menyebabkan ikatan dengan pasta semen tidak baik. Unsur pembentuk bahan dasar PP yaitu minyak bumi sehingga pada dasarnya plastik tidak dapat megikat baik dengan pasta semen yang tersusun dari semen dan air.
5. Sifat-sifat fisik agregat ringan plastik dan sifat-sifat mekanik beton ringan yang menguntungkan dari penggunaan bahan limbah gelas plastik Poli Propilen antara lain :
 - Berat isi agregat ringan yang rendah sebesar 483 kg/m^3 sehingga menguntungkan terhadap syarat berat isi agregat ringan yaitu 1040 kg/m^3
 - Daya absopsi agregat kasar ringan yang dihasilkan sangat kecil yaitu 0,6624 %, sedangkan daya absorpsi maksimum yang disyaratkan untuk agregat ringan yaitu sebesar 20 %.
 - Dari hasil pengujian abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles Abration, didapat tingkat keausan agregat kasar plastik sebesar 7,68 % termasuk dalam kategori agregat yang dapat digunakan sebagai agregat untuk beton struktural kelas III dan mutu $K > 225$ dengan syarat < 27 % bagian agregat yang lolos ayakan 1,7 mm .
3. Proses perubahan fisik dalam pembuatan agregat ringan gelas plastik Poli Propilen berdasarkan suhu terhadap waktu terdiri dari 4 tahap, yaitu proses pembakaran terjadi pada suhu $0^\circ\text{C} - 215^\circ\text{C}$, proses plastik meleleh terjadi pada suhu $215^\circ\text{C} - 370^\circ\text{C}$, proses plastik mencair agak kental terjadi pada suhu $370^\circ\text{C} - 730^\circ\text{C}$, proses plastik mencair kalis, menguap hingga plastik berkurang terjadi pada suhu $730^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}$.
4. Pengujian kuat tekan hancur agregat menggunakan sampel kubus agregat plastik Poli Propilen (PP) dengan 2 ukuran spesimen yaitu kubus plastik ukuran (5x5x5) cm dan kubus plastik ukuran (15x15x15) cm dan silinder agregat plastik Poli Propilen (PP) ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dari hasil pengujian didapat faktor konversi antara kuat tekan antara kubus ukuran (5x5x5) cm dengan kuat tekan rata-rata kubus ukuran (15x15x15) cm sebesar 1,4675 dan faktor konversi antara kuat tekan kubus

ukuran (15x15x15) cm dengan tekan rata-rata silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebesar 0,9447.

5. Pada pengujian slump dengan menggunakan rancang campur tipe I, diperoleh nilai slump sebesar 0 cm. Berdasarkan ACI 213R-79 nilai slump yang disyaratkan yaitu berkisar 3in - 4in (8-10 cm). Dengan nilai slump ini beton ringan agregat plastik relatif kurang baik tingkat kelecakannya (*workability*). Dengan menggunakan rancang campur kedua, yaitu tanpa adanya koreksi terhadap air, agregat halus dan agregat kasar maka didapatkan nilai slump sebesar 8,07 cm. Nilai slump ini memenuhi syarat dan menunjukkan bahwa beton tersebut mempunyai tingkat kelecakkan yang baik / mudah dikerjakan.
6. Nilai berat isi kering beton ringan sebanding dengan nilai kuat tekannya yaitu dengan bertambahnya berat isi kering beton ringan maka nilai kuat tekan beton ringan juga semakin bertambah.
7. Berdasarkan pola retak kuat tekan dan kuat tarik sampel beton ringan plastik Poli Propilen, dapat dilihat bahwa pola retaknya terjadi antara ikatan mortar dengan agregat ringan kasar. Hal ini disebabkan oleh tekstur permukaan agregat kasar yang licin dan mengkilap sehingga tidak dapat menahan slip pada saat pembebanan.
8. Hubungan antara kuat tekan beton ringan dengan kuat tarik belah beton ringan yaitu didapat nilai kuat tarik belah rata-rata beton ringan sebesar 0,026-0,062 terhadap kuat tekannya sehingga tidak memenuhi ketentuan umum $0,10f_c < f_{ct} < 0,20f_c$.
9. Pada pengujian ini nilai modulus elastisitas tidak diperoleh pada setiap siklus pengujian, hal ini disebabkan karena agregat ringan yang digunakan berongga dan tidak masiv sehingga beton telah mengalami pemampatan terlebih dahulu pada awal pembebanan. Selain itu, kecepatan pembebanan mempengaruhi bacaan dial aksial dan lateral, berdasarkan ASTM C 469-02, pembebanan harus dilakukan secara bertahap dengan kecepatan berkisar 1,25 mm/menit.
10. Modulus elastisitas untuk beton ringan Poli Propilen yaitu 6413,9725 MPa dan *Poisson's ratio* sebesar 0,3240. Berdasarkan nilai modulus elastisitas yang

diperoleh maka beton tersebut dapat digolongkan dalam klasifikasi mutu beton sangat rendah.

11. Berdasarkan pengujian modulus elastisitas plastik Poli Propilen dengan menggunakan alat Pundit diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 1133,55 MPa sedangkan pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan alat ekstensometer diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 614,2507 MPa. Hal ini disebabkan karena benda uji silinder yang digunakan dalam pengujian modulus elastisitas plastik Poli Propilen telah mengalami retak terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian sehingga Δ aksial yang terjadi menjadi besar sehingga nilai modulus elastisitas dengan menggunakan alat ekstensometer menjadi lebih kecil.
12. Angka *Poisson's ratio* yang diperoleh dengan menggunakan alat Pundit yaitu angka sebesar 0,2498 sedangkan *n Poisson's ratio* yang diperoleh dengan menggunakan alat ekstensometer yaitu sebesar 0,3278. Adanya kenaikan angka *Poisson's ratio* disebabkan karena benda uji silinder yang digunakan dalam pengujian modulus elastisitas plastik Poli Propilen telah mengalami retak terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian sehingga Δ lateral yang terjadi menjadi besar dan angka *Poisson's ratio* dengan menggunakan alat ekstensometer menjadi lebih besar.
13. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat 1 kg agregat kasar ringan gelas plastik Poli Propilen yaitu sebesar Rp.11.100,-. Harga ini dapat dikatakan belum ekonomis. Namun biaya produksi ini dapat digunakan sebagai acuan atau pedoman bagi pengujian-pengujian selanjutnya yang serupa, yaitu penelitian mengenai karakteristik

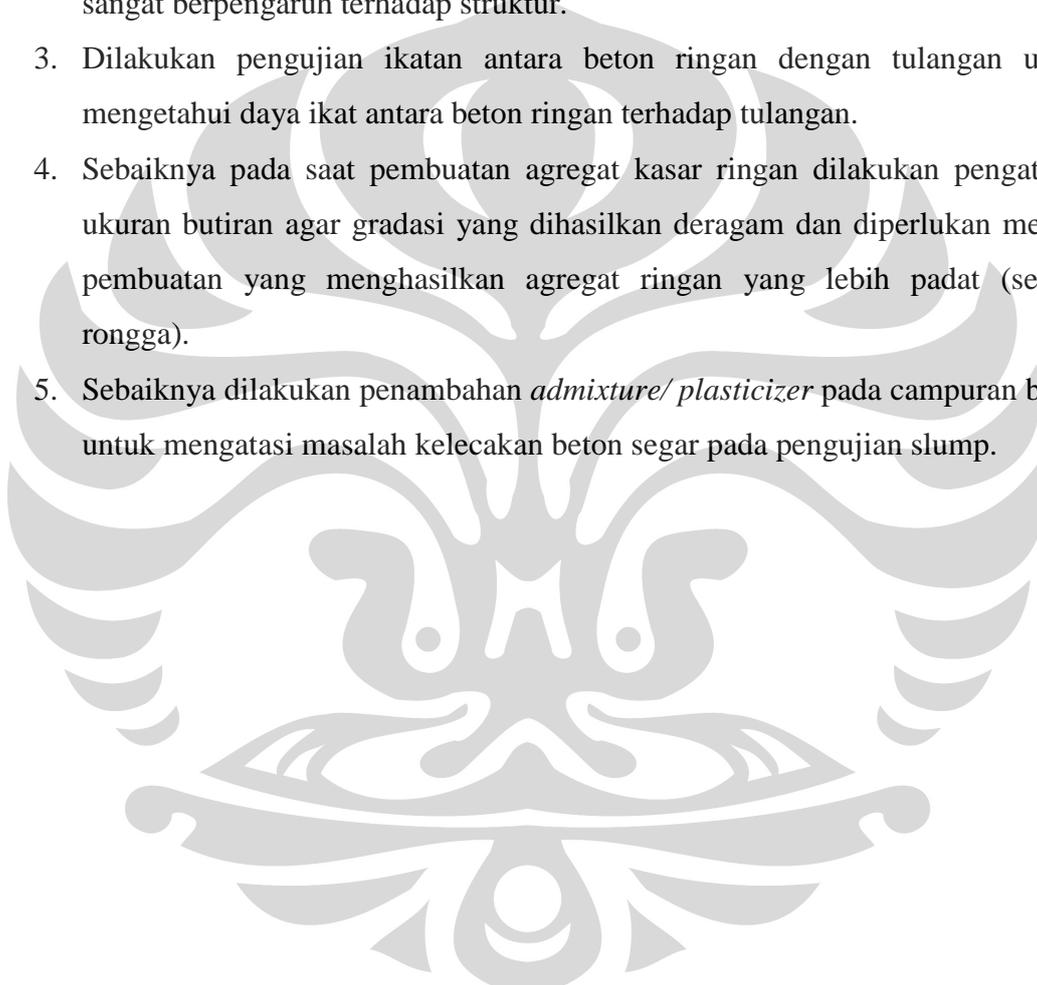
5.2. SARAN

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

1. Perlu perhatian khusus terutama pada berat jenis agregat tipe Poli Propilen yang bersifat lebih ringan dari air karena dikhawatirkan terjadi segregasi dan

mengambang pada campuran beton ringan. Yaitu dengan melakukan penambahan bahan-bahan tertentu kedalam bahan Poli Propilen yang mencair pada proses pembakaran sehingga dapat meningkatkan berat jenisnya misalkan saja pasir dan serat.

2. Dilakukan pengujian lebih mendalam terhadap karakteristik yang lain dari beton ringan seperti rangkak, shrinkage dari beton ringan yang menggunakan agregat kasar ringan plastik poli Propilen karena rangkak, shrinkage juga sangat berpengaruh terhadap struktur.
3. Dilakukan pengujian ikatan antara beton ringan dengan tulangan untuk mengetahui daya ikat antara beton ringan terhadap tulangan.
4. Sebaiknya pada saat pembuatan agregat kasar ringan dilakukan pengaturan ukuran butiran agar gradasi yang dihasilkan beragam dan diperlukan metode pembuatan yang menghasilkan agregat ringan yang lebih padat (sedikit rongga).
5. Sebaiknya dilakukan penambahan *admixture/ plasticizer* pada campuran beton untuk mengatasi masalah kelecakan beton segar pada pengujian slump.



DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 211.1-1991.(1991).*Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*. ACI Manual of Concrete Practice.
2. ACI Committee 213R-87 (1979).*Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*. ACI Manual of Concrete Practice.
3. ASTM. (2002).*Concrete and Aggregate*. Annual Book of ASTM Standard, Philedelphia: ASTM.
4. ASTM C 131-81.(1981). *Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate By Abration and Impact in The Los Angeles Machine*. Annual Book of ASTM Standard, Philedelphia: ASTM.
5. ASTM C 136-81. (1981) *Resistance Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. Annual Book of ASTM Standard, Philedelphia: ASTM.
6. ASTM C 330 – 80. (1980). *Lighweight Aggregates for Structural Concrete*. Annual Book of ASTM Standard, Philedelphia: ASTM.
7. ASTM C 469 – 02. (2002). *Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ration of Concrete in Compression*. Annual Book of ASTM Standard, Philedelphia: ASTM.
8. Bandrup, Johannes. (1997). *Recycling and Recovery of Plastics*. New York: Hanser Publisher.
9. Brydson. J.A. (1982). *Plastics Materials*. London
10. Brook, K.M., Murdock, L.J.. (1981). *Concrete Materials and Practic*. Jakarta: Erlangga.
11. Brooks, J.J., Neville, A.M. (1981). *Concrete Technology*. London: Pitman Books Ltd.
12. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi, PEDC. (1983). *Teknologi Bahan 2*. Bandung: PEDC.
13. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1990). *Cara Uji Slump Beton*, SNI 03-1972-1990. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
14. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*, SNI 03-1970-1990. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.

15. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*, LPMB. SNI 03-1969-1990. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
16. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1998). *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat Kasar*, SNI 03-4804-1998. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
17. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1990). *Metode Pengujian Berat Isi Beton*”, SNI 03-1973-1990. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
18. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1996). *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200*, SNI 03-4142-1996. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
19. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat Kasar dan Agregat Halus*, SNI 03-1971-1990. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
20. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1992). *Metode Pengujian Kadar Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar dan Beton*, SNI 03-2816-1992. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
21. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1991). *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan mesin Abrasi Los Angeles*, SNI 03-2417-1991.
22. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (2002). *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*, SNI 03-2451-2002. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
23. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, SNI 03-1974-1990. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
24. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semne Portland Untuk Pekerjaan Sipil*, SNI M-111-1990-03. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
25. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1996). *Metode Pengujian Modulus Elastisitas*, SNI 03-4169-1996. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
26. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisa Ayak Agregat Halus dan Agregat Kasar*, SNI 03-1968-1990. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.

27. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktur*, SNI 03-2461-2002. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
28. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834-2000. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
29. Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. (2002) *Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*, SNI 03-3449-2002. Bandung: DPU-Yayasan LPMB.
30. Domininghaus, Hans. (1988). *Plastic for Engineers, Materials, Properties, Application*. New York: Hanser Publisher.
31. Harper, Charles, A. (2001). *Modern Plastics Handbook*. London: MC Graw-Hill.
32. Haryana, M, Agus. (2008). *Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Buatan dari Limbah Botol Plastik High Density Poly Ethylene (HDPE) dan Pengaruhnya Terhadap Sifat-sifat Mekanis Beton Ringan*, Skripsi UI.
33. <http://www.elsevier.com/locate/matdes>
34. <http://www.google.com>
35. McLean. (1997). *Polymer Manufacturing, Technology and Helath Effects*. New Jersey: Hanser Publisher.
36. Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
37. Nawy, Edward. G. (1990). *Reinforced Concrete a Fundamental Approach- Terjemahan*. Cetakan Pertama, Bandung: PT. Eresco.
38. Neville, A.M. (1981). *Properties of Concrete*, 4th Edition. London: Pitman Books Ltd.
39. Rahmadiyanto. Candra. Dkk. (2003). *Teknologi Beton*. Jakarta: Erlangga.
40. Timoshenko, Gere. (1987). *Mekanika Bahan*, Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga.
41. Popovics, Sandor, (1979). *Concrete Making Materials*. London : McGraw-Hill Book Company.

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

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah gelas plastik (PP)
 Date Tested : November, 07th 2008

Sample	I	II
A) Weight of oven - dry specimen in air (gr)	2491	2491
B) Weight of ssd specimen in air (gr)	2507	2508
C) Weight of saturated specimen in water (gr)	-260	-255
Bulk Specific Gravity $= \frac{A}{B - C}$	0,9003	0,9016
Average of above	0,9010	
Bulk Specific Gravity (Saturated-Surface-Dry Basis) $= \frac{B}{B - C}$	0,9060	0,9077
Average of above	0,9068	
Apparent Specific Gravity $= \frac{A}{A - C}$	0,9054	0,9071
Average of above	0,9063	
Absorption (%) $= \frac{B - A}{A} \times 100\%$	0,6423	0,6824
Average of above (%)	0,6624	

TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOLDS IN COARSE AGGREGATE

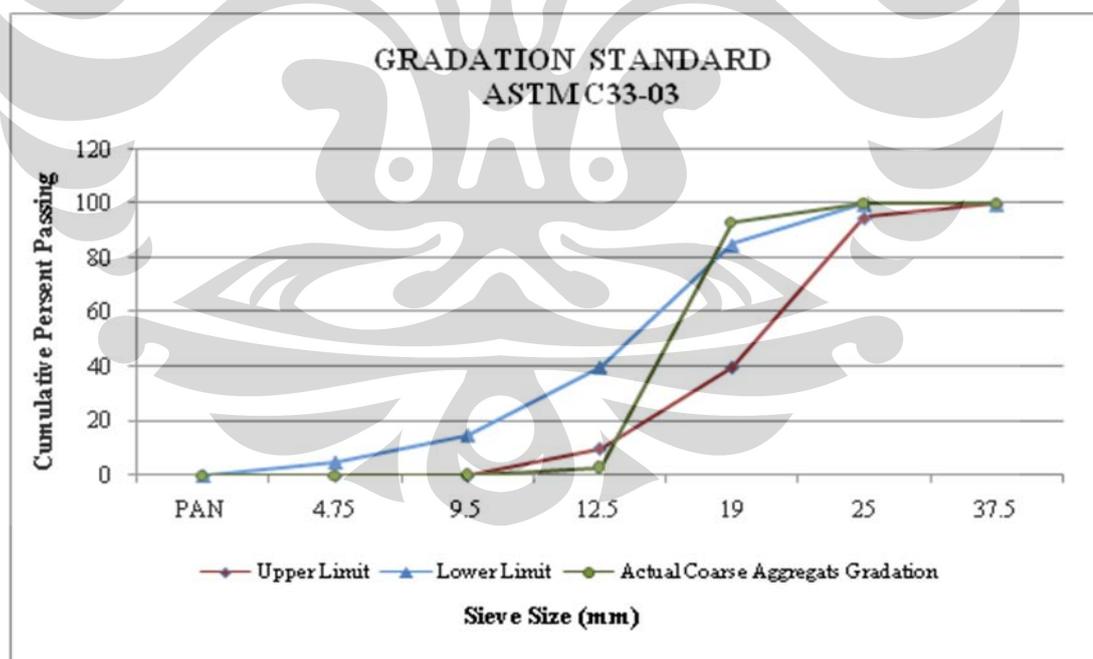
Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah gelas plastik (PP)
 Date Tested : November, 06th 2008

Sample	I	II
a) Weight of Measure (kg)	5,063	5,063
b) Weight of Measure + Water (kg)	14,630	14,630
c) Weight of Measure and Sample (kg)	9,677	9,682
d) Weight of Sample (kg)	4,614	4,619
e) Volume of Measure (liter)	9,567	9,567
f) Unit weight of aggregate (kg/liter)	0,482	0,483
B) Average of above (kg/liter)	0,483	
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate	0,9068	
W) Unit Weight of Water (kg/liter)	0,998	
Void (%)	46,629	46,629
Average	46,629	
$d = c - a$ $e = b - a$	$f = \frac{d}{e}$	Void (%) $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$

SIEVE ANALYSIS OF COARSE AGGREGATE

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah gelas plastik (PP)
 Date Tested : November, 06th 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 %
37,5	0	0	0	0	0	0	0	0	100
25	0	0	0	0	0	0	0	0	100
19	394	7,88	7,88	300	6	6	6,94	6,94	93,06
12,5	4466	89,32	97,2	4534	90,68	96,68	90	96,94	3,06
9,5	132	2,64	99,84	156	3,12	99,8	2,96	99,82	0,18
4,75	8	0,16	100	10	0,2	100	0,18	100	0
PAN	0	0	100	0	0	100	0	100	0
FM	3,0492			3,0248			3,0370		



PENGUJIAN KADAR AIR AGREGAT KASAR

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah gelas plastik (PP)
 Date Tested : November, 06th 2008

Nomor Talam yang dipakai	A	B
1. Berat talam + contoh (gr)	4961	4961
2. Berat talam + contoh kering oven (gr)	4959	4960
3. Berat air = 1-2	2	1
4. Berat talam (gr)	2961	2961
5. Berat contoh kering = 2-4 (gr)	1998	1999
6. Kadar air= 3/5 (%)	0,1	0,05
Ratat-rata kadar air (%)	0,075	

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

Sample : Agregat kasar ringan buatan
 Source : Limbah Gelas Plastik PP
 Date Tested : May, 11th 2009

Gradasi Pemeriksaan		Berat (gr)
Saringan		
Lolos	Tertahan	
76.2 mm	63.5 mm (2 1/2")	
63.5 mm (2 1/2")	50.8 mm (2")	
50.8 mm (2")	37.8 mm (1 1/2")	
37.5 mm (1 1/2")	25.4 mm (1")	
25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")	
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	2500
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	2500
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (no.4)	
4.75 mm (no. 4)	2.36 mm (no.8)	
Jumlah Berat		5000 (a)
Berat tertahan saringan no.12		4616 (b)

$$\text{Keausan} = \frac{a - b}{a} \times 100 \% = 7,68 \%$$

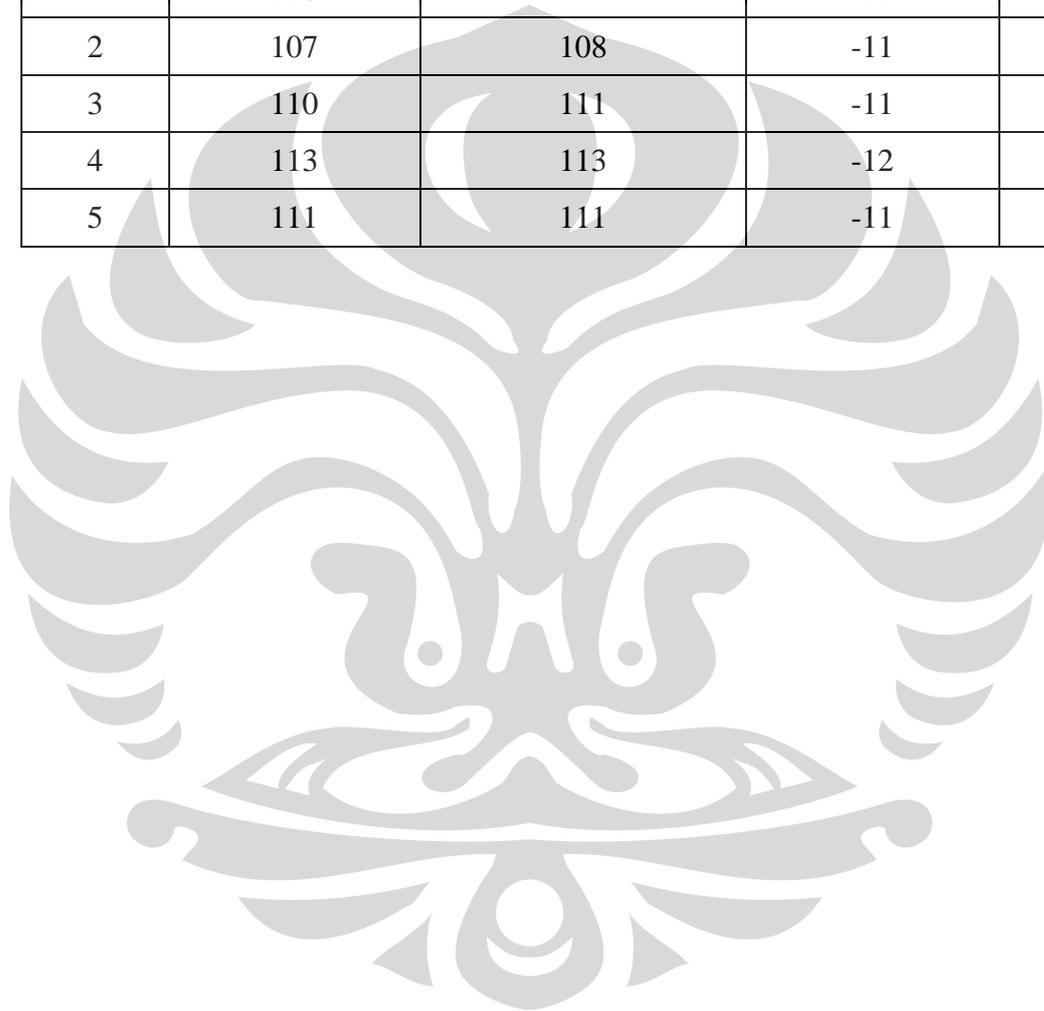
**PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR RINGAN PLASTIK PP
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK KUBUS (15×15×15)**

No Sampel	Berat Spesimen di udara (gr)	Berat SSD spesimen di udara (gr)	Berat spesimen dalam air (gr)	SSD Specific Gravity
	A	B	C	B/(B-C)
1	2826	2843	-288,5	0,9079
2	2787	2794	-293	0,9051
3	2752	2760	-295	0,9038
4	2748	2752	-300	0,9017
5	2774	2779	-294,5	0,9042



**PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR RINGAN PLASTIK PP
DENGAN SPESIMEN BERBENTUK KUBUS (5 × 5 × 5)**

No. Sampel	Berat Spesimen di udara (gr)	Berat SSD spesimen di udara (gr)	Berat Spesimen dalam air (gr)	SSD Specific Gravity
	A	B	C	B/(B-C)
1	110	111	-11	0,9098
2	107	108	-11	0,9076
3	110	111	-11	0,9098
4	113	113	-12	0,9040
5	111	111	-11	0,9098



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

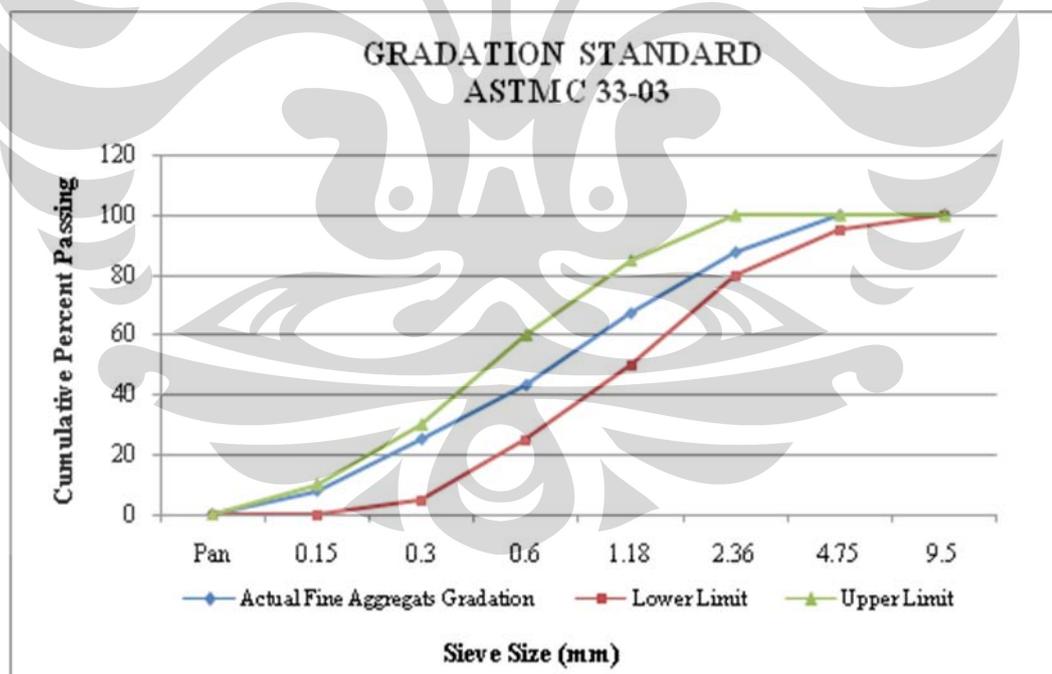
Sample : Pasir alam
Source : Cimangkok
Date Tested : September, 3th 2008

Sample	I	II
A) Weight of Oven-Dry Specimen in Air (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	2,626
Average of Above	2,663	
Absorption (%) = $\frac{500-A}{A} \times 100\%$	4,603	4,603
Average of Above (%)	4,603	

SIEVE ANALYSIS OF FINE AGGREGATE

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

SIEVE SIZE (mm)	SAMPLE No. 1			SAMPLE No. 2			AVERAGE		
	WEIGHT RET GRAMS	IND % RET	CUM % RET	WEIGHT RET GRAMS	IND % RET	CUM % RET	IND %	CUM %	AVERAGE PASSING (%)
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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
PAN	40	8	100	39	7,8	100	7,9	100	0
FM	2,740			2,638			2,689		



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

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

SAMPLE	I	II
B) Original dry weight of sample (gr)	500	500
C) Dry weight of sample (gr)	489	490
A) Percentage of material finer than a No. 200 sieve by washing (%)	2,20	2,00
Average of above (%)	2,10	
$A = \frac{B-C}{B} \times 100\%$		

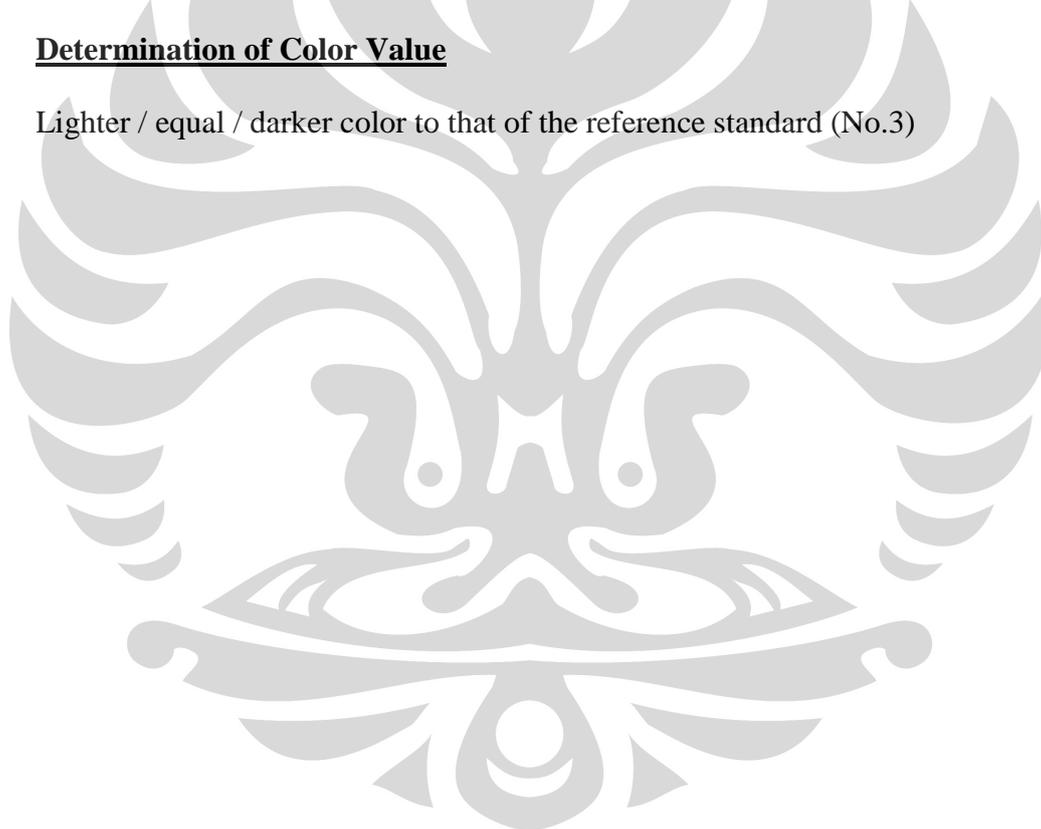
TEST FOR ORGANIC IMPURITIES IN FINE AGGREGATE

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



TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOIDS IN FINE AGGREGATE

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

Sample	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	2,482	
W) Unit Weight of Water (kg/liter)	0,998	
Void (%)	42,855	42,855
Average	42,855	
$d = c - a$ $e = b - a$	$f = \frac{d}{e}$	$\text{Void (\%)} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100\%$

PENGUJIAN KADAR AIR AGREGAT HALUS

Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok, Jayamix
 Date Tested : March, 12th 2009

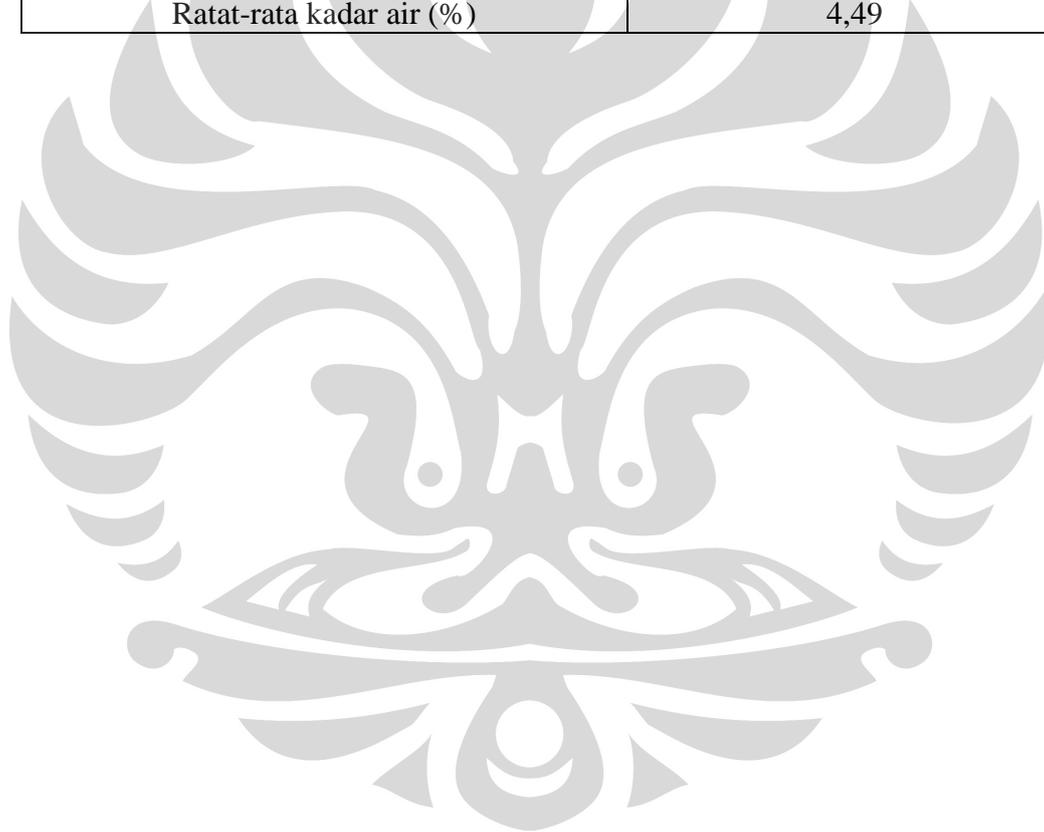
Nomor Talam yang dipakai	A	B
1. Berat talam + contoh basah (gr)	753	932
2. Berat talam + contoh kering (gr)	727	903
3. Berat air = 1-2 (gr)	26	29
4. Berat talam (gr)	253	432
5. Berat contoh kering = 2-4 (gr)	474	471
6. Kadar air = 3/5 (%)	5,49	6,16
Ratat-rata kadar air (%)	5,82	



PENGUJIAN KADAR AIR AGREGAT HALUS (REVISI)

Sample : Pasir alam
 Source : Cimangkok, Jayamix
 Date Tested : July, 5th 2009

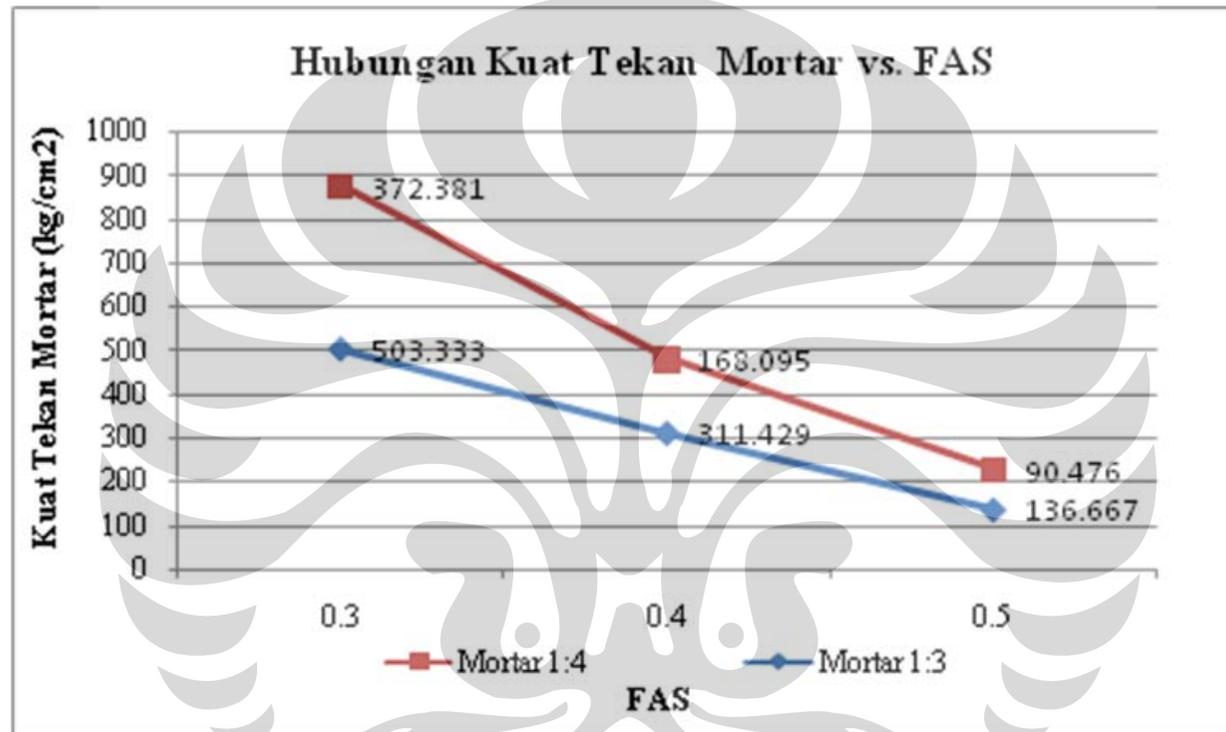
Nomor Talam yang dipakai	A	B
1. Berat talam + contoh basah (gr)	1038	1026
2. Berat talam + contoh kering (gr)	1016	1005
3. Berat air = 1-2 (gr)	22	21
4. Berat talam (gr)	538	526
5. Berat contoh kering = 2-4 (gr)	478	479
6. Kadar air = 3/5 (%)	4,60	4,38
Ratat-rata kadar air (%)	4,49	



PENGUJIAN KUAT TEKAN ADUKAN MORTAR DENGAN SPESIMEN BERBENTUK KUBUS (5×5×5) PADA UMUR 7 HARI

Sample : Adukan mortar
Data Tested : Februari, 12th 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	

GRAFIK HUBUNGAN KUAT TEKAN ADUKAN MORTAR DENGAN FAKTOR AIR SEMEN (FAS)

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

I. Data Perencanaan

- ♦ Kuat tekan beton ringan (f'_{cB}) = 11 MPa

- ♦ Nilai tambah/margin (M) $M = k \times s$

dengan : M = nilai tambah

k = tetapan statistik (1,64)

s = deviasi standar (0,367 MPa)

M = $1,64 \times s = 1,64 \times 0,367 = 0,602$ MPa

- ♦ Kuat tekan beton ringan yang ditargetkan (f'_{cBr})

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

$$= 11\text{MPa} + 0,602 \text{ Pa} = 11,602 \text{ MPa}$$

- ♦ Berat Isi beton ringan yang disyaratkan (BI_{Br}) = 1400 kg/m³

- ♦ Semen yang digunakan PCC

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

Sifat – sifat	Agregat Plastik
Berat Jenis, ssd	0,9068
Penyerapan Air, % berat	0,6624
Kadar Air, % berat	0,075

- ♦ 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 (ssd)	2,482
Penyerapan Air, % berat	4,603
Kadar Air, % berat	5,82

Perhitungan Rancang Campur

Kuat Tekan Adukan (Mortar) terhadap Kuat Tekan Hancur Agregat

- ◆ Berdasarkan pengujian terhadap agregat kasar ringan di laboratorium, di dapat kuat tekan hancur agregat (f'_{cA}) = 63,945 kg/cm².
- ◆ Kuat Tekan Beton Ringan (f'_{cB}) = 110 kg/cm²
- ◆ Syarat Jumlah Fraksi Agregat Kasar Ringan, n_f : $0,35 \leq n_f \leq 0,50$

Berdasarkan pengujian didapatkan data-data sebagai berikut:

$$f'_{CM} = 168,095 \text{ kg/cm}^2$$

Perbandingan Mortar = 1:4

Faktor Air Semen = 0,4

$$0,35 < (n_f = \frac{\log(f'_{cB}/f'_{cM})}{\log(f'_{cA}/f'_{cM})}) < 0,5$$

$$0,35 < (n_f = \frac{\log(110/168,095)}{\log(63,945/168,095)}) = 0,439 < 0,5$$

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

• Semen	= 420 × 0,439	= 184,38	kg ≈ 185 kg
• Air	= 168 × 0,439	= 73,752	kg ≈ 74 kg
• Agregat Halus	= 1680 × 0,439	= 737,52	kg ≈ 738 kg
• Agregat Kasar	= 1000 × 0,439 × 0,9068	= 398,085	kg ≈ 398 kg +
Jumlah	= Berat isi beton	=	1395 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 = 0,6624 %
- ◆ Kadar air = 0,075 %

Koreksi proporsi campuran berdasarkan SNI 03-3449-2002

- Air $= B - (C_k - C_a) \times C / 100 - (D_k - D_a) \times D / 100$
- Agregat halus $= C + (C_k - C_a) \times C / 100$
- Agregat kasar $= D + (D_k - D_a) \times D / 100$

Dimana :

- B = jumlah air (kg/m^3)
- C = jumlah agregat ringan halus (kg/m^3)
- D = jumlah agregat ringan kasar (kg/m^3)
- C_a = absorpsi air pada agregat ringan halus (%)
- D_a = absorpsi air pada agregat ringan kasar (%)
- C_k = kandungan air dalam agregat ringan halus (%)
- D_k = kandungan air dalam agregat ringan kasar (%)

Susunan campuran beton $/\text{m}^3$ menjadi :

- Air $= B - (C_k - C_a) \times C / 100 - (D_k - D_a) \times D / 100$
 $= 74 - (5,82 - 4,603) \times 738 / 100 - (0,075 - 0,6624) \times 396 / 100$
 $= 65,0185 + 2,3261$
 $= 67,3446 \text{ kg}$
- Agregat halus $= C + (C_k - C_a) \times C / 100$
 $= 738 + (5,82 - 4,603) \times 738 / 100$
 $= 746,9815 \text{ kg}$
- Agregat ringan kasar $= D + (D_k - D_a) \times D / 100$
 $= 398 + (0,075 - 0,6624) \times 398 / 100$
 $= 395,6621 \text{ kg}$

Kebutuhan total bahan untuk 30 benda uji silinder ukuran diameter 0,15 m dan tinggi 30 cm adalah sebagai berikut :

- Semen $= 185 \times (30 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3) = 29,415 \text{ kg}$
- Air $= 67,3446 \times (30 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3) = 10,7107 \text{ kg}$
- Agregat Halus $= 746,9815 \times (30 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3) = 118,8023 \text{ kg}$
- Agregat Kasar $= 395,6621 \times (30 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3) = 62,9273 \text{ kg}$

❖ Perhitungan Jumlah Fraksi Agregat

Mortar	FAS	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)	Kuat Tekan Beton Ringan (kg/cm ²)	Kuat Tekan Agregat Ringan (kg/cm ²)	Jumlah Fraksi (nf)
1:3	0,3	503,333	110	63,945	0,737
	0,4	311,429	110	63,945	0,657
	0,5	136,666	110	63,945	0,286
1:4	0,3	372,381	110	63,945	0,692
	0,4	168,095	110	63,945	0,439
	0,5	90,476	110	63,945	-0,563

Jumlah Fraksi Agregat Kasar (nf)

$$0,35 < (nf = \frac{\log(f'_{CB}/f'_{CM})}{\log(f'_A/f'_{CM})}) < 0,5$$

$$0,35 < (nf = \frac{\log(110/168,095)}{\log(63,945/168,095)}) = 0,439 < 0,5$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat jumlah fraksi agregat kasar sebesar 0,439 sesuai dengan syarat $0,35 < nf < 0,5$ (SNI 03-3449-2002) dengan perbandingan mortar 1:4 dan faktor air semen 0,4

❖ Perhitungan Standar Deviasi

Nilai standar deviasi yang digunakan dalam perhitungan mix design berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sebelumnya yaitu sebagai berikut:

No	Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ²) / MPa
1	28	152500	17662,5	8,63
2	28	165000	17662,5	9,34
3	28	165000	17662,5	9,34
4	28	150000	17662,5	8,49
5	28	150000	17662,5	8,49
6	28	150000	17662,5	8,49
7	28	152500	17662,5	8,63
8	28	157500	17662,5	8,92

$$\bar{X} = \frac{(8,63 + 9,34 + 9,34 + 8,49 + 8,49 + 8,49 + 8,63 + 8,92)}{8}$$

$$= 8,791 \text{ kg / cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{(8,63 - 8,791)^2 + (9,34 - 8,791)^2 + (9,34 - 8,791)^2 + (8,49 - 8,791)^2 + (8,49 - 8,791)^2 + (8,49 - 8,791)^2 + (8,63 - 8,791)^2 + (8,92 - 8,791)^2}{8}} \text{ kg / cm}^2$$

$$= 0,367 \text{ MPa}$$

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

I. Data Perencanaan

- ♦ Kuat tekan beton ringan (f'_{cB}) = 11 MPa
- ♦ Nilai tambah/margin (M) $M = k \times s$
 - dengan : M = nilai tambah
 - k = tetapan statistik (1,64)
 - s = deviasi standar (0,367 MPa)
 - M = $1,64 \times s = 1,64 \times 0,367 = 0,602$ MPa
- ♦ Kuat tekan beton ringan yang ditargetkan (f'_{cBr})
 - $f'_{cBr} = f'_{cB} + M$
 - = $11\text{MPa} + 0,602 \text{ Pa} = 11,602$ MPa
- ♦ Berat Isi beton ringan yang disyaratkan (BI_{Br}) = 1600 kg/m^3
- ♦ Semen yang digunakan PCC
- ♦ Agregat kasar ringan yang digunakan adalah agregat kasar dari limbah gelas plastik (PP) dengan sifat – sifat yang didapat dari hasil pengujian laboratorium sebagai berikut :

Sifat – sifat	Agregat Plastik
Berat Jenis, ssd	0,9068
Penyerapan Air, % berat	0,6624
Kadar Air, % berat	0,075

- ♦ 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 (ssd)	2,482
Penyerapan Air, % berat	4,603
Kadar Air, % berat	5,82

Perhitungan Rancang Campur

Kuat Tekan Adukan (Mortar) terhadap Kuat Tekan Hancur Agregat

- ♦ Berdasarkan pengujian terhadap agregat kasar ringan di laboratorium, di dapat kuat tekan hancur agregat (f'_{cA}) = 63,945 kg/cm².
- ♦ Kuat Tekan Beton Ringan yang ditargetkan (f'_{cB}) = 110 kg/cm²
- ♦ Syarat Jumlah Fraksi Agregat Kasar Ringan, n_f : $0,35 \leq n_f \leq 0,50$

Berdasarkan pengujian didapatkan data-data sebagai berikut:

$$f'_{CM} = 168,095 \text{ kg/m}^2$$

Perbandingan Mortar = 1:4

Faktor Air Semen = 0,4

$$0,35 < (n_f = \frac{\log(f'_{cB}/f'_{CM})}{\log(f'_{cA}/f'_{CM})} < 0,5$$

$$0,35 < (n_f = \frac{\log(110/168,095)}{\log(63,945/168,095)} = 0,439 < 0,5$$

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

• Semen	= 505 × 0,439	= 221,695	kg
• Air	= 202 × 0,439	= 88,678	kg
• Agregat Halus	= 2020 × 0,439	= 886,78	kg
• Agregat Kasar	= 1000 × 0,439 × 0,9068	= 398,085	kg +
Jumlah	= Bobot isi beton	= 1595,238	kg

Kebutuhan bahan untuk 4 benda uji silinder ukuran diameter 0,10 m dan tinggi 20 cm adalah sebagai berikut :

• Semen	= 221,695 × (4 × 1/4 × π × 0,10 ² × 0,2)	= 1,392	kg
• Air	= 88,678 × (4 × 1/4 × π × 0,10 ² × 0,2)	= 0,557	kg
• Agregat Halus	= 886,78 × (4 × 1/4 × π × 0,10 ² × 0,2)	= 5,571	kg
• Agregat Kasar	= 398,085 × (4 × 1/4 × π × 0,10 ² × 0,2)	= 2,501	kg

Kebutuhan bahan untuk 1 benda uji silinder ukuran diameter 0,15 m dan tinggi 0,3 adalah sebagai berikut :

- Semen = $221,695 \times (1 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3)$ = 1,175 kg
- Air = $88,678 \times (1 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3)$ = 0,470 kg
- Agregat Halus = $886,78 \times (1 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3)$ = 4,701 kg
- Agregat Kasar = $398,085 \times (1 \times 1/4 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3)$ = 2,110 kg

Kebutuhan Total bahan untuk 4 buah silinder ukuran diameter 0,10 m tinggi 0,20 m dan 1 buah silinder ukuran diameter 0,15 cm dan tinggi 0,30 m adalah sebagai berikut:

- Semen = 1,382 kg + 1,175 kg = 2,557 kg
- Air = 0,557 kg + 0,470 kg = 1,027 kg
- Agregat Halus = 5,571 kg + 4,701 kg = 10,272 kg
- Agregat Kasar = 2,501 kg + 2,110 kg = 4,611 kg

❖ Perhitungan Jumlah Fraksi Agregat

Mortar	FAS	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)	Kuat Tekan Beton Ringan (kg/cm ²)	Kuat Tekan Agregat Ringan (kg/cm ²)	Jumlah Fraksi (nf)
1:3	0,3	503,333	110	63,945	0,737
	0,4	311,429	110	63,945	0,657
	0,5	136,666	110	63,945	0,286
1:4	0,3	372,381	110	63,945	0,692
	0,4	168,095	110	63,945	0,439
	0,5	90,476	110	63,945	-0,563

Jumlah Fraksi Agregat Kasar (nf)

$$0,35 < (nf = \frac{\log(f'_{CB}/f'_{CM})}{\log(f'_{A}/f'_{CM})}) < 0,5$$

$$0,35 < (nf = \frac{\log(110/168,095)}{\log(63,945/168,095)}) = 0,439 < 0,5$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat jumlah fraksi agregat kasar sebesar 0,439 sesuai dengan syarat $0,35 < nf < 0,5$ (SNI 03-3449-2002) dengan perbandingan mortar 1:4 dan faktor air semen 0,4

❖ Perhitungan Standar Deviasi

Nilai standar deviasi yang digunakan dalam perhitungan mix design berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sebelumnya yaitu dengan menggunakan data dari pengujian standar deviasi untuk HDPE sebagai berikut:

No	Umur (hari)	Beban (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan Beton (N/mm ²) / MPa
1	28	152500	17662,5	8,63
2	28	165000	17662,5	9,34
3	28	165000	17662,5	9,34
4	28	150000	17662,5	8,49
5	28	150000	17662,5	8,49
6	28	150000	17662,5	8,49
7	28	152500	17662,5	8,63
8	28	157500	17662,5	8,92

$$\bar{X} = \frac{(8,63 + 9,34 + 9,34 + 8,49 + 8,49 + 8,49 + 8,63 + 8,92)}{8}$$

$$= 8,791 \text{ kg / cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{(8,63 - 8,791)^2 + (9,34 - 8,791)^2 + (9,34 - 8,791)^2 + (8,49 - 8,791)^2 + (8,49 - 8,791)^2 + (8,49 - 8,791)^2 + (8,63 - 8,791)^2 + (8,92 - 8,791)^2}{8}} \text{ kg / cm}^2$$

$$= 0,367 \text{ MPa}$$

DATA PENGUJIAN KUAT TEKAN UMUR 7 HARI

Sampel : Beton Ringan Agregat Daur Ulang Poli Propilen

Tanggal Pengecoran : 16 April 2009

Tanggal Pengujian : 23 April 2009

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Dimensi		Luas Permukaan (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)		
1	8,426	17500	15	30	176,7146	99,03
2	8,569	17750	15	30	176,7146	100,44
3	8,364	16250	15	30	176,7146	91,96
4	8,375	17000	15	30	176,7146	96,20
5	8,267	15500	15	30	176,7146	87,71
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 7 hari						95,07

DATA PENGUJIAN KUAT TEKAN UMUR 14 HARI

Sampel : Beton Ringan Agregat Daur Ulang Poli Propilen

Tanggal Pengecoran : 16 April 2009

Tanggal Pengujian : 30 April 2009

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Dimensi		Luas Permukaan (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)		
1	8,414	19500	15	30	176,7146	110,35
2	8,542	20000	15	30	176,7146	113,18
3	8,384	19500	15	30	176,7146	110,35
4	8,442	19500	15	30	176,7146	110,35
5	8,447	20000	15	30	176,7146	113,18
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 14 hari						111,42

DATA PENGUJIAN KUAT TEKAN UMUR 28 HARI

Sampel : Beton Ringan Agregat Daur Ulang Poli Propilen

Tanggal Pengecoran : 15 April 2009

Tanggal Pengujian : 13 Mei 2009

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Dimensi		Luas Permukaan (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)		
1	8,589	20500	15	30	176,7146	116,01
2	8,766	21000	15	30	176,7146	118,84
3	8,604	20500	15	30	176,7146	116,01
4	8,761	20500	15	30	176,7146	116,01
5	8,790	21000	15	30	176,7146	118,84
Rata – Rata Kuat Tekan Beton Umur 28 hari						117,14

DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH UMUR 7 HARI

Sampel : Beton Ringan Agregat Daur Ulang Poli Propilen

Tanggal Pengecoran : 16 April 2009

Tanggal Pengujian : 23 April 2009

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Dimensi		Kuat Tarik Belah (kg/cm ²)
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)	
1	8,297	7500	15	30	1,0610
2	8,264	5750	15	30	0,7074
3	8,672	7750	15	30	0,8842
4	8,461	6750	15	30	0,9903
Rata – Rata					0,9107

DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH UMUR 14 HARI

Sampel : Beton Ringan Agregat Daur Ulang Poli Propilen

Tanggal Pengecoran : 16 April 2009

Tanggal Pengujian : 30 April 2009

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Dimensi		Kuat Tarik Belah (MPa)
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)	
1	8,459	7500	15	30	1,0610
2	8,363	5750	15	30	0,8135
3	8,342	7750	15	30	1,0964
4	8,228	6750	15	30	0,9550
Rata – Rata					0,9815

DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH UMUR 28 HARI

Sampel : Beton Ringan Agregat Daur Ulang Poli Propilen

Tanggal Pengecoran : 15 April 2009

Tanggal Pengujian : 13 Mei 2009

No.	Berat Benda Uji (kg)	Beban (kg)	Dimensi		Kuat Tarik Belah (MPa)
			Diameter (cm)	Tinggi (cm)	
1	8,317	7500	15	30	1,0610
2	8,524	9000	15	30	1,2732
3	8,766	9500	15	30	1,3440
4	8,357	6500	15	30	0,9196
Rata – Rata					1.1495

MODULUS ELASTISITAS BETON RINGAN AGREGAT RINGAN POLI PROPILEN

Tanggal cor 15/04/09
 Tanggal Tes 13/05/09

A = Luas sampel	176.715 cm ²	Sampel	1	eh	9.7 cm
B = L aksial	202 mm	Beban	21000 kg	eg	19.3 cm
C = Diameter sampel	150 mm	Panjang sampel	300 mm	fk lateral	0.334482759
				er	14 cm
				eg	14 cm
				fk aksial	0.5

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial	g lateral	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	Ec (kg/cm ²)	μ
D	E = D/A	F	G	H = F×fk×0.01	I = G×fk×0.01	J = H/B	K = I/C	E = (S2-S1)/(ε2 - 0.00005)	μ = (εt2/εt1)/(ε2-0.000050)
Siklus 1									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	64733.4190	0.3540
1000	5.6588	1.5	1.0	0.0075	0.0033	0.000037	0.000022		
1210	6.8472	2.0250	1.1050	0.0101	0.0036	0.000050	0.000024		
2000	11.3177	4.0	1.5	0.0200	0.0050	0.000099	0.000033		
3000	16.9765	6.5	2.0	0.0325	0.0067	0.000161	0.000045		
4000	22.6353	10.0	3.0	0.0500	0.0100	0.000248	0.000067		
5000	28.2941	13.0	4.0	0.0650	0.0134	0.000322	0.000089		
6000	33.9530	17.0	6.0	0.0850	0.0201	0.000421	0.000134		
7000	39.6118	21.0	8.0	0.1050	0.0268	0.000520	0.000178		
8000	45.2706	26.0	10.5	0.1300	0.0351	0.000644	0.000234		
7000	39.6118	26.0	10.5	0.1300	0.0351	0.000644	0.000234		
6000	33.9530	25.5	10.5	0.1275	0.0351	0.000631	0.000234		
5000	28.2941	24.0	10.5	0.1200	0.0351	0.000594	0.000234		
4000	22.6353	22.0	9.0	0.1100	0.0301	0.000545	0.000201		
3000	16.9765	18.0	7.5	0.0900	0.0251	0.000446	0.000167		
2000	11.3177	15.0	4.0	0.0750	0.0134	0.000371	0.000089		
1000	5.6588	10.5	4.5	0.0525	0.0151	0.000260	0.000100		
Siklus 2									
0	0.0000	2	2	0.0100	0.0067	0.000050	0.000045	70397.7519	0.3465
1000	5.6588	3.0	2.0	0.0150	0.0067	0.000074	0.000045		
2000	11.3177	6.0	3.0	0.0300	0.0100	0.000149	0.000067		
3000	16.9765	8.5	4.0	0.0425	0.0134	0.000210	0.000089		
4000	22.6353	12.0	5.5	0.0600	0.0184	0.000297	0.000123		
5000	28.2941	16.0	6.0	0.0800	0.0201	0.000396	0.000134		
6000	33.9530	19.5	8.5	0.0975	0.0284	0.000483	0.000190		
7000	39.6118	22.0	10.0	0.1100	0.0334	0.000545	0.000223		
8000	45.2706	28.0	12.0	0.1400	0.0401	0.000693	0.000268		
7000	39.6118	28.0	12.0	0.1400	0.0401	0.000693	0.000268		
6000	33.9530	28.0	12.0	0.1400	0.0401	0.000693	0.000268		
5000	28.2941	26.0	12.0	0.1300	0.0401	0.000644	0.000268		
4000	22.6353	22.0	10.0	0.1100	0.0334	0.000545	0.000223		
3000	16.9765	19.0	8.0	0.0950	0.0268	0.000470	0.000178		
2000	11.3177	14.0	6.0	0.0700	0.0201	0.000347	0.000134		
1000	5.6588	9.5	5.0	0.0475	0.0167	0.000235	0.000111		
Siklus 3									
0	0.0000	2	3	0.0100	0.0100	0.000050	0.000067	69016.3620	0.3060
1000	5.6588	4.0	3.0	0.0200	0.0100	0.000099	0.000067		
2000	11.3177	6.0	4.0	0.0300	0.0134	0.000149	0.000089		
3000	16.9765	9.0	6.0	0.0450	0.0201	0.000223	0.000134		
4000	22.6353	11.5	6.5	0.0575	0.0217	0.000285	0.000145		
5000	28.2941	16.0	8.0	0.0800	0.0268	0.000396	0.000178		
6000	33.9530	21.0	9.5	0.1050	0.0318	0.000520	0.000212		
7000	39.6118	24.0	11.0	0.1200	0.0368	0.000594	0.000245		
8000	45.2706	28.5	12.0	0.1425	0.0401	0.000705	0.000268		
7000	39.6118	28.5	12.0	0.1425	0.0401	0.000705	0.000268		
6000	33.9530	28.5	12.0	0.1425	0.0401	0.000705	0.000268		
5000	28.2941	26.5	11.5	0.1325	0.0385	0.000656	0.000256		
4000	22.6353	22.0	10.5	0.1100	0.0351	0.000545	0.000234		
3000	16.9765	19.0	9.0	0.0950	0.0301	0.000470	0.000201		
2000	11.3177	14.5	7.0	0.0725	0.0234	0.000359	0.000156		
1000	5.6588	9.5	5.5	0.0475	0.0184	0.000235	0.000123		
Rata - rata									

MODULUS ELASTISITAS BETON RINGAN AGREGAT RINGAN POLI PROPILEN

Tanggal cor 15/04/09
 Tanggal Tes 13/05/09

A = Luas sampel	176.715 cm ²	Sampel	2	eh	9.60	cm
B = L aksial	202 mm	Beban	20500 kg	eg	18.90	cm
C = Diameter sampel	150 mm	Panjang sampel	300 mm	fk lateral	0.336842105	
				er	14 cm	
				eg	14 cm	
				fk aksial	0.5	

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial	g lateral	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	Ec (kg/cm ²)	μ
D	E = D/A	F	G	H = F×fk×0.01	I = G×fk×0.01	J = H/B	K = I/C	E = (S2-S1)/(ε2 - 0.00005)	μ = (εt2/εt1)/(ε2-0.000050)
Siklus 1									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	71569.5907	0.3432
806	4.5610	2.0150	0.806	0.0101	0.0027	0.000050	0.000018		
1000	5.6588	2.5	1.0	0.0125	0.0034	0.000062	0.000022		
2000	11.3177	4.0	1.5	0.0200	0.0051	0.000099	0.000034		
3000	16.9765	6.5	3.0	0.0325	0.0101	0.000161	0.000067		
4000	22.6353	9.5	4.0	0.0475	0.0135	0.000235	0.000090		
5000	28.2941	13.0	5.0	0.0650	0.0168	0.000322	0.000112		
6000	33.9530	16.0	6.5	0.0800	0.0219	0.000396	0.000146		
7000	39.6118	20.0	8.5	0.1000	0.0286	0.000495	0.000191		
8000	45.2706	25.0	9.5	0.1250	0.0320	0.000619	0.000213		
7000	39.6118	25.0	9.0	0.1250	0.0303	0.000619	0.000202		
6000	33.9530	25.0	9.0	0.1250	0.0303	0.000619	0.000202		
5000	28.2941	25.0	9.0	0.1250	0.0303	0.000619	0.000202		
4000	22.6353	25.0	9.0	0.1250	0.0303	0.000619	0.000202		
3000	16.9765	24.5	9.0	0.1225	0.0303	0.000606	0.000202		
2000	11.3177	19.5	8.0	0.0975	0.0269	0.000483	0.000180		
1000	5.6588	3.0	6.0	0.0150	0.0202	0.000074	0.000135		
Siklus 2									
0	0.0000	0.0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	68098.5913	0.3088
1000	5.6588	2.0	0.5	0.0100	0.0017	0.000050	0.000011		
2000	11.3177	5.0	1.5	0.0250	0.0051	0.000124	0.000034		
3000	16.9765	7.5	2.5	0.0375	0.0084	0.000186	0.000056		
4000	22.6353	12.5	4.5	0.0625	0.0152	0.000309	0.000101		
5000	28.2941	14.0	5.5	0.0700	0.0185	0.000347	0.000124		
6000	33.9530	17.5	6.5	0.0875	0.0219	0.000433	0.000146		
7000	39.6118	20.0	8.0	0.1000	0.0269	0.000495	0.000180		
8000	45.2706	25.5	8.5	0.1275	0.0286	0.000631	0.000191		
7000	39.6118	25.5	8.5	0.1275	0.0286	0.000631	0.000191		
6000	33.9530	25.5	8.5	0.1275	0.0286	0.000631	0.000191		
5000	28.2941	25.5	8.5	0.1275	0.0286	0.000631	0.000191		
4000	22.6353	25.5	8.5	0.1275	0.0286	0.000631	0.000191		
3000	16.9765	20.0	8.5	0.1000	0.0286	0.000495	0.000191		
2000	11.3177	15.5	6.0	0.0775	0.0202	0.000384	0.000135		
1000	5.6588	9.5	3.5	0.0475	0.0118	0.000235	0.000079		
Siklus 3									
0	0.000000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	67090.0518	0.3349
1000	5.658829	1.0	0.5	0.0050	0.0017	0.000025	0.000011		
1403	7.939337	2.0075	0.7015	0.0100	0.0024	0.000050	0.000016		
2000	11.317658	3.5	1.0	0.0175	0.0034	0.000087	0.000022		
3000	16.976488	7.0	2.5	0.0350	0.0084	0.000173	0.000056		
4000	22.635317	11.0	4.0	0.0550	0.0135	0.000272	0.000090		
5000	28.294146	14.0	6.0	0.0700	0.0202	0.000347	0.000135		
6000	33.952975	17.0	7.0	0.0850	0.0236	0.000421	0.000157		
7000	39.611804	21.0	8.5	0.1050	0.0286	0.000520	0.000191		
8000	45.270634	24.5	9.0	0.1225	0.0303	0.000606	0.000202		
7000	39.611804	24.5	9.0	0.1225	0.0303	0.000606	0.000202		
6000	33.952975	24.5	9.0	0.1225	0.0303	0.000606	0.000202		
5000	28.294146	24.5	9.0	0.1225	0.0303	0.000606	0.000202		
4000	22.635317	24.5	12.0	0.1225	0.0404	0.000606	0.000269		
3000	16.976488	20.0	8.0	0.1000	0.0269	0.000495	0.000180		
2000	11.317658	16.0	6.5	0.0800	0.0219	0.000396	0.000146		
1000	5.658829	9.0	3.5	0.0450	0.0118	0.000223	0.000079		
Rata-rata								68919.41124	0.328992612

MODULUS ELASTISITAS BETON RINGAN AGREGAT RINGAN POLI PROPILEN

Tanggal cor 15/04/09
 Tanggal Tes 13/05/09

A = Luas sampel	176.715 cm ²	Sampel	3	eh	9.60	cm
B = L aksial	202 mm	Beban	20500 kg	eg	18.90	cm
C = Diameter sampel	150 mm	Panjang sampel	300 mm	fk lateral	0.336842105	
				er	14 cm	
				eg	14 cm	
				fk aksial	0.5	

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial	g lateral	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	Ec (kg/cm ²)	μ
D	E = D/A	F	G	H = F×fk×0.01	I = G×fk×0.01	J = H/B	K = I/C	E = (S2-S1)/(ε2 - 0.00005)	μ = (ε2/ε1)/(ε2-0.000050)
Siklus 1									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	57154.1748	0.3402
1000	5.6588	2.0	1.0	0.0100	0.0034	0.000050	0.000022		
2000	11.3177	5.0	2.0	0.0250	0.0067	0.000124	0.000045		
3000	16.9765	7.5	3.0	0.0375	0.0101	0.000186	0.000067		
4000	22.6353	12.0	4.5	0.0600	0.0152	0.000297	0.000101		
5000	28.2941	17.0	6.0	0.0850	0.0202	0.000421	0.000135		
6000	33.9530	22.0	7.5	0.1100	0.0253	0.000545	0.000168		
7000	39.6118	24.0	9.0	0.1200	0.0303	0.000594	0.000202		
8000	45.2706	30.0	11.5	0.1500	0.0387	0.000743	0.000258		
7000	39.6118	30.0	11.5	0.1500	0.0387	0.000743	0.000258		
6000	33.9530	30.0	11.5	0.1500	0.0387	0.000743	0.000258		
5000	28.2941	30.0	11.5	0.1500	0.0387	0.000743	0.000258		
4000	22.6353	30.0	11.5	0.1500	0.0387	0.000743	0.000258		
3000	16.9765	27.0	11.0	0.1350	0.0371	0.000668	0.000247		
2000	11.3177	22.0	9.0	0.1100	0.0303	0.000545	0.000202		
1000	5.6588	14.0	6.5	0.0700	0.0219	0.000347	0.000146		
Siklus 2									
0	0.0000	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	60389.3168	0.3424
1000	5.6588	2.0	0.0	0.0100	0.0000	0.000050	0.000000		
2000	11.3177	5.5	1.5	0.0275	0.0051	0.000136	0.000034		
3000	16.9765	9.0	3.0	0.0450	0.0101	0.000223	0.000067		
4000	22.6353	14.0	3.5	0.0700	0.0118	0.000347	0.000079		
5000	28.2941	17.0	4.5	0.0850	0.0152	0.000421	0.000101		
6000	33.9530	21.0	7.0	0.1050	0.0236	0.000520	0.000157		
7000	39.6118	24.0	8.5	0.1200	0.0286	0.000594	0.000191		
8000	45.2706	28.5	10.0	0.1425	0.0337	0.000705	0.000225		
7000	39.6118	31.5	10.0	0.1575	0.0337	0.000780	0.000225		
6000	33.9530	28.5	10.0	0.1425	0.0337	0.000705	0.000225		
5000	28.2941	28.5	10.0	0.1425	0.0337	0.000705	0.000225		
4000	22.6353	28.5	10.0	0.1425	0.0337	0.000705	0.000225		
3000	16.9765	25.0	9.5	0.1250	0.0320	0.000619	0.000213		
2000	11.3177	18.0	7.5	0.0900	0.0253	0.000446	0.000168		
1000	5.6588	12.0	4.5	0.0600	0.0152	0.000297	0.000101		
Siklus 3									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	63867.9185	0.3301
323	1.8278	0.9690	0.0	0.0048	0.0000	0.000050	0.000000		
1000	5.6588	3.0	0.0	0.0150	0.0000	0.000074	0.000000		
2000	11.3177	6.5	1.0	0.0325	0.0034	0.000161	0.000022		
3000	16.9765	9.0	3.0	0.0450	0.0101	0.000223	0.000067		
4000	22.6353	14.5	4.5	0.0725	0.0152	0.000359	0.000101		
5000	28.2941	18.0	5.5	0.0900	0.0185	0.000446	0.000124		
6000	33.9530	22.0	7.0	0.1100	0.0236	0.000545	0.000157		
7000	39.6118	26.0	8.5	0.1300	0.0286	0.000644	0.000191		
8000	45.2706	29.5	10.0	0.1475	0.0337	0.000730	0.000225		
7000	39.6118	29.5	10.0	0.1475	0.0337	0.000730	0.000225		
6000	33.9530	29.5	10.0	0.1475	0.0337	0.000730	0.000225		
5000	28.2941	29.5	10.0	0.1475	0.0337	0.000730	0.000225		
4000	22.6353	29.5	10.0	0.1475	0.0337	0.000730	0.000225		
3000	16.9765	25.5	9.0	0.1275	0.0303	0.000631	0.000202		
2000	11.3177	20.0	7.0	0.1000	0.0236	0.000495	0.000157		
1000	5.6588	13.0	4.0	0.0650	0.0135	0.000322	0.000090		
Rata-rata								60470.47002	0.33756732

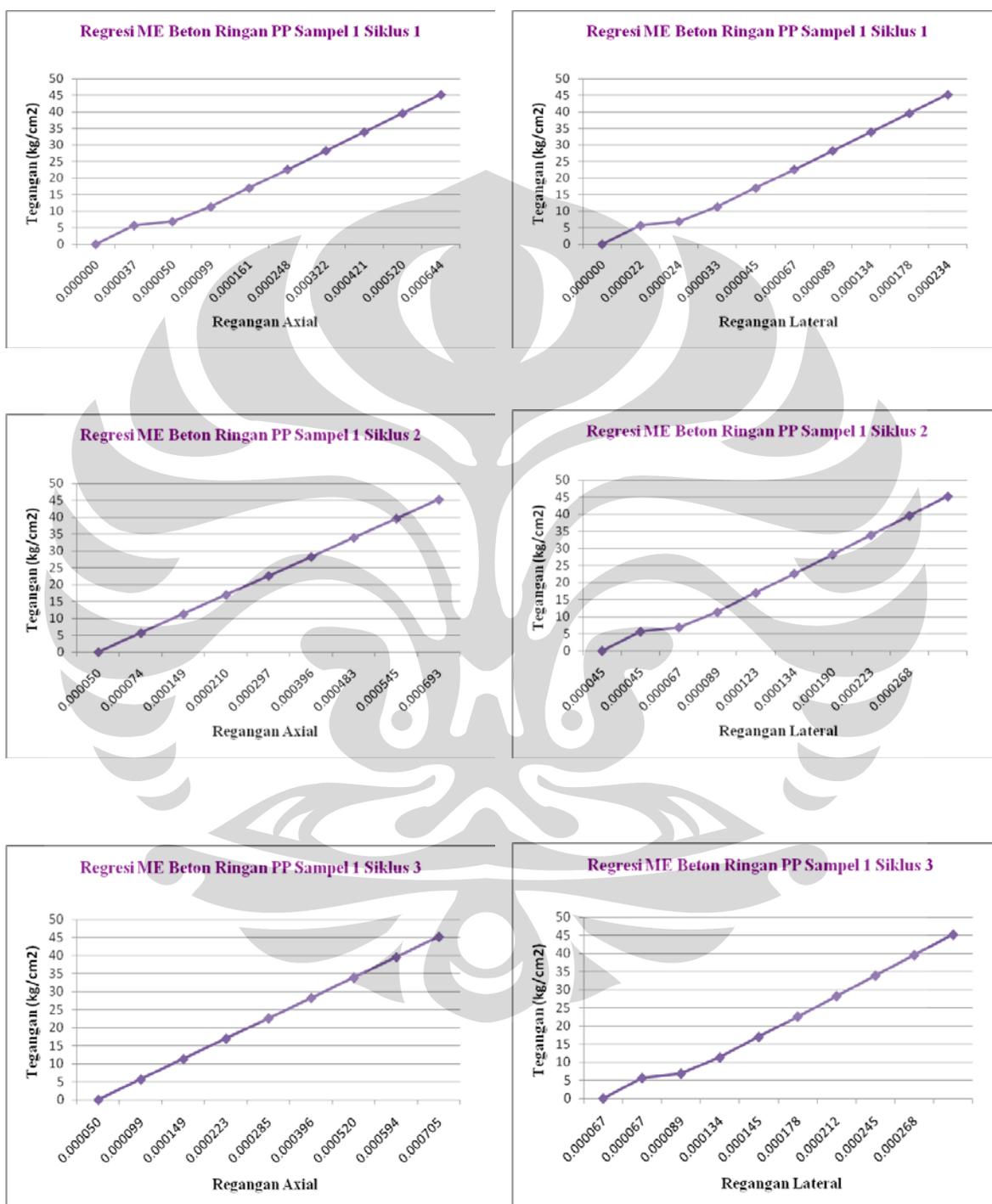
MODULUS ELASTISITAS BETON RINGAN AGREGAT RINGAN POLI PROPILEN

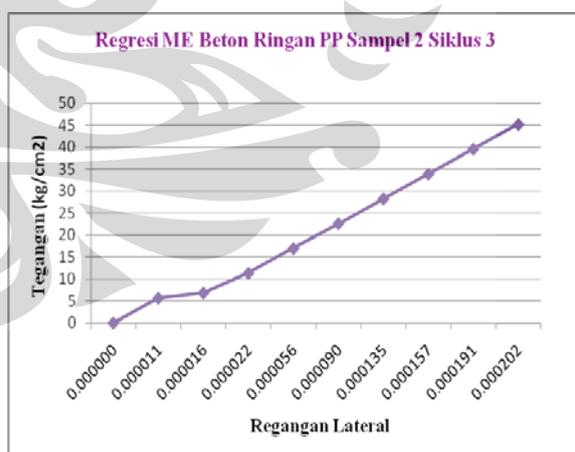
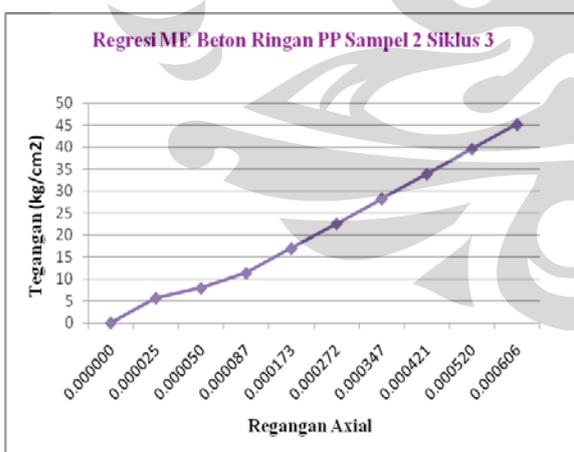
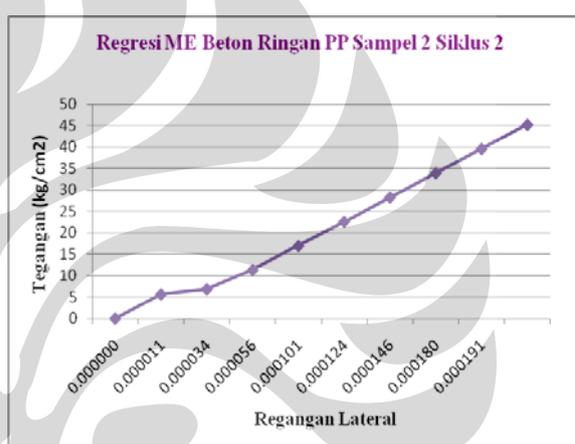
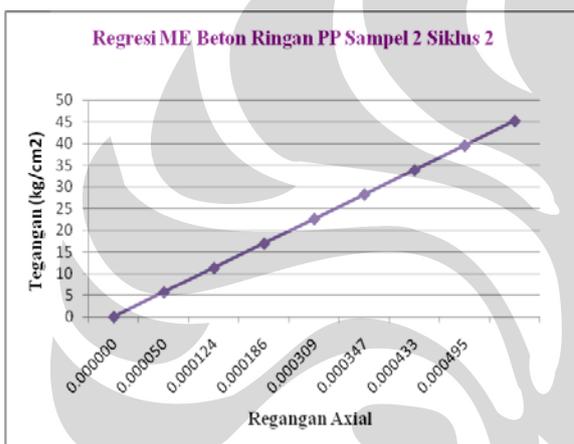
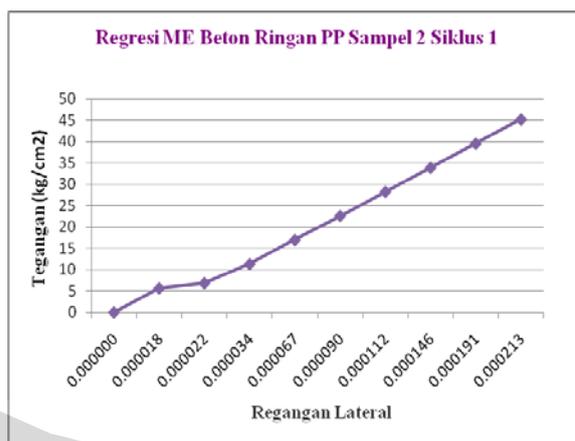
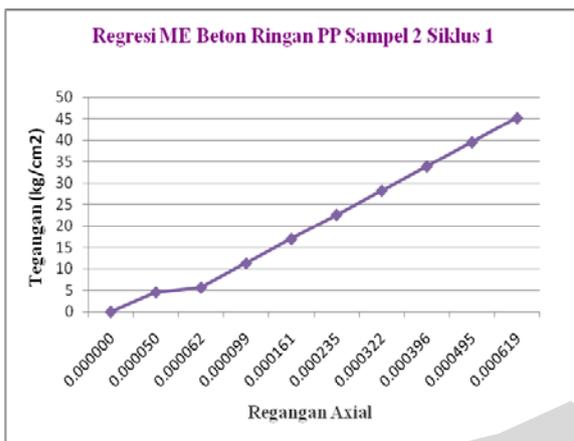
Tanggal cor 15/04/09
 Tanggal Tes 13/05/09

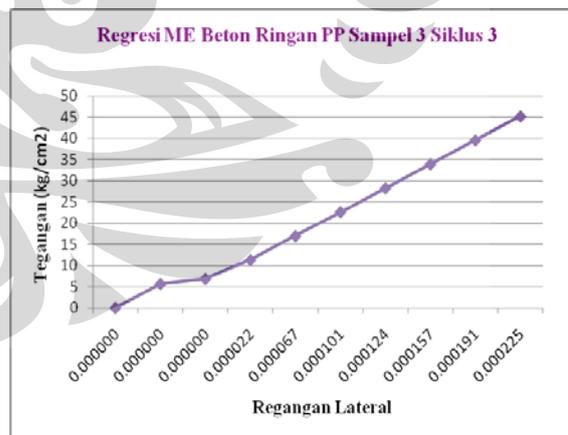
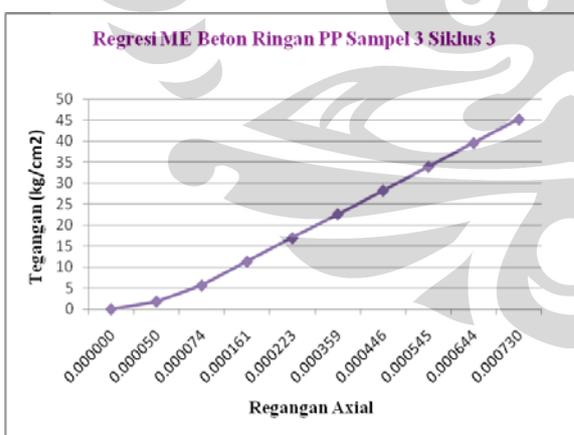
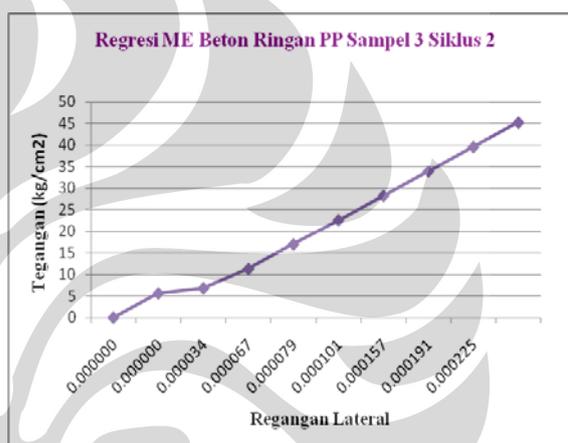
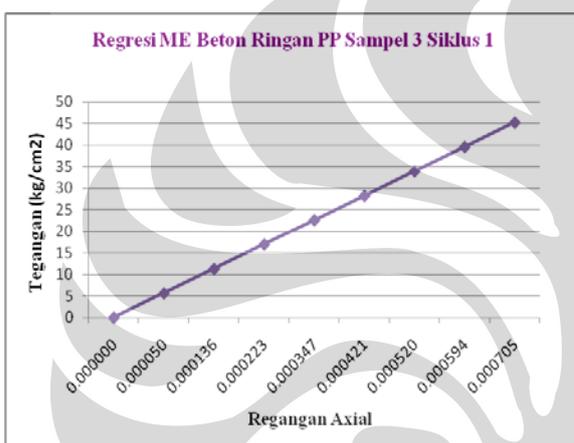
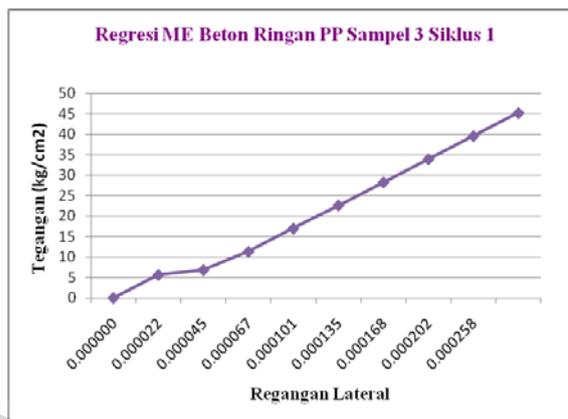
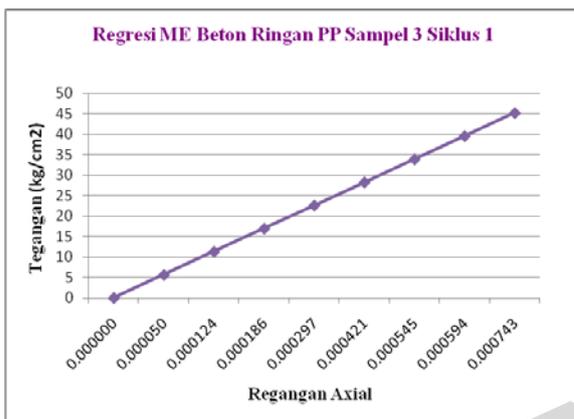
A = Luas sampel	176.715 cm ²	Sampel	4	eh	9.70	cm
B = L aksial	202 mm	Beban	21000 kg	eg	19.30	cm
C = Diameter sampel	150 mm	Panjang sampel	300 mm	fk lateral	0.334482759	
				er		14 cm
				eg		14 cm
				fk aksial		0.5

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial	g lateral	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	Ec (kg/cm ²)	μ
D	E = D/A	F	G	H = F×fk×0.01	I = G×fk×0.01	J = H/B	K = I/C	E = (S2-S1)/(ε2 - 0.00005)	μ = (ε2/ε1)/(ε2-0.000050)
Siklus 1									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000		
40	0.2264	0.1999	0.0399	0.0010	0.0001	0.000050	0.000001		
1000	5.6588	5.0	1.0	0.0250	0.0033	0.000124	0.000022		
2000	11.3177	8.5	2.0	0.0425	0.0067	0.000210	0.000045		
3000	16.9765	11.5	3.0	0.0575	0.0100	0.000285	0.000067		
4000	22.6353	17.0	4.0	0.0850	0.0134	0.000421	0.000089		
5000	28.2941	19.5	5.0	0.0975	0.0167	0.000483	0.000111		
6000	33.9530	23.5	7.0	0.1175	0.0234	0.000582	0.000156		
7000	39.6118	27.5	9.0	0.1375	0.0301	0.000681	0.000201		
8000	45.2706	34.0	11.0	0.1700	0.0368	0.000842	0.000245		
7000	39.6118	34.0	11.0	0.1700	0.0368	0.000842	0.000245		
6000	33.9530	34.0	11.0	0.1700	0.0368	0.000842	0.000245		
5000	28.2941	34.0	11.0	0.1700	0.0368	0.000842	0.000245		
4000	22.6353	34.0	11.0	0.1700	0.0368	0.000842	0.000245		
3000	16.9765	33.5	10.0	0.1675	0.0334	0.000829	0.000223		
2000	11.3177	28.0	9.0	0.1400	0.0301	0.000693	0.000201		
1000	5.6588	22.5	7.0	0.1125	0.0234	0.000557	0.000156		
								56903.9689	0.3087
Siklus 2									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000		
450	2.5465	2.0250	0.2250	0.0101	0.0008	0.000050	0.000005		
1000	5.6588	4.5	0.5	0.0225	0.0017	0.000111	0.000011		
2000	11.3177	7.0	2.0	0.0350	0.0067	0.000173	0.000045		
3000	16.9765	12.0	3.0	0.0600	0.0100	0.000297	0.000067		
4000	22.6353	20.0	4.0	0.1000	0.0134	0.000495	0.000089		
5000	28.2941	18.5	5.5	0.0925	0.0184	0.000458	0.000123		
6000	33.9530	22.0	7.0	0.1100	0.0234	0.000545	0.000156		
7000	39.6118	26.0	8.0	0.1300	0.0268	0.000644	0.000178		
8000	45.2706	30.5	9.5	0.1525	0.0318	0.000755	0.000212		
7000	39.6118	30.5	9.5	0.1525	0.0318	0.000755	0.000212		
6000	33.9530	30.5	9.5	0.1525	0.0318	0.000755	0.000212		
5000	28.2941	30.5	9.5	0.1525	0.0318	0.000755	0.000212		
4000	22.6353	30.0	9.5	0.1500	0.0318	0.000743	0.000212		
3000	16.9765	28.0	9.0	0.1400	0.0301	0.000693	0.000201		
2000	11.3177	24.0	7.5	0.1200	0.0251	0.000594	0.000167		
1000	5.6588	18.5	6.0	0.0925	0.0201	0.000458	0.000134		
								60605.9017	0.2934
Siklus 3									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000		
806	4.5610	2.0150	0.403	0.0101	0.0013	0.000050	0.000009		
1000	5.6588	2.5	0.5	0.0125	0.0017	0.000062	0.000011		
2000	11.3177	5.0	1.0	0.0250	0.0033	0.000124	0.000022		
3000	16.9765	7.5	2.0	0.0375	0.0067	0.000186	0.000045		
4000	22.6353	12.5	3.5	0.0625	0.0117	0.000309	0.000078		
5000	28.2941	16.0	5.0	0.0800	0.0167	0.000396	0.000111		
6000	33.9530	20.0	6.0	0.1000	0.0201	0.000495	0.000134		
7000	39.6118	24.0	7.5	0.1200	0.0251	0.000594	0.000167		
8000	45.2706	29.5	9.0	0.1475	0.0301	0.000730	0.000201		
7000	39.6118	29.5	9.0	0.1475	0.0301	0.000730	0.000201		
6000	33.9530	29.5	9.0	0.1475	0.0301	0.000730	0.000201		
5000	28.2941	29.5	9.0	0.1475	0.0301	0.000730	0.000201		
4000	22.6353	26.0	9.0	0.1300	0.0301	0.000644	0.000201		
3000	16.9765	22.5	7.5	0.1125	0.0251	0.000557	0.000167		
2000	11.3177	18.0	5.5	0.0900	0.0184	0.000446	0.000123		
1000	5.6588	13.0	3.5	0.0650	0.0117	0.000322	0.000078		
								59849.6555	0.2818
Rata-rata								59119.84203	0.294654771

GRAFIK REGANGAN AKSIAL DAN REGANGAN LATERAL BETON RINGAN POLI PROPILEN









MODULUS ELASTISITAS PLASTIK POLI PROPILEN

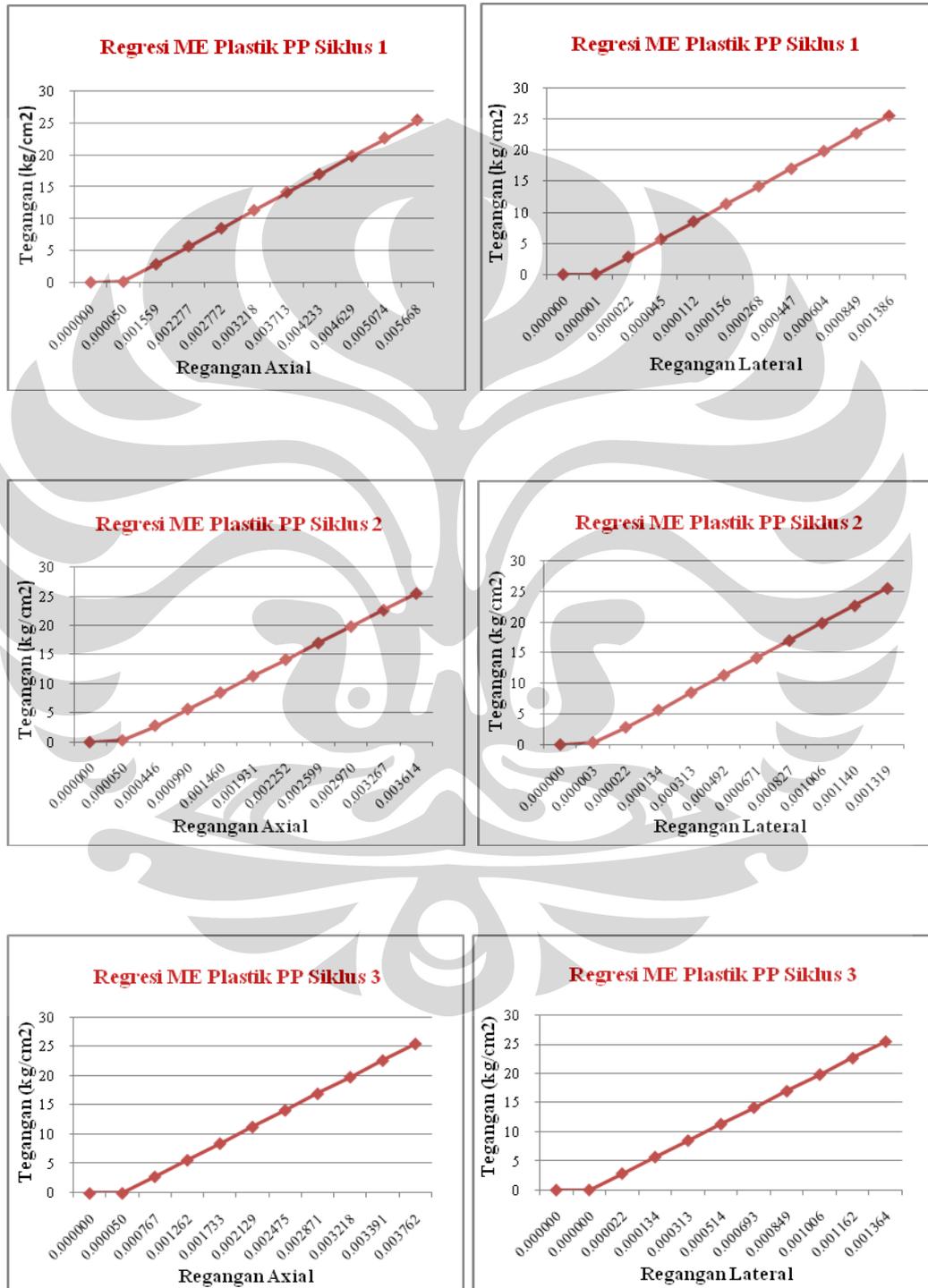
Tanggal Tes 2/7/2009

A = Luas sampel 176.715 cm² eh 8.9 cm
 B = L aksial 202 mm eg 18 cm
 C = Diameter sampel 148 mm Panjang sampel 298 mm fk lateral 0.330855019
 er 14.3 cm
 eg 14.3 cm
 fk aksial 0.5

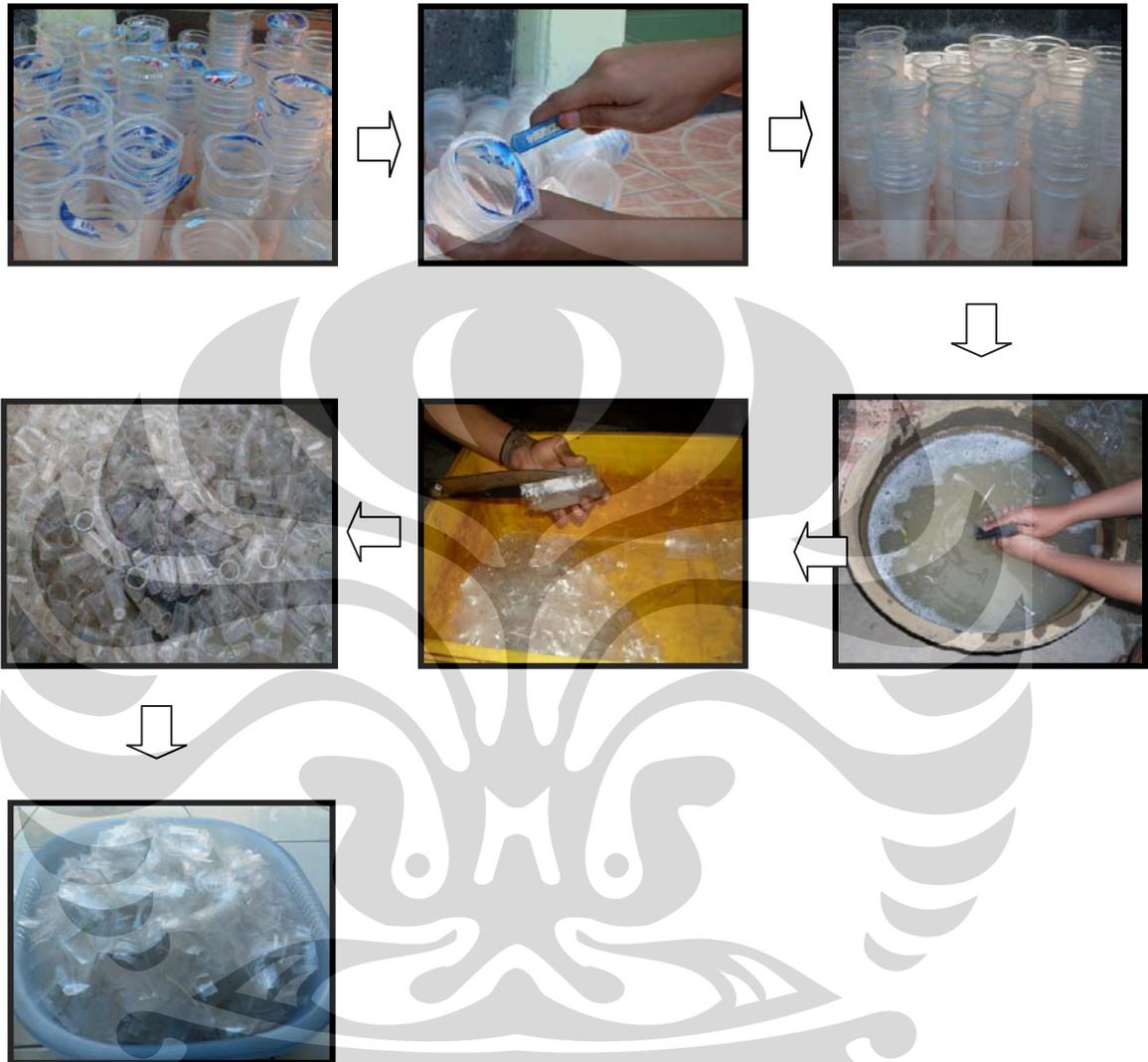
Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)	g aksial	g lateral	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	Ec (kg/cm ²)	μ
D	E = D/A	F	G	H = F×fk×0.01	I = G×fk×0.01	J = H/B	K = I/C	E = (S2-S1)/(ε2 - 0.00005)	μ = (εt2/εt1)/(ε2-0.000050)
Siklus 1									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	4516.3331	0.2466
16	0.0905	2.0160	0.032	0.0101	0.0001	0.000050	0.000001		
500	2.8294	63.0	1.0	0.3150	0.0033	0.001559	0.000022		
1000	5.6588	92.0	2.0	0.4600	0.0066	0.002277	0.000045		
1500	8.4882	112.0	5.0	0.5600	0.0165	0.002772	0.000112		
2000	11.3177	130.0	7.0	0.6500	0.0232	0.003218	0.000156		
2500	14.1471	150.0	12.0	0.7500	0.0397	0.003713	0.000268		
3000	16.9765	171.0	20.0	0.8550	0.0662	0.004233	0.000447		
3500	19.8059	187.0	27.0	0.9350	0.0893	0.004629	0.000604		
4000	22.6353	205.0	38.0	1.0250	0.1257	0.005074	0.000849		
4500	25.4647	229.0	62.0	1.1450	0.2051	0.005668	0.001386		
4000	22.6353	227.0	62.0	1.1350	0.2051	0.005619	0.001386		
3500	19.8059	227.0	62.0	1.1350	0.2051	0.005619	0.001386		
3000	16.9765	227.0	62.0	1.1350	0.2051	0.005619	0.001386		
2500	14.1471	212.0	54.0	1.0600	0.1787	0.005248	0.001207		
2000	11.3177	205.0	50.0	1.0250	0.1654	0.005074	0.001118		
1500	8.4882	198.0	47.0	0.9900	0.1555	0.004901	0.001051		
1000	5.6588	178.0	35.0	0.8900	0.1158	0.004406	0.000782		
500	2.8294	105.0	26.0	0.5250	0.0860	0.002599	0.000581		
Siklus 2									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	7056.3454	0.3694
56	0.3169	2.0158	0.1120	0.0101	0.0004	0.000050	0.000003		
500	2.8294	18.0	1.0	0.0900	0.0033	0.000446	0.000022		
1000	5.6588	40.0	6.0	0.2000	0.0199	0.000990	0.000134		
1500	8.4882	59.0	14.0	0.2950	0.0463	0.001460	0.000313		
2000	11.3177	78.0	22.0	0.3900	0.0728	0.001931	0.000492		
2500	14.1471	91.0	30.0	0.4550	0.0993	0.002252	0.000671		
3000	16.9765	105.0	37.0	0.5250	0.1224	0.002599	0.000827		
3500	19.8059	120.0	45.0	0.6000	0.1489	0.002970	0.001006		
4000	22.6353	132.0	51.0	0.6600	0.1687	0.003267	0.001140		
4500	25.4647	146.0	59.0	0.7300	0.1952	0.003614	0.001319		
4000	22.6353	146.0	59.0	0.7300	0.1952	0.003614	0.001319		
3500	19.8059	146.0	59.0	0.7300	0.1952	0.003614	0.001319		
3000	16.9765	145.0	59.0	0.7250	0.1952	0.003589	0.001319		
2500	14.1471	138.0	56.0	0.6900	0.1853	0.003416	0.001252		
2000	11.3177	127.0	50.0	0.6350	0.1654	0.003144	0.001118		
1500	8.4882	114.0	43.0	0.5700	0.1423	0.002822	0.000961		
1000	5.6588	95.0	35.0	0.4750	0.1158	0.002351	0.000782		
500	2.8294	76.0	23.0	0.3800	0.0761	0.001881	0.000514		
Siklus 3									
0	0.0000	0	0	0.0000	0.0000	0.000000	0.000000	6854.8426	0.3673
3	0.0170	0.1860	0.0006	0.0009	0.0000	0.000050	0.000000		
500	2.8294	31.0	1.0	0.1550	0.0033	0.000767	0.000022		
1000	5.6588	51.0	6.0	0.2550	0.0199	0.001262	0.000134		
1500	8.4882	70.0	14.0	0.3500	0.0463	0.001733	0.000313		
2000	11.3177	86.0	23.0	0.4300	0.0761	0.002129	0.000514		
2500	14.1471	100.0	31.0	0.5000	0.1026	0.002475	0.000693		
3000	16.9765	116.0	38.0	0.5800	0.1257	0.002871	0.000849		
3500	19.8059	130.0	45.0	0.6500	0.1489	0.003218	0.001006		
4000	22.6353	137.0	52.0	0.6850	0.1720	0.003391	0.001162		
4500	25.4647	152.0	61.0	0.7600	0.2018	0.003762	0.001364		
4000	22.6353	152.0	61.0	0.7600	0.2018	0.003762	0.001364		
3500	19.8059	152.0	61.0	0.7600	0.2018	0.003762	0.001364		
3000	16.9765	150.0	59.0	0.7500	0.1952	0.003713	0.001319		
2500	14.1471	140.0	56.0	0.7000	0.1853	0.003465	0.001252		
2000	11.3177	128.0	51.0	0.6400	0.1687	0.003168	0.001140		
1500	8.4882	115.0	45.0	0.5750	0.1489	0.002847	0.001006		
1000	5.6588	98.0	34.0	0.4900	0.1125	0.002426	0.000760		
500	2.8294	78.0	23.0	0.3900	0.0761	0.001931	0.000514		
Rata - rata									

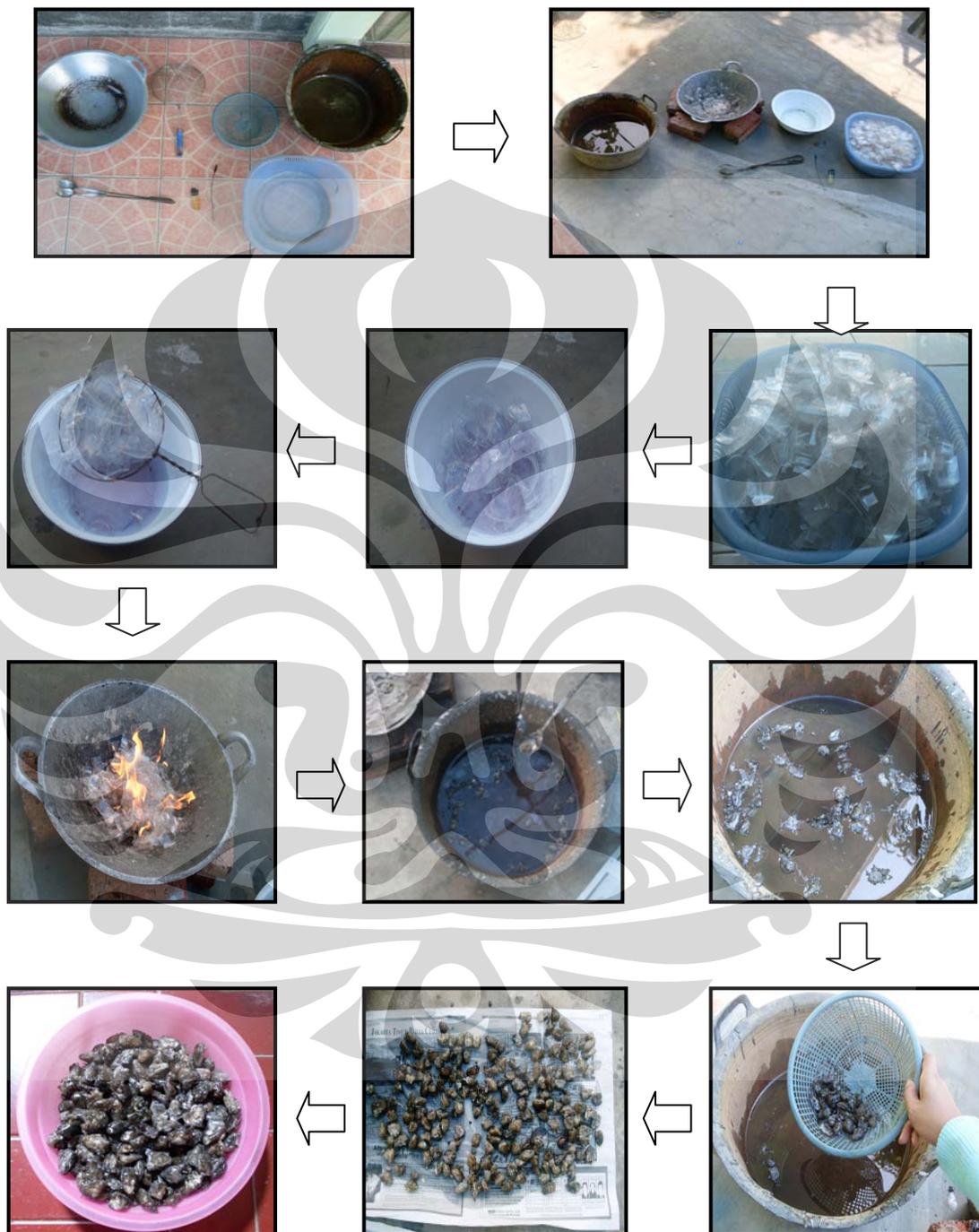
GRAFIK REGANGAN AKSIAL DAN LATERAL PLASTIK POLI PROPILEN

Spesimen Silinder Diameter 15 cm Tinggi 30 cm

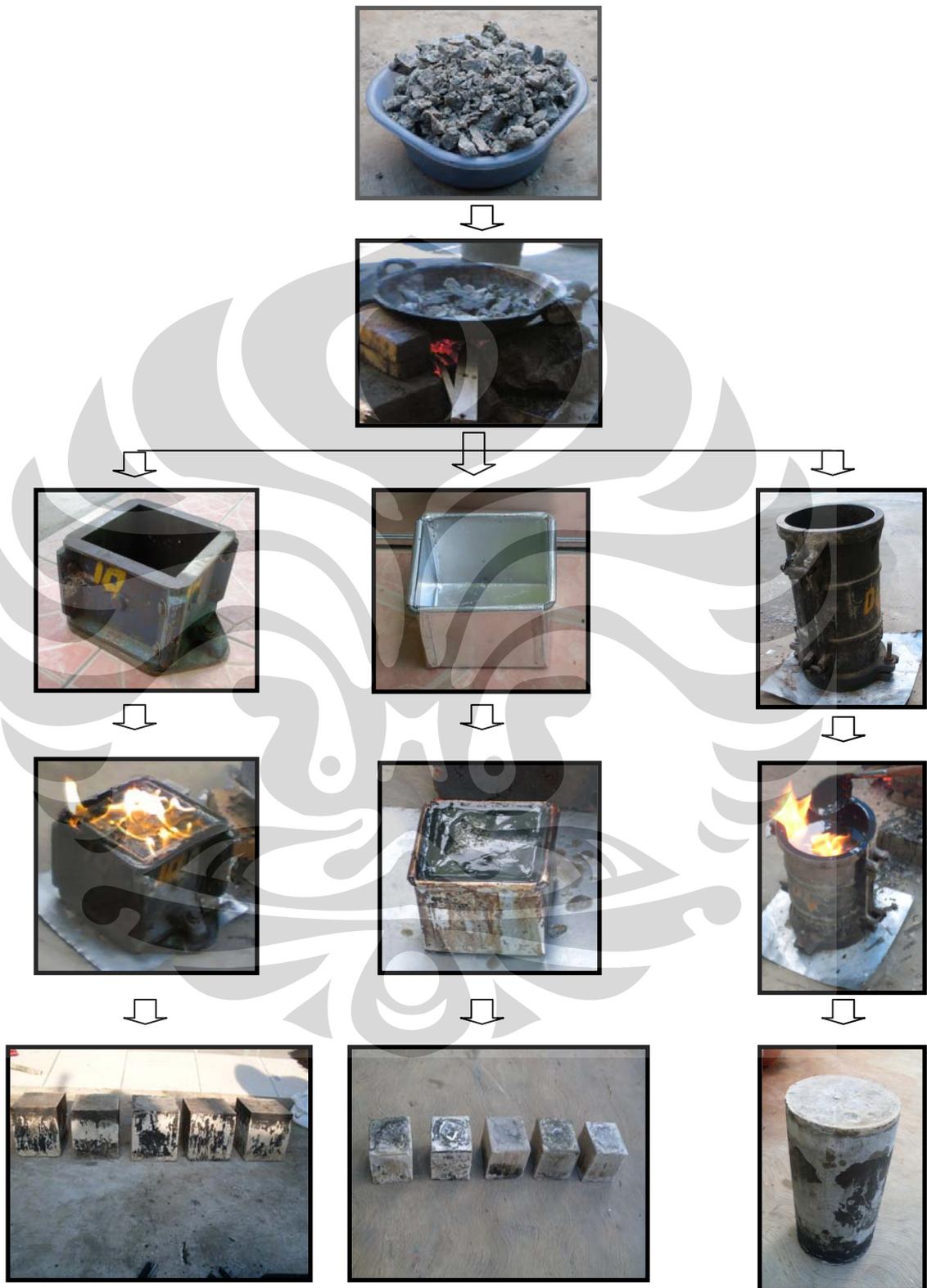


PROSES PERSIAPAN BAHAN PLASTIK PP

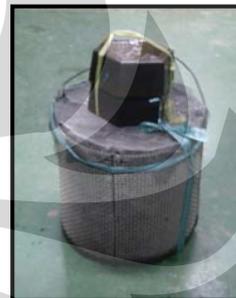


PEMBUATAN AGREGAT KASAR

PEMBUATAN BENDA UJI PLASTIK PP SPESIMEN KUBUS DAN SILINDER



PENGUJIAN AGREGAT KASAR LIMBAH PLASTIK POLI PROPILEN



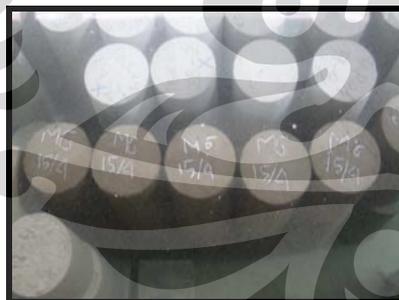
PERALATAN



PENGECORAN



BENDA UJI DAN CURING



PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON RINGAN



PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON RINGAN



PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS

