

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. PENDAHULUAN

Dalam penelitian ini akan dipelajari karakteristik agregat kasar ringan buatan yang berasal dari limbah botol plastik HDPE (high-density polyethylene) dari jenis botol pelumas kendaraan bermotor. 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).

Untuk membuat rancang campur beton ringan metode SNI 03-3449-2002 diperlukan data kuat hancur agregat (f'_{cA}) yang akan digunakan untuk memperoleh hubungan antara kuat hancur agregat (f'_{cA}) dengan kuat tekan adukan atau mortar (f'_{cM}), dimana (f'_{cA}) tidak boleh lebih besar dari (f'_{cM}).

Dikarenakan HDPE merupakan bahan yang bukan umum digunakan untuk beton ringan maka data kuat hancur agregatnya tidak terdapat didalam SNI 03-3449-2002, maka dilakukan pendekatan dengan membuat benda uji kubus ukuran (5x5x5) cm dan (15x15x15) cm sebagai sampel yang mewakili data kuat hancur agregat. Benda uji kubus yang berasal dari lelehan plastik HDPE (high-density polyethylene) ini kemudian digunakan untuk mengetahui kuat hancur agregat (f'_{cA}), dengan melakukan uji tekan terhadap kedua tipe sampel kubus tersebut, kemudian data kuat hancur agregat ini akan diperoleh dengan membuat regresi linear dari data benda uji kubus hasil pengujian laboratorium.

3.2. PENELITIAN TERHADAP BAHAN BAKU

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap agregat halus normal yaitu pasir alam dan agregat kasar ringan buatan yang berasal dari limbah plastik, sedangkan semen dan air tidak dilakukan pengujian. Sifat – sifat semen diambil dari standar pabrik dan air yang digunakan sudah memenuhi standar air baku.

3.2.1. Bahan Baku Penelitian

a. Semen

- ♦ Jenis : Semen type I (OPC)
- ♦ Merk : HOLCIM
- ♦ Sumber : PT. HOLCIM

b. Agregat Halus

- ♦ Jenis : Pasir Alam
- ♦ Asal : Cimangkok, Jawa Barat
- ♦ Sumber : PT. JAYAMIX

c. Agregat Kasar

- ♦ Jenis : Agregat Kasar Ringan Plastik
- ♦ Asal : Limbah Botol Plastik (HDPE)

d. Air

- ♦ Jenis : Air PAM
- ♦ Sumber : Laboratorium Beton FT-UI Depok

3.3. PEMBUATAN BENDA UJI & AGREGAT KASAR RINGAN HDPE

Limbah botol pelumas kendaraan bermotor dari jenis HDPE (high-density polyethylene) dibuat menjadi potongan-potongan kecil-kecil untuk memudahkan pada saat proses melelehkan dengan cara dibakar, potongan-potongan plastik tersebut kemudian direndam kedalam wadah yang berisi bahan bakar minyak (BBM) yang berfungsi sebagai katalisator, dalam penelitian ini digunakan minyak tanah karena titik bakarnya relatif rendah dibanding jenis BBM yang lain sehingga panas yang dihasilkan tidak terlalu tinggi, selain itu minyak tanah ini dapat juga digunakan untuk membersihkan sisa-sisa oli pelumas pada bahan baku plastik tsb.

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

Kemudian potongan-potongan plastik dimasukkan ke dalam wadah berbahan teflon atau wadah yang dilapisi dengan bahan anti lengket. Lalu potongan-potongan plastik tersebut dibakar dengan menutup bagian atas wadah agar tidak terjadi perpindahan panas ke luar sehingga suhu yang diperlukan untuk melelehkan plastik dapat tercapai, setelah proses pembakaran selesai hasil lelehan dipanaskan kembali menggunakan alat pemanas dengan panas yang konstan hal ini dimaksudkan agar suhu pada lelehan plastik tetap terjaga pada saat dilakukan penuangan lelehan plastik ke dalam loyang/cetakan, ini dilakukan untuk membuat sampel kubus (5x5x5) cm dan (15x15x15) cm. Kemudian cetakan yang telah terisi oleh lelehan plastik didinginkan pada udara terbuka hingga lelehan mengeras.

Sedangkan untuk membuat agregat kasar buaatannya, lelehan plastik hasil pembakaran potongan-potongan plastik tersebut, dibiarkan hingga api yang membakar potongan-potongan plastik pada wadah pembakaran mati dengan sendirinya atau dengan menutup wadah agar api mati setelah potongan plastik terlihat telah mencair semua. Setelah itu lelehan didinginkan pada udara terbuka hingga lelehan tersebut mengeras. Hasil lelehan yang telah mengeras kemudian dikeluarkan dari dalam loyang/cetakan yang selanjutnya dipecahkan sehingga didapat pecahan-pecahan dengan ukuran-ukuran yang beragam dan bentuk yang menyerupai agregat.

3.3.1. Prosedur Pelaksanaan Pembuatan Agregat Plastik Dan Sampel Kubus Plastik

1. Siapkan alat-alat yang diperlukan untuk proses pembakaran seperti : wajan ukuran sedang atau besar, sudit/tongkat untuk mengaduk, cetakan agregat dan kubus, centong/sendok untuk memisahkan lelehan

plastik, masker, kacamata plastik, sarung tangan las/yang tebal, kompor gas/minyak dan korek api/pemantik (lampiran F-2,F-5).

2. Masukkan bahan HDPE yang telah dipotong kecil-kecil, direndam minyak tanah dan ditiriskan kedalam wajan. Bahan HDPE ini harus bersih dari sisa-sisa oli pelumas (bisa dengan minyak tanah atau detergen), karena akan menghasilkan tekstur permukaan agregat plastik yang licin dan mengkilap bila tidak benar-benar bersih (lampiran F-2).
3. Untuk wajan besar bahan yang dibakar sebaiknya ± 1500 gr dan untuk wajan kecil ± 700 gr, agar mudah mengontrol proses pembakaran dan api pembakaran tidak terlalu besar yang bisa menyebabkan penguapan bahan HDPE (lampiran F-2).
4. Jumlah maksimal wajan yang efektif digunakan secara bersamaan pada saat pembakaran adalah dua buah untuk pembuatan agregat plastik, sedangkan untuk pembuatan sampel kubus plastik (15x15x15) cm adalah 4 buah dengan komposisi 1 buah wajan besar dan 3 wajan sedang (lampiran F-2).
5. Nyalakan kompor dan taruh wajan di atasnya, agar agregat yang berada dibagian bawah dapat meleleh, untuk bagian atasnya disulut dengan pemantik secara merata sampai api benar-benar menyala dan membakar seluruh bahan yang berada dibagian atas wajan. Lakukan pemanasan kompor ± 15 menit sampai terlihat bagian bawah telah meleleh dan terbakar secara bersamaan dengan bagian atasnya (lampiran F-3).
6. Setelah api membesar maka kompor dapat dimatikan dan pindahkan wajan ketempat yang lebih luas, kemudian lanjutkan hal yang sama terhadap wajan yang kedua sambil terus mengontrol api pembakaran wajan yang pertama jangan sampai mati, bila terlihat akan mati maka taruh kembali wajan di atas kompor yang menyala (lampiran F-3).
7. Biarkan api membakar bahan pada wajan ± 30 menit, setelah itu pada permukaan wajan akan terlihat bahan HDPE yang telah meleleh sebagian tetapi bagian bawahnya belum. Kemudian gunakan

sudit/tongkat untuk membalik bahan yang berada dibagian bawah, lalu miringkan wajan agar lelehan plastik HDPE dapat mengalir kesisi bagian bawah wajan dan naikkan bahan HDPE yang belum meleleh kesisi atas wajan. Lakukan hal yang sama pada wajan yang kedua.

8. Perhatikan jumlah lelehan pada dua wajan, jika terlihat sudah cukup untuk satu buah cetakan wajan dengan ukuran ketebalan maksimal agregat plastik 3 cm, maka dapat dilakukan proses penuangan kedalam cetakan (berdasarkan pengalaman penulis 2 wajan menghasilkan lelehan untuk mengisi 3 buah cetakan wajan).
9. Pindahkan lelehan dengan menggunakan centong pada dua wajan kedalam cetakan, lalu dinginkan cetakan pada udara terbuka bila masih ada api pada lelehan plastik didalam cetakan, matikan dengan menutup permukaan cetakannya (lampiran F-11).
10. Ulangi langkah ke-7 sampai ke-9 terhadap sisa bahan HDPE yang masih dalam proses pembakaran sampai bahan HDPE pada dua wajan terbakar dan meleleh semua, sambil terus dibalik agar pembakarannya merata.
11. Kemudian untuk pembuatan sampel kubus (15x15x15) cm bedanya terletak pada volume pembakaran yang besar dan harus dibakar secara bersamaan untuk memenuhi kebutuhan volume kubus plastik. Untuk memudahkan prosesnya, penulis menyarankan agar dilakukan oleh dua orang agar memudahkan pengontrolan.
12. Langkah-langkah yang dilakukan sama, hanya saja berbeda pada saat penuangan lelehan plastik. Jadi lelehan plastik yang telah meleleh pada tahap awal dikumpulkan dalam wadah yang agak besar sebelum dituang kedalam cetakan sambil menunggu bahan HDPE meleleh semua dan dirasa cukup untuk kebutuhan volume kubus plastik. Wadah ini ditaruh diatas kompor yang menyala agar lelehan plastik tidak cepat membeku/mengeras.
13. Apabila telah tersedia lelehan yang cukup kemudian tuangkan lelehan secara bertahap, penulis melakukan tiga lapisan sambil cetakannya

diketok-ketok/digetarkan agar tidak ada udara yang terjebak didalam cetakan.

14. setelah itu dinginkan pada udara terbuka selama ± 2 jam barulah sampel kubus dapat dikeluarkan dari cetakan. Pada tahap awal pendinginan sampel yang dihasilkan tidak mengalami retak pada sisi-sisinya, namun setelah 6-12 jam berikutnya akan timbul retak yang ekstrim pada sampel dikarenakan proses pendinginan pada bagian permukaan dan dalam sampel tidak mengering secara bersamaan.
15. Untuk meminimalkan susut pada saat proses pengeringan setelah 2 jam, dapat dilakukan dengan cara curing menggunakan air es/dingin yaitu sampel yang telah dikeluarkan dari cetakan direndam didalam air tersebut sampai ± 12 jam.

3.4. PENGUJIAN AGREGAT

3.4.1. Pengujian Agregat Kasar Ringan Buatan

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

- | | |
|-----------------|---|
| ASTM C.29/C 29M | Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates. |
| ASTM C.127 | Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates. |
| ASTM C.131 | Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Agregat by Abrasion and Impact in The Los Angeles Machine. |
| ASTM C.136 | Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. |
| ASTM C.142 | Test Method for Clay Lumps and Friable Particles Aggregates. |

ASTM C.641 Test Method for Iron Staining Materials in Lightweight Concrete Aggregates.

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

Tabel 3.1 Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

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

Sumber: SNI 03-2461-91, Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan Struktural, 1991

3.4.2. Pengujian Agregat Halus Normal

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus normal berdasarkan pada standar ASTM C.33-02A, "Standard for Concrete Aggregates", dan SII 0052 – 80, "Mutu dan Cara Uji Agregat Beton". Dimana pada standar ASTM C.33-02A

dan SII 0052 – 80 terdapat pengujian agregat halus normal yang relevan dilakukan, diantaranya :

ASTM C.29	<i>Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates</i>
ASTM C.128	<i>Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates</i>
ASTM C.136	<i>Test Method for Sieve Analysis of Fine Aggregates</i>
ASTM C.177	<i>Test Method for Material Finer than 75 μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing</i>
ASTM C.40	<i>Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregate</i>

3.5. PROSEDUR PERCOBAAN AGREGAT

3.5.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

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

Proses pengujian :

1. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar 25°C selama 24 jam.
2. Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering), untuk butir yang besar pengeringan harus dilakukan satu persatu.
3. Timbang benda uji dalam keadaan jenuh permukaan kering (BJ).
4. Letakkan benda uji di dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan gelembung udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (BA). Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu kamar 25°C.
5. Masukkan benda uji ke dalam oven pada suhu (110 \pm 5)°C sampai berat tetap.
6. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama satu jam samapi tiga jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0.5 gram (BK).
7. Perhitungan :

$$\diamond \text{ Berat Jenis} = \frac{BK}{BJ - BA}$$

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

3.5.2. Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

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

Proses pengujian :

Kondisi padat dapat dilakukan dengan cara tusuk dan cara ketuk.

1. Cara Tusuk

- ♦ Isi penakar 1/3 dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- ♦ Tusuk lapisan agregat dengan 25x tusukan batang penusuk.
- ♦ Isi lagi sampai volume menjadi 2/3 penuh kemudian ratakan dan tusuk sebanyak 25x dengan batang penusuk.
- ♦ Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- ♦ Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- ♦ Tentukan berat penakar dan isinya (G) dan berat penakar itu sendiri (T).
- ♦ Catat beratnya sampai ketelitian 0.05 kg.
- ♦ Hitung berat isi agregat : $M = \frac{(G - T)}{V}$

Dimana :

- M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m³.
- G = Berat agregat dan penakar, kg.
- T = Berat penakar, kg.
- V = Volume penakar, kg.

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

Dimana :

- M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .
- s = Berat jenis agregat dalam kering oven.
- w = Kerapatan air. 998 kg/m^3 .

2. Cara Ketuk

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

Dimana :

- M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .
- G = Berat agregat dan penakar, kg.
- T = Berat penakar, kg.
- V = Volume penakar, kg .

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

Dimana :

- M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven, kg/m^3 .
- s = Berat jenis agregat dalam kering oven.
- w = Kerapatan air. 998 kg/m^3 .

Proses pengujian :

Kondisi gembur dapat dilakukan dengan cara sekop atau sendok.

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

Dimana :

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

G = Berat agregat dan penakar, kg.

T = Berat penakar, kg.

V = Volume penakar, kg .

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

Dimana :

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

s = Berat jenis agregat dalam kering oven.

w = Kerapatan air $0,998 \text{ kg/m}^3$.

3.5.3. Pengujian Analisa Ayakan Agregat Kasar Ringan

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

Proses pengujian :

1. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, 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.

3.5.4. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

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

Proses pengujian :

1. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 (tujuh) cara berikut :
 - ♦ Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm.
Jumlah bola 12 buah dengan putaran 500 putaran.
 - ♦ Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm.
Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
 - ♦ Cara C : Gradasi C, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 4,75 mm.
Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - ♦ Cara D : Gradasi D, bahan lolos 4,75 mm sampai tertahan 2,36 mm.
Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
 - ♦ Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm.
Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - ♦ Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm.
Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - ♦ Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm.
Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
2. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin Abrasi Los Angeles.
3. Putar mesin dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gradasi A, B, C, dan D 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G 1000 putaran.
4. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no.12 (1,7 mm) ; butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

5. Hitung keausan agregat :

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

Dimana :

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

3.5.5. 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.

Proses pengujian :

1. Timbang wadah tanpa benda uji
2. Timbang benda uji dan masukkan ke dalam wadah
3. Masukkan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam
4. Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan yang sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan pencuci sehingga mempermudah dalam pemisahannya.
5. Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan No. 16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan No.200 (0,075 mm) pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
6. Ulangi proses pengujian 3,4 dan 5, sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih.
7. Kembalikan semua benda uji yang tertahan saringan No. 16 (1,18 mm) dan No. 200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu

(110±5)°C, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum 0,1 % dari berat contoh

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

- ♦ Berat kering benda uji awal

$$w_3 = w_1 - w_2$$

- ♦ Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$w_5 = w_4 - w_2$$

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

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

Dimana :

w_1 = berat kering benda uji + wadah (gram)

w_2 = berat wadah (gram)

w_3 = berat kering benda uji awal (gram)

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

w_5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

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

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

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

Proses pengujian :

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 organic plate No.3

5. Jika warna larutan benda uji lebih gelap dari warna larutan standar, lebih besar dari No.3, maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak diizinkan untuk bahan campuran beton.

3.6. PENETAPAN PARAMETER CAMPURAN BETON RINGAN

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

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

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

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

Bahan yang digunakan dalam produksi beton ringan harus sesuai dengan standar SNI yang berlaku. Pemilihan proporsi campuran beton ringan ditentukan berdasarkan hubungan kuat tekan hancur agregat terhadap berat jenis, berat jenis terhadap jumlah fraksi agregat ringan, dan kuat tekan hancur agregat tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan (mortar). Agregat ringan dipilih menurut tujuan konstruksi yang tertera pada tabel 3.2 berikut ;

Tabel 3.2. Batas Kekuatan Konstruksi Beton Ringan

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

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

Berdasarkan tabel 3.2, agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik yang digunakan dalam penelitian ini akan dikategorikan ke dalam agregat ringan struktural yaitu agregat yang dapat menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan antara 17,24 -41,36 Mpa dan berat isi antara 1400-1850 kg/m³ dimana agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik dalam penelitian ini akan dicoba untuk menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan (f'_{cBr}) sebesar 20 Mpa atau K-225 dan dengan berat isi kering udara pada umur 28 hari berkisar antara 1400 – 1850 kg/m³

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

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

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

3. Hitung nilai tambah (Marjin), $M = k \times S$; $k =$ Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada hasil uji yang lebih rendah dari $f'c$. Dalam hal ini diambil 5% dan nilainya $k = 1,64$
4. Hitung kuat tekan beton ringan yang ditargetkan, $f'c_{Br}$
5. Tentukan berat isi maksimum beton yang disyaratkan
6. Tentukan kuat hancur agregat, $f'c_A$ ditentukan pada grafik atau hasil percobaan laboratorium.
7. Hitung jumlah fraksi agregat kasar, n_f dengan mengacu pada data kuat tekan adukan, $f'c_M$ 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 dan ini sama dengan berat isi beton ringannya.
13. Koreksi proporsi campuran terhadap kandungan air dalam agregat
14. Buat campuran uji, ukur dan catat besarnya slump dan kekuatan tekan yang sesungguhnya seperti pada beton normal dengan memperhatikan hal berikut :
 - ♦ Lakukan penyesuaian berat isi dan kuat tekan dengan mengubah fraksi agregat ringan.
 - ♦ Jika kuat tekan yang didapatkan terlalu rendah, maka kuat tekan adukan dapat dipertinggi, sementara jumlah fraksi volume agregat dijaga konstan, atau dengan menjaga kuat tekan adukan tetap, sementara jumlah fraksi volume agregat kasar dikurangi.
 - ♦ Jika penyimpangan terlalu besar, pilih bahan-bahan lain, agregat yang lebih kuat atau jenis semen lainnya.

3.7. PROSEDUR PERCOBAAN BETON

3.7.1. Pembuatan Benda Uji Beton Ringan

Pada penelitian ini akan dibuat 4 tipe campuran beton ringan sesuai dengan tabel 3.2 yang menggunakan agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik, yaitu :

- ♦ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (25,4 – 9,5) mm dan agregat halus normal dengan gradasi normal (4,75 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_A - K₁₅) dan sampel kubus (15x15x15) cm.
- ♦ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (25,4 – 9,5) mm dan agregat halus normal yang tertahan pada skala ayakan (4,75 – 1,18) mm, dengan kode pengujian (BR_B - K₁₅) dan sampel kubus (15x15x15) cm.
- ♦ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (25,4 – 9,5) mm dan agregat halus normal dengan gradasi normal (4,75 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_A - S₁₅) dan sampel silinder (15x30) cm.
- ♦ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (25,4 – 9,5) mm dan agregat halus normal yang tertahan pada skala ayakan (4,75 – 1,18) mm, dengan kode pengujian (BR_B - S₁₅) dan sampel silinder (15x30) cm.
- ♦ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (6,35 – 4,75) mm dan agregat halus normal dengan gradasi normal (4,75 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_C - K₅) dan sampel kubus (5x5x5) cm.
- ♦ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (6,35 – 4,75) mm dan agregat halus normal dengan skala ayakan (0,60 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_D - K₅) dan sampel kubus (5x5x5) cm.
- ♦ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (6,35 – 4,75) mm dan

agregat halus normal dengan gradasi normal (4,75 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_E - K₅) dan sampel kubus (5x5x5) cm. Agregat yang digunakan disortir dengan kondisi tidak ada yang berbentuk pipih dan memanjang.

- ◆ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (6,35 – 4,75) mm dan agregat halus normal dengan skala ayakan (0,60 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_F - K₅) dan sampel kubus (5x5x5) cm. Agregat yang digunakan disortir dengan kondisi tidak ada yang berbentuk pipih dan memanjang.
- ◆ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (9,5 – 4,75) mm dan agregat halus normal dengan gradasi normal (4,75 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_G - K₅) dan sampel kubus (5x5x5) cm. Agregat yang digunakan disortir dengan kondisi tidak ada yang berbentuk pipih dan memanjang.
- ◆ Campuran beton ringan berpasir (*sand-lightweight*) yang menggunakan agregat kasar ringan tertahan pada skala ayakan (9,5 – 4,75) mm dan agregat halus normal dengan skala ayakan (0,60 – 0,075) mm, dengan kode pengujian (BR_H - K₅) dan sampel kubus (5x5x5) cm. Agregat yang digunakan disortir dengan kondisi tidak ada yang berbentuk pipih dan memanjang.

Dimana kode sampel beton ringan :

- BR_{A, B, C, D, E, F, G, H} = Beton ringan tipe A, B, C, D, E, F, G, dan H.
K₁₅ = Sampel kubus (15x15x5) cm.
K₅ = Sampel kubus (5x5x5) cm.
S₁₅ = Sampel silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Tabel 3.3. Keterangan Kode Sampel Beton Ringan

Kode	Keterangan	Gradasi & Kondisi Agregat Kasar	Gradasi Agregat Halus
BR _A -K ₁₅	Beton ringan tipe A dengan sampel kubus (15x15x15) cm	(25,4 – 9,5) normal tdk disortir	(4,75 – 0,075) normal
BR _B -K ₁₅	Beton ringan tipe B dengan sampel kubus (15x15x15) cm	(25,4 – 9,5) normal tdk disortir	(4,75 – 1,18) skala ayakan
BR _A -S ₁₅	Beton ringan tipe A dengan sampel silinder (15x30) cm	(25,4 – 9,5) normal tdk disortir	(4,75 – 0,075) normal
BR _B -S ₁₅	Beton ringan tipe B dengan sampel silinder (15x30) cm	(25,4 – 9,5) normal tdk disortir	(4,75 – 1,18) Skala ayakan
BR _C -K ₅	Beton ringan tipe C dengan sampel kubus (5x5x5) cm	(6,35 – 4,75) normal tdk disortir	(4,75 – 0,075) normal
BR _D -K ₅	Beton ringan tipe D dengan sampel kubus (5x5x5) cm	(6,35 – 4,75) normal tdk disortir	(0,60 – 0,075) skala ayakan
BR _E -K ₅	Beton ringan tipe E dengan sampel kubus (5x5x5) cm	(6,35 – 4,75) disortir tdk pipih & panjang	(4,75 – 0,075) normal
BR _F -K ₅	Beton ringan tipe F dengan sampel kubus (5x5x5) cm	(6,35 – 4,75) disortir tdk pipih & panjang	(0,60 – 0,075) skala ayakan
BR _G -K ₅	Beton ringan tipe G dengan sampel kubus (5x5x5) cm	(9,5 – 4,75) disortir tdk pipih & panjang	(4,75 – 0,075) normal
BR _H -K ₅	Beton ringan tipe H dengan sampel kubus (5x5x5) cm	(9,5 – 4,75) disortir tdk pipih & panjang	(0,60 – 0,075) skala ayakan

Tabel 3.4. Jumlah Benda Uji untuk Tiap Jenis Pengetesan

Kode.	Jenis Pengujian	Bentuk Benda Uji	Jumlah spesimen
BR _A - K ₁₅	Tes Kuat tekan	Kubus 15 × 15 × 15 cm	4
BR _B - K ₁₅	Tes Kuat tekan	Kubus 15 × 15 × 15 cm	4
BR _A - S ₁₅	Tes ME dan Kuat Tekan	Silinder 15 × 30 cm	4
BR _B - S ₁₅	Tes ME dan Kuat tekan	Silinder 15 × 30 cm	4
BR _C - K ₅	Tes Kuat tekan	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
BR _D - K ₅	Tes Kuat tekan	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
BR _E - K ₅	Tes Kuat tekan	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
BR _F - K ₅	Tes Kuat tekan	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
BR _G - K ₅	Tes Kuat tekan	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4
BR _H - K ₅	Tes Kuat tekan	Kubus 5 × 5 × 5 cm	4

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

1. Pengadukan

- ◆ Bahan baku disiapkan dan ditimbang sesuai proporsi berat yang telah ditentukan.
- ◆ Agregat kasar ringan buatan dan pasir dimasukkan seluruhnya ke dalam mesin pengaduk, kemudian diaduk hingga merata.
- ◆ Mesin dimatikan, lalu dimasukkan semen dan $\frac{2}{3}$ dari bagian air dan mesin dinyalakan kembali.
- ◆ Setelah 2 menit mesin dimatikan dan material yang berada di dasar mesin serta yang belum teraduk, diaduk kembali dengan menggunakan sendok semen.
- ◆ Setelah itu mesin dijalankan kembali selama 2 menit sambil sisa air dituangkat sedikit demi sedikit

2. Pencetakan Sampel

- ◆ Cetakan disiapkan, sebelumnya diberi pelumas pada bagian dinding dalam cetakan.
- ◆ Adukan beton dimasukkan ke cetakan dalam 3 lapisan.
- ◆ Dilakukan pemadatan dengan cara penusukan yang menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25 kali untuk tiap lapisan dan digetarkan.
- ◆ Pada lapisan akhir ditambahkan adukan beton sampai melebihi permukaan agar tidak perlu penambahan kembali setelah beton dipadatkan.
- ◆ Kemudian permukaan beton diratakan dan didiamkan pada udara terbuka selama 24 jam hingga mengeras dan hindari adanya hubungan langsung dengan air.

3. Perawatan (curing)

- ◆ Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak air selama batas umur beton yang ditentukan untuk dilakukan pengetesan.
- ◆ Untuk memudahkan identifikasi, benda uji diberi kode, tanggal dan disusun secara teratur.
- ◆ Suhu air rata-rata pada bak perendaman berkisar antara 25-27°C.

3.7.2. Pengujian Beton Ringan

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

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

3.7.3. Pelaksanaan Pengujian Beton Ringan

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

3.7.3.1. Pengujian Slump

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

Proses pengujian :

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

3.7.3.2. Pengujian Berat Isi Beton Segar

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

Proses pengujian :

- ◆ Cetakan yang telah diketahui volumenya (V) ditimbang dan dicatat beratnya (A).
- ◆ Isi cetakan dengan adukan hingga penuh dalam 3 lapisan (sesuai prosedur pencetakan sampel) dipadatkan, diratakan permukaannya.
- ◆ Permukaan cetakan dibersihkan dari sisa-sisa beton dan ditimbang beratnya (B).
- ◆ Berat beton segar (*fresh unit weight*) dapat dihitung sebagai berikut :

- ◆ Berat beton segar $= \frac{B - A}{V}$

3.7.3.3. Pengujian Kuat Tekan

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

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

3.7.3.4. Pengujian Modulus Elastisitas

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

Pelaksanaan pengujian modulus elastisitas dan angka perbandingan Poisson ini berdasarkan pada standar ASTM C.469-02, Test Method Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete Specimens. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat dial gage, yaitu :

- ◆ Benda uji ditimbang beratnya, kemudian permukaan yang kasar diberi belerang (Capping).
- ◆ Buat 3 garis yang mengelilingi benda uji pada posisi 5 cm dari ujung dan ditengah-tengahnya.
- ◆ Alat kompresometer dan ekstensometer dipasang pada silinder secara horizontal dengan menggunakan ketiga garis yang telah dibuat.

- ◆ Kemudian benda uji diletakkan pada mesin tekan dengan hati-hati agar alat uji yang telah terpasang tidak bergeser.
- ◆ Pembebanan dilakukan secara kontinu dengan tiap kenaikan 1 ton, deformasi yang terjadi dicatat. Pembebanan dilakukan sampai beban 40% dari kuat tekan benda uji. Kemudian diturunkan dengan selisih yang sama dan deformasi yang terjadi dicatat.
- ◆ Pembebanan diulangi lagi sampai 4 siklus.

Setelah 4 siklus, pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan deformasi yang terjadi dicatat.

