

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penyajian Data

Dalam bab ini menyajikan data hasil pengujian agregat kasar, agregat halus, *fly ash*, agregat kasar buatan, dan nilai slump. Data yang disajikan sudah diolah secara sistematis, informatif, dan akurat.

#### 4.1.1 Hasil Pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Uji XRF dilakukan untuk mengetahui kandungan silikat dan alumina yang terkandung dalam *fly ash*, sehingga perhitungan campuran dari *artificial lightweight aggregate* Berikut ialah tabel pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*).

Tabel 4. 1 Pengujian XRF

| Name                           | Value  | Name | Value  |
|--------------------------------|--------|------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 41,40% | Si   | 19,30% |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 22,70% | Fe   | 12,40% |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,70% | Al   | 12,00% |
| CaO                            | 8,70%  | Ca   | 6,20%  |
| MgO                            | 4,50%  | Mg   | 2,70%  |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,10%  | Na   | 0,80%  |
| SO <sub>3</sub>                | 1,00%  | K    | 0,60%  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1,00%  | Ti   | 0,60%  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,70%  | S    | 0,40%  |
| P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,40%  | Mn   | 0,20%  |
| MnO                            | 0,30%  | P    | 0,20%  |
| Cl                             | 0,10%  | Cl   | 0,10%  |
| SrO                            | 0,10%  | Sr   | 0,10%  |

Pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) memiliki nilai persentase disetiap senyawa. Dalam mengklasifikasikan *fly ash* mengikuti standar ASTM C 618 yang dimana dikategorikan sebagai *fly ash* kelas F karena total SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih dari 70%.

#### 4.1.2 Hasil Nilai *Slump*

Berikut ialah tabel data nilai uji *slump* campuran beton dengan persentase variabel 0%, 50%, 75%, dan 100%.

Tabel 4. 2 Nilai Uji Slump

| Variabel | Nilai |
|----------|-------|
| 0%       | 8 cm  |
| 50%      | 9 cm  |
| 75%      | 8 cm  |
| 100%     | 8 cm  |

Hasil yang ditampilkan dalam gambar menunjukkan kalau beton dengan 0% agregat kasar buatan memiliki nilai slump sebesar 8 cm, sementara beton dengan 50% agregat kasar buatan menunjukkan peningkatan nilai *slump* menjadi 9 cm, yang mengindikasikan peningkatan *workability*. Untuk campuran dengan 75% dan 100% agregat kasar buatan, nilai slump kembali ke 8 cm, menunjukkan kalau penambahan agregat kasar buatan tidak signifikan mempengaruhi *workability* beton secara keseluruhan.

#### 4.1.3 Hasil Uji Agregat Kasar

Agregat kasar yang dipakai diambil dari PT. Jaya Beton Indonesia yang dimana pengujiannya sudah sesuai standar yang berlaku.

#### 4.1.3.1 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar

Temuan uji berat jenis agregat kasar yang dilakukan dengan menggunakan standar SNI 03-1969-2008 tercantum di bawah ini. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Berat Jenis Agregat Kasar

| No. | Percobaan                                | Satuan | 1       | 2       |
|-----|--|--------|---------|---------|
| 1.  | Berat keranjang (A)                      | gr     | 527,00  | 527,00  |
| 2.  | Berat sample dan keranjang (B)           | gr     | 2527,00 | 2527,00 |
| 3.  | Berat sample (C=B-A)                     | gr     | 2000,00 | 2000,00 |
| 4.  | Berat keranjang dalam air (D)            | gr     | 365,00  | 365,00  |
| 5.  | Berat sample dan keranjang dalam air (E) | gr     | 1575,50 | 1583,00 |
| 6.  | Berat sample dalam air (F=E-D)           | gr     | 1210,50 | 1218,00 |
| 7.  | Berat jenis (G=C/(C-F))                  |        | 2,53    | 2,56    |
| 8.  | Selisih                                  |        |         | 0,02    |
| 9.  | Rata - rata                              |        |         | 2,55    |

Berlandaskan hasil pengujian, rata-rata pengukuran menunjukkan kalau berat jenis agregat kasar yang diuji yakni sekitar 2,55. Nilai minimal standar yang disebutkan dalam SNI 1969-2008 yakni 2,5 gram. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.3.2 Hasil Uji Berat Isi Agregat Kasar

Temuan uji berat isi agregat kasar yang dilakukan dengan menggunakan standar SNI 03- 4804-1998 tercantum di bawah ini. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Berat Isi Agregat Kasar

| No | Percobaan                              | Satuan              | 1       | 2       |
|----|--|---------------------|---------|---------|
| 1. | Volume container (A)                   | cm <sup>3</sup>     | 2002,00 | 2002,00 |
| 2. | Berat container (B)                    | gr                  | 787,00  | 787,00  |
| 3. | Berat sample dan container (C)         | gr                  | 3675,00 | 3730,00 |
| 4. | Berat sample (D=C-B)                   | gr                  | 2888,00 | 2943,00 |
| 5. | Berat isi (E=D/A)                      | cm <sup>3</sup> /gr | 1,44    | 1,47    |
| 6. | Selisih                                |                     |         | 0,03    |
| 7. | Rata - rata (F)                        |                     |         | 1,46    |
| 8. | Berat jenis (G)                        |                     |         | 2,55    |
| 9. | Persentase volume padat (H=(F/G)x100%) |                     |         | 57,21   |

Berlandaskan hasil pengujian, rata-rata pengukuran menunjukkan kalau berat isi agregat kasar yang diuji yakni sekitar 1,46. Nilai minimal standar yang disebutkan dalam SNI 03- 4804-1998 yakni 1,4 gram. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.3.3 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar

Temuan uji kadar lumpur agregat kasar yang dilakukan dengan menggunakan standar SNI 03-4142-1996 tercantum di bawah ini. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Kadar Lumpur Agregat Kasar

| No. | Percobaan  | Satuan | 1       | 2       |
|-----|--|--------|---------|---------|
| 1.  | Berat kering material sebelum dicuci (A)                         | gr     | 2000,00 | 2000,00 |
| 2.  | Berat kering material sesudah di cuci (B)                        | gr     | 1984,20 | 1980,30 |
| 3.  | Material lolos ayakan 0.074 mm<br>( $C=((A-B)/A) \times 100\%$ ) | %      | 0,79    | 0,99    |
| 4.  | Selisih  |        |         | 0,20    |
| 5.  | Rata - rata  |        |         | 0,89    |

Berlandaskan hasil pengujian, rata-rata pengukuran menunjukkan kalau kadar lumpur agregat kasar yang diuji yakni sekitar 0,89%. Nilai maksimal standar yang disebutkan dalam SNI 03-4142-1996 yakni 1%. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.3.4 Hasil Uji Daya Serap Air Agregat Kasar

Temuan uji daya serap air agregat kasar yang dilakukan dengan menggunakan standar SNI 03-1969-2008 tercantum di bawah ini. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Daya Serap Air Agregat Kasar

| No. | Percobaan                      | Satuan | 1       | 2       |
|-----|--------------------------------|--------|---------|---------|
| 1.  | Berat pan (A)                  | gr     | 1286,00 | 1252,00 |
| 2.  | Berat sample dan pan (B)       | gr     | 3286,00 | 3252,00 |
| 3.  | Berat Sample (C=B-A)           | gr     | 2000,00 | 2000,00 |
| 4.  | Berat Sample Kering (D)        | gr     | 1944,80 | 1945,70 |
| 5.  | Daya Serap air ( $E=(C-D)/D$ ) | %      | 2,84    | 2,79    |
| 6.  | Selisih                        |        |         | 0,05    |
| 7.  | Rata-rata                      |        |         | 2,81    |

Berlandaskan hasil pengujian, rata-rata pengukuran menunjukkan kalau daya serap air agregat kasar yang diuji yakni sekitar 2,81%. Nilai maksimal standar yang disebutkan dalam SNI 03-1969-2008 yakni 3%. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.3.5 Hasil Uji Analisis Saringan Agregat Kasar

Berikut ialah hasil pengujian analisis saringan agregat kasar yang mengacu pada standar SK SNI-04-1989-F. Dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Analisis Saringan Agregat Kasar

| Ukuran Saringan (mm) | Test I         |                     | Test II        |                     | Rata-rata           | Kumulatif           | Kumulatif        | Spesifikasi |        |
|----------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|-------------|--------|
|                      | Berat Tertahan | Persentase Tertahan | Berat Tertahan | Persentase Tertahan | Persentase Tertahan | Persentase Tertahan | Persentase Lolos | (%)         |        |
|                      | (gr)           | (%)                 | (gr)           | (%)                 | (%)                 | (%)                 | (%)              | Min         | Max    |
| 25                   | 0,00           | 0,00                | 0,00           | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 100,00           | 100,00      | 100,00 |
| 20                   | 123,00         | 6,15                | 142,00         | 7,10                | 6,63                | 6,63                | 93,38            | 90,00       | 100,00 |
| 12,7                 | 1489,00        | 74,45               | 1524,00        | 76,20               | 75,33               | 81,95               | 18,05            | 0,00        | 100,00 |
| 10                   | 254,00         | 12,70               | 212,00         | 10,60               | 11,65               | 93,60               | 6,40             | 0,00        | 10,00  |
| 5                    | 112,00         | 5,60                | 99,00          | 4,95                | 5,28                | 98,88               | 1,13             | 0,00        | 5,00   |
| 2,5                  | 0,00           | 0,00                | 0,00           | 0,00                | 0,00                | 98,88               | 1,13             | 0,00        | 5,00   |
| 1,2                  | 0,00           | 0,00                | 0,00           | 0,00                | 0,00                | 98,88               | 1,13             |             |        |
| 0,6                  | 0,00           | 0,00                | 0,00           | 0,00                | 0,00                | 98,88               | 1,13             |             |        |
| 0,3                  | 0,00           | 0,00                | 0,00           | 0,00                | 0,00                | 98,88               | 1,13             |             |        |
| 0,15                 | 0,00           | 0,00                | 0,00           | 0,00                | 0,00                | 98,88               | 1,13             |             |        |
| Pan                  | 22,00          | 1,10                | 23,00          | 1,15                | 1,13                | 100,00              | 0,00             |             |        |
| Total                | 2000,00        |                     | 2000,00        |                     |                     |                     |                  |             |        |
| FM                   |                |                     |                |                     |                     | 7,75                |                  |             |        |

Berlandaskan hasil pengujian, agregat kasar yang diuji mempunyai modulus kehalusan sekitar 7,75. Nilai standar yang disebutkan dalam SK SNI-04-1989-F berkisar antara 6 sampai 7,1. Dari penelitian ini terlihat jelas kalau sampel yang diuji tidak mencukupi persyaratan yang telah ditentukan. Karena rata-rata analisis filter yang tertahan melebihi kapasitasnya, terdapat perbedaan sebesar 0,64.

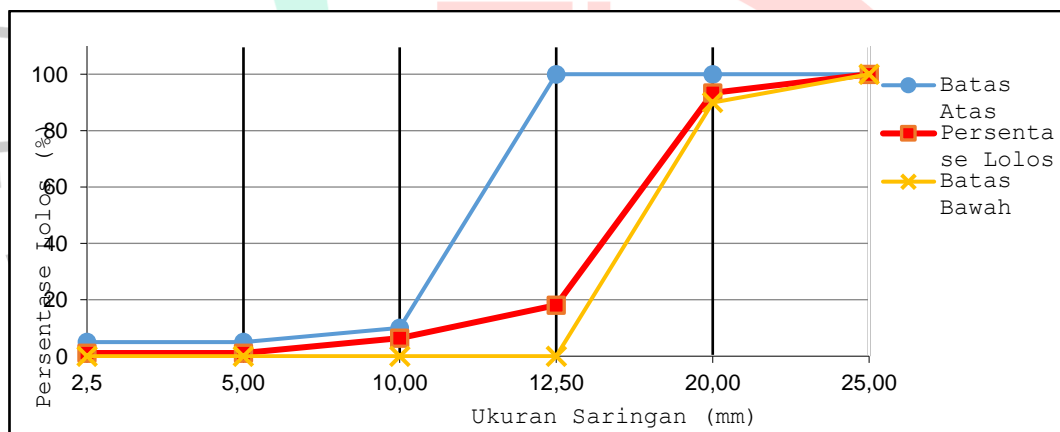
Berikut ialah presentase lolos dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Persentase Lolos Agregat Kasar

| Ukuran Saringan (mm) | Batas Atas | Persentase Lolos | Batas Bawah |
|----------------------|------------|------------------|-------------|
| 2,5                  | 5          | 1,1              | 0           |
| 5                    | 5          | 1,1              | 0           |
| 10                   | 10         | 6,4              | 0           |
| 12,5                 | 100        | 18,1             | 0           |
| 20                   | 100        | 93,4             | 90          |
| 25                   | 100        | 100              | 100         |

Dari data tersebut, kita bisa melihat distribusi ukuran partikel dari agregat halus yang diuji. Setiap persentase lolos berada dalam rentang batas atas dan bawah yang ditetapkan oleh standar, menunjukkan kalau agregat tersebut mencukupi kriteria ukuran partikel yang diharapkan.

Berikut ialah grafik persentase lolos agregat kasar dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Presentase Lolos Agregat Kasar

Gambar di atas menampilkan grafik distribusi ukuran partikel agregat halus berdasarkan pengujian dengan berbagai ukuran saringan. Analisis ini menunjukkan kalau agregat halus yang diuji memiliki distribusi ukuran partikel yang mencukupi kriteria standar, dengan setiap ukuran saringan menunjukkan persentase lolos yang berada dalam batas yang diizinkan, mencerminkan kualitas dan konsistensi agregat untuk keperluan konstruksi.

#### 4.1.3.6 Hasil Uji Keausan Agregat Kasar

Pengujian keausan agregat kasar pada penelitian ini menggunakan standar SNI 2147-2008. Berikut tabel pengujian keausan agregat kasar.

Tabel 4. 9 Keausan Agregat Kasar

| Ukuran saringan (mm)                                       |          | Sample I   | Sample II  |
|--|----------|------------|------------|
| Lolos  | Tertahan | Berat (gr) | Berat (gr) |
| 76,2   | 63,5     |            |            |
| 63,5   | 50,8     |            |            |
| 50,8   | 36,1     |            |            |
| 36,1   | 25,4     |            |            |
| 25,4   | 19,1     |            |            |
| 19,1   | 12,7     | 2500       | 2500       |
| 12,7   | 9,52     | 2500       | 2500       |
| 9,52   | 6,35     |            |            |
| 6,35   | 4,75     |            |            |
| 4,75   | 2,36     |            |            |
| Total Putaran  |          | 500        | 500        |
| Total Bola Baja  |          | 11         | 11         |
| Total Berat (gram) (a)                                     |          | 5000       | 5000       |
| Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b) |          | 3921       | 4012       |
| $Keausan = \frac{a-b}{a} \times 100 \%$                    |          | 21,58      | 19,76      |
| Selisih sample I & II                                      |          |            | 1,82       |
| Rata-rata Keausan (%)                                      |          |            | 20,67      |

Berlandaskan hasil pengujian, rata-rata pengukuran menunjukkan kalau keausan agregat kasar yang diuji yakni sekitar 20,67%. Nilai maksimal standar yang disebutkan dalam SNI 2147-2008 yakni 40%. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.



#### 4.1.4 Hasil Uji Agregat Kasar Buatan

##### 4.1.4.1 Hasil Uji Daya Serap Air Agregat Kasar Buatan

Pengujian daya serap air agregat kasar buatan dan agregat kasar alami sebagai pembandingnya mengacu pada SNI 03-1996-2008. Hasil pengujian daya serap air yakni sebagai berikut.

Tabel 4. 10 Data Daya Serap Air Agregat Kasar Buatan

| Pengujian                                       | Notasi | I    | II   | III  | Satuan |
|---|--------|------|------|------|--------|
| Berat benda uji kering oven                     | A      | 2000 | 2000 | 1900 | gram   |
| Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara | B      | 2150 | 2200 | 2100 | gram   |
| Berat benda uji dalam air                       | C      | 1100 | 1200 | 1000 | gram   |

Tabel 4. 11 Perhitungan Daya Serap Air Agregat Kasar Buatan

| Perhitungan  | Notasi  | I     | II    | III  | Satuan |
|--|---|-------|-------|------|--------|
| Berat jenis curah kering ( $S_d$ )                 | $\frac{A}{(B - C)}$                             | 1.904 | 2     | 1.81 | gram   |
| Berat jenis curah jenuh kering permukaan ( $S_s$ ) | $\frac{B}{(B - C)}$                             | 2.047 | 2.2   | 1.90 | gram   |
| Berat jenis semu ( $S_a$ )                         | $\frac{A}{(A - C)}$                             | 2.2   | 2.5   | 2    | gram   |
| Penyerapan ( $S_w$ )                               | $\left[ \frac{B - A}{(A)} \right] \times 100\%$ | 13.63 | 10    | 10   | persen |
| Penyerapan rata-rata                               |   |       | 11.12 |      |        |

Berlandaskan hasil pengujian, rata-rata pengukuran menunjukkan kalau daya serap air agregat kasar buatan yang diuji yakni sekitar 11,12%. Nilai maksimal standar yang disebutkan dalam SNI 03-1996-2008 yakni 3%. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji tidak mencukupi persyaratan yang ditentukan.

##### 4.1.4.2 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar Buatan

SNI 03-1969-2008 menjadi acuan pengujian berat jenis agregat kasar buatan dan alami sebagai perbandingan. Tabel 4.12 menampilkan hasil uji berat jenis.

Beratnya khusus 2,08 gram. 2,5 gram yakni angka standar untuk berat jenis. Kesimpulan: Agregat kasar buatan berbahan dasar *fly ash* termasuk dalam kategori agregat kasar buatan ringan karena nilai berat jenisnya tidak mencukupi kriteria.

#### 4.1.4.3 Hasil Uji Berat Isi Agregat Kasar Buatan

Pengujian berat isi agregat kasar buatan pada penelitian ini menggunakan standar SNI 03-4804-1992. Berikut tabel pengujian berat isi agregat kasar buatan.

Tabel 4. 12 Berat Isi Agregat Kasar Buatan

| No | Percobaan                              | Satuan             | 1     | 2    | 3     |
|----|--|--------------------|-------|------|-------|
| 1. | Volume container (A)                   | cm <sup>3</sup>    | 2838  | 2838 | 2838  |
| 2. | Berat container (B)                    | gr                 | 450   | 450  | 450   |
| 3. | Berat sampel dan container (C)         | gr                 | 3215  | 3443 | 3208  |
| 4. | Berat sampel (D=C-B)                   | gr                 | 2765  | 2993 | 2758  |
| 5. | Berat isi (E=D/A)                      | cm <sup>3</sup> /g | 0,974 | 1054 | 0,997 |
| 6. | Rata - rata (F)                        |                    | 1,008 |      |       |
| 7. | Berat jenis (G)                        |                    | 2.087 |      |       |
| 9. | Persentase volume padat (H=(F/G)x100%) |                    | 48.29 |      |       |

Berlandaskan hasil pengujian, agregat kasar buatan yang diuji memiliki massa jenis rata-rata sekitar 1,008 gram per unit. Nilai minimal baku mutu yang disebutkan pada 03-4804-1992 yakni 1,4 gram. Dari penelitian ini terlihat jelas kalau sampel yang diuji tidak mencukupi persyaratan yang telah ditentukan. Ini termasuk dalam kategori agregat kasar buatan yang ringan.

#### 4.1.4.4 Hasil Uji Analisis Saringan Agregat Kasar Buatan

Pengujian analisis saringan agregat kasar buatan bertujuan untuk mengkalifikasikan penggunaan ukuran agregat dengan gradasi A.

Tabel 4. 13 Analisis Agregat Kasar Buatan

| Ukuran saringan   |       |                   |       | Gradasi dan berat benda uji (gram) |              |              |              |               |               |               |
|-------------------|-------|-------------------|-------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Lolos saringan    |       | Tertahan saringan |       | A                                  | B            | C            | D            | E             | F             | G             |
| mm                | inci  | mm                | inci  |                                    |              |              |              |               |               |               |
| 75                | 3.0   | 63                | 2 ½   | -                                  | -            | -            | -            | 2500<br>± 50  | -             | -             |
| 63                | 2 ½   | 50                | 2.0   | -                                  | -            | -            | -            | 2500<br>± 50  | -             | -             |
| 50                | 2.0   | 37.5              | 1 ½   | -                                  | -            | -            | -            | 2500<br>± 50  | 5000<br>± 50  | -             |
| 37.5              | 1 1/2 | 25                | 1     | 1250<br>± 25                       | -            | -            | -            | -             | 5000<br>± 25  | 5000<br>± 10  |
| 25                | 1     | 19                | ¾     | 1250<br>± 25                       | -            | -            | -            | -             | -             | 5000<br>± 10  |
| 19                | ¾     | 12.5              | ½     | 1250<br>± 10                       | 2500<br>± 10 | -            | -            | -             | -             | -             |
| 12.5              | ½     | 9.5               | 3/8   | 1250<br>± 10                       | 2500<br>± 10 | -            | -            | -             | -             | -             |
| 9.5               | 3/8   | 6.3               | ¼     | -                                  | -            | 2500<br>± 10 | -            | -             | -             | -             |
| 6.3               | ¼     | 4.75              | No. 4 | -                                  | -            | 2500<br>± 10 | 2500<br>± 10 | -             | -             | -             |
| 4.75              | No. 4 | 2.36              | No. 8 | -                                  | -            | -            | 2500<br>± 10 | -             | -             | -             |
| Total             |       |                   |       | 5000<br>± 10                       | 5000<br>± 10 | 5000<br>± 10 | 5000<br>± 10 | 10000<br>± 10 | 10000<br>± 10 | 10000<br>± 10 |
| Total bola        |       |                   |       | 12                                 | 11           | 8            | 6            | 12            | 12            | 12            |
| Berat bola (gram) |       |                   |       | 5000<br>± 25                       | 4584<br>± 25 | 3330<br>± 20 | 5000<br>± 25 | 5000<br>± 25  | 5000<br>± 25  | 5000<br>± 25  |

Hasil analisis saringan menunjukkan distribusi ukuran partikel material yang diuji melalui berbagai ukuran saringan, dari yang paling kasar (3.0 mm, 7/6 mesh) hingga yang paling halus (No. 4 mesh, 4.76 mm). Secara keseluruhan, tabel ini mengungkapkan kalau distribusi ukuran partikel material yang diuji memiliki sebagian besar partikel besar yang tertahan pada saringan kasar, sementara partikel yang lebih kecil lolos dari saringan halus, memberikan gambaran lengkap tentang karakteristik ukuran partikel material tersebut.

#### 4.1.4.5 Hasil Uji Keausan Agregat Kasar Buatan

Pengujian keausan agregat kasar buatan menggunakan standar SNI 2147-2008 yang ialah standar pengujian agregat kasar alami. Berikut tabel pengujian keausan agregat kasar buatan.

Tabel 4. 14 Saringan Agregat Kasar Buatan

| Ukuran saringan                          |       |                   |       | Gradasi dan berat benda uji (gram) |           |            |            |
|--|-------|-------------------|-------|------------------------------------|-----------|------------|------------|
| Lolos saringan                           |       | Tertahan saringan |       | A                                  | Sample I  | Sample II  | Sample III |
| mm                                       | inci  | mm                | inci  |                                    |           |            |            |
| 75                                       | 3.0   | 63                | 2 ½   | -                                  | -         | -          | -          |
| 63                                       | 2 ½   | 50                | 2.0   | -                                  | -         | -          | -          |
| 50                                       | 2.0   | 37.5              | 1 ½   | -                                  | -         | -          | -          |
| 37.5                                     | 1 1/2 | 25                | 1     | 1250 ± 25                          | 1250 ± 23 | 1250 ± 4,5 | 1250 ± 0   |
| 25                                       | 1     | 19                | ¾     | 1250 ± 25                          | 1250 ± 24 | 1250 ± 6,5 | 1250 ± 5   |
| 19                                       | ¾     | 12.5              | ½     | 1250 ± 10                          | 1250 ± 5  | 1250 ± 2,5 | 1250 ± 3   |
| 12.5                                     | ½     | 9.5               | 3/8   | 1250 ± 10                          | 1250 ± 3  | 1250 ± 5,5 | 1250 ± 6   |
| 9.5                                      | 3/8   | 6.3               | ¼     | -                                  | -         | -          | -          |
| 6.3                                      | ¼     | 4.75              | No. 4 | -                                  | -         | -          | -          |
| 4.75                                     | No. 4 | 2.36              | No. 8 | -                                  | -         | -          | -          |
| Total                                    |       |                   |       | 5000 ± 70                          | 5000 ± 10 | 5000 ± 8   | 5000 ± 14  |
| Total bola                               |       |                   |       | 12                                 | 12        | 12         | 12         |
| Berat bola (gram)                        |       |                   |       | 5000 ± 25                          | 5000 ± 25 | 5000 ± 25  | 5000 ± 25  |
| Total tertahan saringan no.12            |       |                   |       |                                    | 3988      | 4094       | 3775       |
| $Keausan = \frac{a - b}{a} \times 100\%$ |       |                   |       |                                    | 20,24     | 18,2507    | 24,71      |
| Rata-rata keausan (%)                    |       |                   |       |                                    |           | 21,066     |            |

Berlandaskan hasil pengujian, agregat kasar buatan yang diuji memiliki rata-rata pengukuran keausan sekitar 21,06%. Nilai maksimal standar yang disebutkan dalam SNI 2147-2008 yakni 40%. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.5 Hasil Uji Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai diambil dari PT. Jaya Beton Indonesia yang dimana pengujiannya sudah sesuai standar yang berlaku.

##### 4.1.5.1 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Halus

Temuan uji berat jenis agregat halus yang dilakukan dengan menggunakan standar SNI 03-1969-2008 yakni sebagai berikut. Ditampilkan pada tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Berat Jenis Agregat Halus

| No. | Percobaan                        | Satuan | 1      | 2       |
|-----|----------------------------------|--------|--------|---------|
| 1.  | Nomor flash                      |        | 1      | 2       |
| 2.  | Berat flash (A)                  | gr     | 141,00 | 224,00  |
| 3.  | Berat sample dan flask (B)       | gr     | 641,00 | 724,00  |
| 4.  | Berat sample (C=B-A)             | gr     | 500,00 | 500,00  |
| 5.  | Berat flask, sample, dan air (D) | gr     | 944,60 | 1025,70 |
| 6.  | Berat air (E=D-B)                | gr     | 303,60 | 301,70  |
| 7.  | Berat Jenis (F=C/(C-E))          |        | 2,55   | 2,52    |
| 8.  | Selisih                          |        |        | 0,02    |
| 9.  | Rata - rata                      |        |        | 2,53    |

Berlandaskan pengukuran rata-rata, temuan pengujian menunjukkan kalau agregat halus yang diuji memiliki berat jenis sekitar 2,53 gram. 2,5 gram ialah nilai standar minimal yang ditentukan dalam SNI 03-1969-2008. Penelitian menyimpulkan kalau sampel yang dievaluasi mencukupi kriteria yang telah ditentukan.

#### 4.1.5.2 Hasil Uji Berat Isi Agregat Halus

Temuan uji berat isi agregat halus berlandaskan standar SNI 03-4804-1998 tercantum di bawah ini. Ditampilkan pada tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Berat Isi Agregat Halus

| No. | Percobaan            | Satuan              | 1       | 2       |
|-----|----------------------|---------------------|---------|---------|
| 1.  | Volume container (A) | cm <sup>3</sup>     | 2002,00 | 2002,00 |
| 2.  | Berat container (B)  | gr                  | 788,00  | 788,00  |
|     | Berat sample dan     |                     |         |         |
| 3.  | container (C)        | gr                  | 3694,50 | 3723,80 |
| 4.  | Berat sample (D=C-B) | gr                  | 2906,50 | 2935,80 |
| 5.  | Berat isi (E=D/A)    | cm <sup>3</sup> /gr | 1,45    | 1,47    |
| 6.  | Selisih              |                     |         | 0,01    |
| 7.  | Rata - rata          |                     |         | 1,46    |
| 8.  | Berat Jenis (G)      |                     |         | 2,53    |
|     | Persentase volume    |                     |         |         |
| 9.  | padat (H=(F/G)x100%) |                     |         | 57,59   |

Hasil pengujian menunjukkan kalau berat agregat halus yang diuji mempunyai nilai kurang lebih 1,46 gram berlandaskan rata-rata pengukuran. Nilai minimal standar yang disebutkan dalam SNI 03-4804-1998 yakni 1,4 gram. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.5.3 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus berlandaskan standar SNI 03-4142-1996 tercantum di bawah ini. Ditampilkan pada tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Kadar Lumpur Agregat Halus

| No. | Percobaan  | Satuan | 1     | 2     |
|-----|--|--------|-------|-------|
| 1.  | Berat kering material sebelum dicuci (A)                         | gr     | 1000  | 1000  |
| 2.  | Berat kering material sesudah dicuci (B)                         | gr     | 965,6 | 970,1 |
| 3.  | Material lolos ayakan 0.074 mm<br>( $C=((A-B)/A) \times 100\%$ ) | %      | 3,44  | 2,99  |
| 4.  | Selisih  |        |       | 0,45  |
| 5.  | Rata - rata  |        |       | 3,22  |

Hasil pengujian menunjukkan kalau kadar lumpur agregat halus yang diperiksa mempunyai nilai kurang lebih 3,22% berlandaskan rata-rata pengukuran. Nilai tertinggi dari standar yang disebutkan dalam SNI 03-4142-1996 yakni 7%. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.5.4 Hasil Uji Daya Serap Air Agregat Halus

Hasil uji kapasitas penyerapan air agregat halus yang dilakukan dengan standar SNI 03-1969-2008 yakni sebagai berikut. Ditampilkan pada tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Daya Serap Air Agregat Halus

| No. | Percobaan                      | Satuan | 1       | 2       |
|-----|--------------------------------|--------|---------|---------|
| 1   | Berat pan (A)                  | gr     | 1247,90 | 654,00  |
| 2   | Berat sample dan pan (B)       | gr     | 2247,90 | 1654,00 |
| 3   | Berat sample (C=B-A)           | gr     | 1000,00 | 1000,00 |
| 4   | Berat sample kering (D)        | gr     | 972,40  | 971,90  |
| 5   | Daya serap air ( $E=(C-D)/D$ ) | %      | 2,84    | 2,89    |
| 6   | Selisih                        |        |         | 0,05    |
| 7   | Rata - rata                    |        |         | 2,86    |

Hasil pengujian menunjukkan kalau agregat halus yang diuji mempunyai kapasitas penyerapan air sekitar 2,86% berlandaskan rata-rata pengukuran. Nilai tertinggi dari standar yang disebutkan dalam SNI 03-1969-2008 yakni 3%. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

#### 4.1.5.5 Hasil Uji Analisis Saringan Agregat Halus

Temuan pengujian analisis saringan agregat kasar berlandaskan standar SK SNI-04-1989-F tercantum di bawah ini. Ditampilkan pada tabel 4.19.

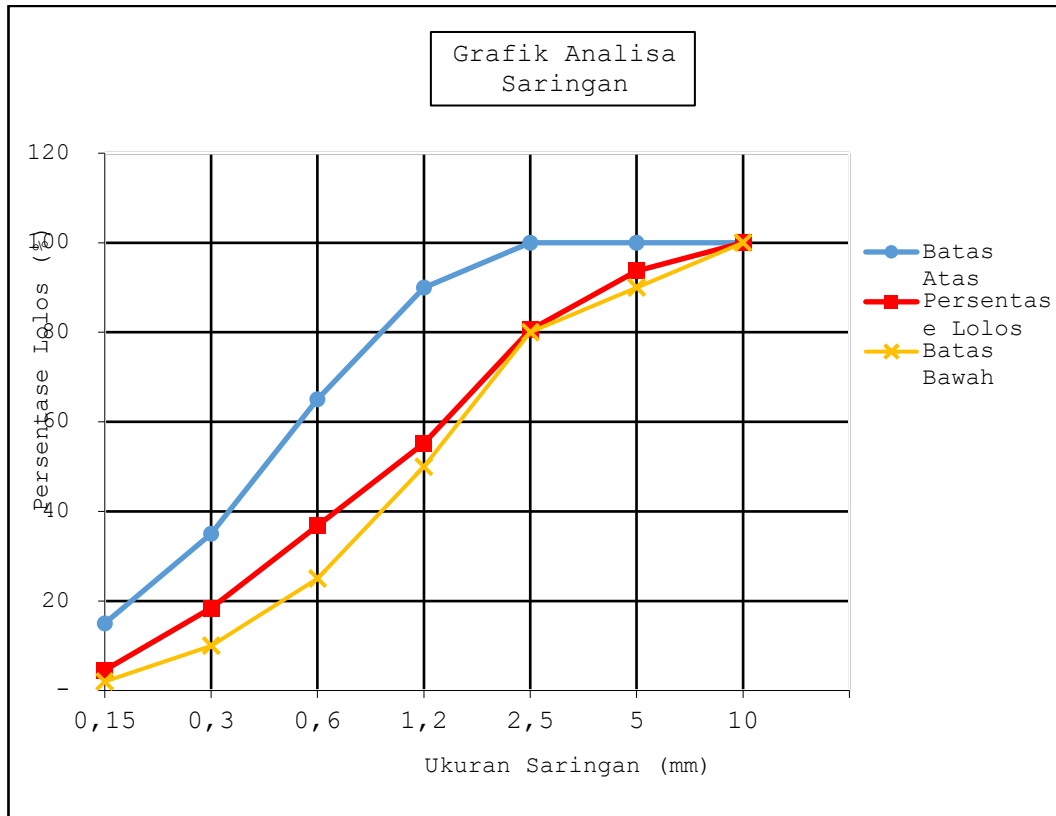
Tabel 4. 19 Analisis Saringan Agregat Halus

| Ukuran<br>Ayakan<br>(mm) | Percobaan 1               |                                   | Percobaan 2               |                                   | Rata-Rata<br>Persentas<br>e<br>Tertahan<br>(%) | Kumulatif<br>Persentas<br>e<br>Tertahan<br>(%) | Kumulatif<br>Persentas<br>e<br>Lolos<br>(%) |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--|--|---|
|                          | Berat<br>Tertahan<br>(gr) | Persentas<br>e<br>Tertahan<br>(%) | Berat<br>Tertahan<br>(gr) | Persentas<br>e<br>Tertahan<br>(%) |  |  |   |
| 10                       | 0,0                       | 0,00                              | 0,00                      | 0,00                              | 0,00   | 0,00   | 100,00                                      |
| 5                        | 25,0                      | 2,50                              | 101,00                    | 10,10                             | 6,30   | 6,30   | 93,70                                       |
| 2,5                      | 144,0                     | 14,40                             | 120,00                    | 12,00                             | 13,20  | 19,50  | 80,50                                       |
| 1,2                      | 321,0                     | 32,10                             | 185,00                    | 18,50                             | 25,30  | 44,80  | 55,20                                       |
| 0,6                      | 115,0                     | 11,50                             | 254,00                    | 25,40                             | 18,45  | 63,25  | 36,75                                       |
| 0,3                      | 203,0                     | 20,30                             | 164,00                    | 16,40                             | 18,35  | 81,60  | 18,40                                       |
| 0,15                     | 127,0                     | 12,70                             | 150,00                    | 15,00                             | 13,85  | 95,45  | 4,55  |
| Pan                      | 65,00                     | 6,50                              | 26,00                     | 2,60                              | 4,55   | 100,00   | 0,00  |
| Total                    | 1000,00                   | 100,00                            | 1000,00                   | 100,00                            |  |  |   |
| FM                       |                           |                                   |                           |                                   |  | <b>3,11</b>                                    |   |

Modulus kehalusan agregat halus yang diuji menurut hasil pengujian yakni sekitar 3,11. Nilai standar yang disebutkan dalam SK SNI-04-1989-F berkisar antara 1,5 hingga 3,8. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan kalau sampel yang diuji mencukupi persyaratan yang ditentukan.

Berikut ialah grafik analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada Gambar 4.2





Gambar 4. 2 Grafik Analisis Saringan Agregat Halus

Gambar di atas menampilkan grafik distribusi ukuran partikel agregat halus berlandaskan pengujian dengan berbagai ukuran saringan. Analisis ini menunjukkan kalau agregat halus yang diuji memiliki distribusi ukuran partikel yang mencukupi kriteria standar, dengan setiap ukuran saringan menunjukkan persentase lolos yang berada dalam batas yang diizinkan, mencerminkan kualitas dan konsistensi agregat untuk keperluan konstruksi.

Berikut ialah hasil pengujian persentase lolos agregat halus dapat dilihat pada tabel 4.20

Tabel 4. 20 Persentase Lolos Agregat Halus

| Ukuran Saringan (mm) | Batas Atas | Persentase Lolos | Batas Bawah |
|----------------------|------------|------------------|-------------|
| 0,15                 | 15         | 4,6              | 2           |
| 0,3                  | 35         | 18,4             | 10          |
| 0,6                  | 65         | 36,8             | 25          |
| 1,2                  | 90         | 55,2             | 50          |
| 2,5                  | 100        | 80,5             | 80          |
| 5                    | 100        | 93,7             | 90          |
| 10                   | 100        | 100              | 100         |

Dari data tersebut, kita bisa melihat distribusi ukuran partikel dari agregat halus yang diuji. Setiap persentase lolos berada dalam rentang batas atas dan bawah yang ditetapkan oleh standar, menunjukkan kalau agregat tersebut mencukupi kriteria ukuran partikel yang diharapkan.

#### 4.1.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Material

Hasil pengujian agregat kasar, agregat kasar buatan, dan agregat halus yang ditampilkan pada tabel 4.2 dirangkum di sini.

Tabel 4. 21 Rekapitulasi Pengujian Material

| Rekapitulasi Agregat Kasar        |                |                  |            |       |
|-----------------------------------|----------------|------------------|------------|-------|
| No.                               | Percobaan      | SNI              | Standar    | Hasil |
| 1.                                | Berat Jenis    | 03-1969-2008     | $\geq 2.5$ | 2.55  |
| 2.                                | Berat Isi      | 03-4804-1998     | $\geq 1.4$ | 1.46  |
| 3.                                | Daya Serap Air | 03-1996-2008     | $\leq 3.0$ | 2.81  |
| 4.                                | Kadar Lumpur   | 03-4142-1996     | $\leq 1.0$ | 0.89  |
| 5.                                | Keausan        | 2417-2008        | $\leq 40$  | 20.67 |
| 6.                                | Modulus Halus  | SK SNI-04-1989-F | 6.0-7.1    | 7.75  |
| Rekapitulasi Agregat Halus        |                |                  |            |       |
| No.                               | Percobaan      | SNI              | Standar    | Hasil |
| 1.                                | Berat Jenis    | 03-1969-2008     | $\geq 2.5$ | 2.53  |
| 2.                                | Berat Isi      | 03-4804-1998     | $\geq 1.4$ | 1.46  |
| 3.                                | Daya Serap Air | 03-1996-2008     | $\leq 3.0$ | 2.86  |
| 4.                                | Kadar Lumpur   | 03-4142-1996     | $\leq 7.0$ | 3.22  |
| 5.                                | Modulus Halus  | SK SNI-04-1989-F | 1.5-3.8    | 3.11  |
| Rekapitulasi Agregat Kasar Buatan |                |                  |            |       |
| No.                               | Percobaan      | SNI              | Standar    | Hasil |
| 1.                                | Berat Jenis    | 03-1969-2008     | $\geq 2.5$ | 11.12 |
| 2.                                | Berat Isi      | 03-4804-1998     | $\geq 1.4$ | 1.008 |
| 3.                                | Keausan        | 2417-2008        | $\leq 40$  | 21.06 |

Tersedia ringkasan pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar alami, agregat halus, dan agregat kasar buatan, beserta standar masing-masing pengujian material dan hasil pengujian material peneliti.

#### 4.1.7 Perancangan Campuran

Berikut ialah perancangan campuran beton normal, lalu perancangan campuran agregat kasar buatan, campuran beton normal per cetakan.

#### 4.1.7.1 Perancangan Beton Normal

Pada penelitian ini perancangan beton normal mengikuti standar SNI 03-2834-2000. Berikut ialah perhitungan desain campuran beton normal yang direncanakan memiliki kekuatan tekan sebesar 15 Mpa.

Tabel 4. 22 Perancangan Beton Normal

| No. | Uraian                              | Nilai      | Satuan            |
|-----|-------------------------------------|------------|-------------------|
| 1.  | Kuat Tekan 28 Hari                  | 15         | MPa               |
| 2.  | Deviasi Standar                     | 7          | MPa               |
| 3.  | Nilai Tambah                        | 11,48      | MPa               |
| 4.  | Kekuatan Rata-rata yang ditargetkan | 26,48      | MPa               |
| 5.  | Jenis Semen                         | PCC        |                   |
| 6.  | Jenis Agregat Halus                 | Halus      |                   |
| 7.  | Jenis Agregat Kasar                 | Batu Pecah |                   |
| 8.  | Faktor Air Semen Bebas              | 0,60       |                   |
| 9.  | Slump                               | 60-180     | mm                |
| 10. | Ukuran Agregat Maksimum             | 20         | mm                |
| 11. | Kebutuhan Air                       | 205        | Liter             |
| 12. | Kebutuhan Semen                     | 341,67     | Kg/m <sup>3</sup> |
| 13. | Berat jenis Agregat Campuran        | 0          | Kg/m <sup>3</sup> |
| 14. | Kebutuhan Agregat Kasar             | 1037,02    | Kg/m <sup>3</sup> |
| 15. | Kebutuhan Agregat Halus             | 782,31     | Kg/m <sup>3</sup> |
| 16. | Berat Jenis Beton                   | 2.366      | Kg/m <sup>3</sup> |

Pada tabel 4.22 dapat dijelaskan perancangan campuran beton normal dengan kebutuhan air sebesar 205 liter, kebutuhan semen 341,67 kg/m<sup>3</sup>, kebutuhan agregat kasar sebesar 1037,02 kg/m<sup>3</sup>, dan kebutuhan agregat halus sebesar 781,31 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.7.2 Perancangan Agregat Buatan

Pembuatan agregat kasar buatan menggunakan metode *pelletized* dengan alat mixer yang dimiringkan 40°, setelah itu dilakukan pencampuran *fly ash* dengan alkali aktivator.



Gambar 4. 3 Pembuatan Agregat Kasar Buatan

Berikut ialah perhitungan penggunaan *fly ash* dan alkali aktivator.

1. Melakukan perancangan campuran rasio perbandingan alkali aktivator 1:2 untuk sodium silikat dan sodium hidroksida.

Tabel 4. 23 Perbandingan Alkali Aktivator Terhadap *Fly ash*

| Variabel | <i>Fly ash</i><br>(gram) | NaOH<br>(10% terhadap <i>fly ash</i> ) | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub><br>(15% terhadap <i>fly ash</i> ) | Agregat Halus<br>(gram) | Berat total |
|----------|--------------------------|--|--|-------------------------|-------------|
| 0%       | 4800                     | 480                                    | 720  | 3200                    | 9200        |

Perbandingan NaOH terhadap *fly ash* sebesar 10% yaitu 480 gram dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> terhadap *fly ash* sebesar 15% yaitu 720 gram, dengan menggunakan *fly ash* 4800 gram dan agregat halus sebesar 3200 gram.

2. Melakukan Perhitungan molaritas 12M berlandaskan tabel berikut.

Tabel 4. 24 Perhitungan Molaritas

| <i>For Preparation 1 kg of SHS</i> |                  |              |            |
|------------------------------------|------------------|--------------|------------|
| <i>Molarity</i>                    | <i>SH Solids</i> | <i>Water</i> | <i>SHS</i> |
|                                    | (Gram)           | (Gram)       | (Gram)     |
| 4                                  | 140              | 860          | 1000       |
| 6                                  | 200              | 800          | 1000       |
| 8                                  | 225              | 745          | 1000       |
| 12                                 | 354              | 646          | 1000       |

Pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan molaritas sebesar 12M dalam perancangan agregat kasar buatan dengan *SH solids* 354 gram, *water* 646 gram, dan *SHS* 1000 gram.

$$\text{Air} = 646/1000 \times 480$$

$$= 310,08 \text{ gr}$$

$$\text{NaOH} = 354/1000 \times 480$$

$$= 169,92 \text{ gr}$$

Berikut ialah rekapitulasi perbandingan alkali activator terhadap *fly ash*. Dapat dilihat pada tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Rekapitulasi Perbandingan Alkali Aktivator Terhadap *Fly ash*

| Rekapitulasi Perbandingan Alkali Aktivator terhadap <i>Fly ash</i> |                          |  |  |               |                            |                |
|--|--------------------------|--|--|---------------|----------------------------|----------------|
| Variabel   | <i>Fly ash</i><br>(gram) | NaOH<br>(10% terhadap <i>fly ash</i> ) | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub><br>(15% terhadap <i>fly ash</i> ) | Air<br>(gram) | Agregat<br>Halus<br>(gram) | Berat<br>total |
| 0%   | 4800                     | 480                                    | 720  | 310,08        | 3200                       | 9200           |
| 12 Molar   |                          | 169,92                                 |  |               |                            |                |

Dari tabel 4.25 dapat dilihat rekapitulasi perbandingan alkali aktivator terhadap *fly ash* yang Dimana menggunakan molaritas 12M dalam perancangan pembuatan agregat kasar buatan.

#### 4.1.7.3 Perancangan Kebutuhan Beton Per Cetakan

Pada penelitian kali ini akan dijelaskan mengenai kebutuhan beton per cetakan yang memiliki 4 variabel yaitu, 0%, 50%, 75%, dan 100%. Silinder beton menggunakan ukuran 10 cm x 20 cm. Dapat dilihat pada tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Kebutuhan Beton Per Cetakan

| Kebutuhan Per Cetakan (0%)   |           |        |
|------------------------------|-----------|--------|
| Material                     | Kebutuhan | Satuan |
| Air                          | 0,344801  | Liter  |
| Semen                        | 0,536422  | Kg     |
| Agregat Kasar                | 1,201209  | Kg     |
| Agregat Halus                | 1,632189  | Kg     |
| Kebutuhan Per Cetakan (50%)  |           |        |
| Material                     | Kebutuhan | Satuan |
| Air                          | 0,344801  | Liter  |
| Semen                        | 0,536422  | Kg     |
| Agregat Kasar                | 0,600604  | Kg     |
| Agregat Halus                | 1,632189  | Kg     |
| Agregat Kasar Buatan         | 0,600604  | Kg     |
| Kebutuhan Per Cetakan (75%)  |           |        |
| Material                     | Kebutuhan | Satuan |
| Air                          | 0,344801  | Liter  |
| Semen                        | 0,536422  | Kg     |
| Agregat Kasar                | 0,300302  | Kg     |
| Agregat Halus                | 1,632189  | Kg     |
| Agregat Kasar Buatan         | 0,900907  | Kg     |
| Kebutuhan Per Cetakan (100%) |           |        |
| Material                     | Kebutuhan | Satuan |
| Air                          | 0,344801  | Liter  |
| Semen                        | 0,536422  | Kg     |
| Agregat Kasar Buatan         | 1,201209  | Kg     |
| Agregat Halus                | 1,632189  | Kg     |

Dalam perancangan kebutuhan beton per cetakan memiliki kebutuhan semen sebesar 0,536 kg, air sebesar 0,344 kg, agregat halus sebesar 1,632 kg. kebutuhan material agregat kasar alami dan agregat kasar buatan disesuaikan dengan variabel penelitian ini yaitu, 0%, 50%, 75%, dan 100%.

## 4.2 Hasil Analisis

Uji berat jenis dan kuat tekan beton akan dipakai untuk mengevaluasi temuan penelitian penggunaan agregat kasar buatan yang dihasilkan dari abu terbang. Informasi yang didapatkan dari pengujian berat jenis dan kuat tekan beton yakni sebagai berikut.

### 4.2.1 Hasil Berat Jenis Beton

Variabel pengujian berat jenis beton pada penelitian ini ada empat yaitu 0%, 50%, 75%, dan 100%. Ada tiga macam umur beton yang berbeda: 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Sebanyak tiga puluh enam silinder beton berukuran 10 kali 20 cm dibuat sebagai alat uji. Berat jenis beton dapat dihitung sebagai berikut.

Berat jenis beton setelah 7 hari, 14 hari, dan 28 hari yakni sebagai berikut. Ditampilkan pada tabel 4.27.



Tabel 4. 27 Berat Jenis Beton

| Benda Uji | Beton Normal  | Massa (kg) | Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> ) | Rata-Rata |
|-----------|---------------|------------|----------------------------------|-----------|
|           |               | 3,7        | 2356,687898                      |           |
|           | Beton 7 Hari  | 3,6        | 2292,993631                      | 2335,456  |
|           |               | 3,7        | 2356,687898                      |           |
|           |               | 3,7        | 2356,687898                      |           |
| BNAB 0%   | Beton 14 Hari | 3,79       | 2414,012739                      | 2354,565  |
|           |               | 3,6        | 2292,993631                      |           |
|           |               | 3,7        | 2356,687898                      |           |
|           | Beton 28 Hari | 3,77       | 2401,273885                      | 2369,427  |
|           |               | 3,69       | 2350,318471                      |           |
|           |               | 3,54       | 2254,77707                       |           |
|           | Beton 7 Hari  | 3,57       | 2273,88535                       | 2265,393  |
|           |               | 3,56       | 2267,515924                      |           |
|           |               | 3,58       | 2280,254777                      |           |
| BNAB 50%  | Beton 14 Hari | 3,54       | 2254,77707                       | 2254,777  |
|           |               | 3,5        | 2229,299363                      |           |
|           |               | 3,5        | 2229,299363                      |           |
|           | Beton 28 Hari | 3,46       | 2203,821656                      | 2193,206  |
|           |               | 3,37       | 2146,496815                      |           |
|           |               | 3,35       | 2133,757962                      |           |
|           | Beton 7 Hari  | 3,53       | 2248,407643                      | 2188,96   |
|           |               | 3,43       | 2184,713376                      |           |
|           |               | 3,6        | 2292,993631                      |           |
| BNAB 75%  | Beton 14 Hari | 3,38       | 2152,866242                      | 2205,945  |
|           |               | 3,41       | 2171,974522                      |           |
|           |               | 3,4        | 2165,605096                      |           |
|           | Beton 28 Hari | 3,5        | 2229,299363                      | 2178,344  |
|           |               | 3,36       | 2140,127389                      |           |
|           |               | 3,34       | 2127,388535                      | 2114,65   |
|           | Beton 7 Hari  | 3,32       | 2114,649682                      |           |
|           |               | 3,3        | 2101,910828                      |           |
|           |               | 3,4        | 2165,605096                      | 2133,758  |
| BNAB 100% | Beton 14 Hari | 3,34       | 2127,388535                      |           |
|           |               | 3,31       | 2108,280255                      |           |
|           |               | 3,35       | 2133,757962                      | 2144,374  |
|           | Beton 28 Hari | 3,35       | 2133,757962                      |           |
|           |               | 3,4        | 2165,605096                      |           |

Berikut ialah rekapitulasi rata-rata berat jenis beton umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan variasi persentasi agregat buatan. Dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4. 28 Rekapitulasi Berat Jenis Beton

| Umur Beton | Rekapitulasi Rata-Rata Berat Jenis Beton |                            |                            |                            |
|------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|            | 0  | 50                         | 75                         | 100                        |
| 7          | 2335,456 kg/m <sup>3</sup>               | 2265,393 kg/m <sup>3</sup> | 2188,96kg/m <sup>3</sup>   | 2114,65 kg/m <sup>3</sup>  |
| 14         | 2354,565kg/m <sup>3</sup>                | 2254,777 kg/m <sup>3</sup> | 2205,945 kg/m <sup>3</sup> | 2133,758 kg/m <sup>3</sup> |
| 28         | 2369,427 kg/m <sup>3</sup>               | 2193,206 kg/m <sup>3</sup> | 2178,344 kg/m <sup>3</sup> | 2144,374 kg/m <sup>3</sup> |

Dapat dilihat kalau berat jenis rata-rata beton terbesar pada umur 28 hari pada variabel 0% yakni 2369,27 kg/m<sup>3</sup>. Setelah variasi 100% selama 28 hari didapatkan massa jenis rata-rata beton terkecil yaitu 2144,37 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2 Hasil Kuat Tekan Beton

Temuan penelitian ini menyangkut 36 benda uji yang dipakai dalam pengujian kuat tekan beton. Setelah itu ada empat variabel 0%, 50%, 75%, dan 100%. Pada penelitian kali ini mempunyai tiga jenis yang berbeda: 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Cetakan beton sebenarnya berukuran 10 x 20 cm dan berbentuk silinder. Hasil kuat tekan beton yakni sebagai berikut.

Kuat tekan rata-rata beton setelah umur 7, 14, dan 28 hari ditampilkan di sini, dengan persentase perubahan 0%, 50%, 75%, dan 100%. Ditampilkan pada tabel 4.29.

Tabel 4. 29 Kuat Tekan Beton

| Benda Uji     | UmurBeton     | Uji Kuat Tekan (kN) | Kuat Tekan (MPa) | Kuat Tekan Konversi 15 x 30 cm | Rata-Rata  |            |
|---------------|---------------|---------------------|------------------|--------------------------------|------------|------------|
| BNAB 0%       | Beton 7 Hari  | 207                 | 26,3694268       | 25,0509554                     | 20,1295117 |            |
|               |               | 186                 | 23,6942675       | 22,5095541                     |            |            |
|               |               | 106                 | 13,5031847       | 12,8280255                     |            |            |
|               | Beton 14 Hari | 96                  | 12,2292994       | 11,6178344                     |            | 12,9490446 |
|               |               | 103                 | 13,1210191       | 12,4649682                     |            |            |
|               |               | 122                 | 15,5414013       | 14,7643312                     |            |            |
|               | Beton 28 Hari | 84                  | 10,7006369       | 10,1656051                     |            | 13,3524416 |
|               |               | 122                 | 15,5414013       | 14,7643312                     |            |            |
|               |               | 125                 | 15,9235669       | 15,1273885                     |            |            |
| BNAB 50%      | Beton 7 Hari  | 70                  | 8,91719745       | 8,47133758                     | 11,133758  |            |
|               |               | 115                 | 14,6496815       | 13,9171975                     |            |            |
|               |               | 91                  | 11,5923567       | 11,0127389                     |            |            |
|               | Beton 14 Hari | 90                  | 11,4649682       | 10,8917198                     |            | 8,7133758  |
|               |               | 60                  | 7,6433121        | 7,2611465                      |            |            |
|               |               | 66                  | 8,40764331       | 7,98726115                     |            |            |
|               | Beton 28 Hari | 104                 | 13,2484076       | 12,5859873                     |            | 14,118896  |
|               |               | 139                 | 17,7070064       | 16,8216561                     |            |            |
|               |               | 107                 | 13,6305733       | 12,9490446                     |            |            |
| BNAB 75%      | Beton 7 Hari  | 64                  | 8,15286624       | 7,74522293                     | 10,5690021 |            |
|               |               | 100                 | 12,7388535       | 12,1019108                     |            |            |
|               |               | 98                  | 12,4840764       | 11,8598726                     |            |            |
|               | Beton 14 Hari | 79                  | 9,56050955       | 9,56050955                     |            | 11,2547771 |
|               |               | 125                 | 15,1273885       | 15,1273885                     |            |            |
|               |               | 75                  | 9,07643312       | 9,07643312                     |            |            |
|               | Beton 28 Hari | 92                  | 11,7197452       | 11,133758                      |            | 9,56050955 |
|               |               | 78                  | 9,93630573       | 9,43949045                     |            |            |
|               |               | 67                  | 8,53503185       | 8,10828026                     |            |            |
| BNAB 100%     | Beton 7 Hari  | 100                 | 12,7388535       | 12,7388535                     | 9,39915074 |            |
|               |               | 70                  | 8,91719745       | 8,91719745                     |            |            |
|               |               | 63                  | 8,02547771       | 8,02547771                     |            |            |
|               | Beton 14 Hari | 77                  | 9,8089172        | 9,31847134                     |            | 10,1656051 |
|               |               | 79                  | 10,0636943       | 9,56050955                     |            |            |
|               |               | 96                  | 12,2292994       | 11,6178344                     |            |            |
| Beton 28 Hari | 81            | 9,80254777          | 9,80254777       | 10,3673036                     |            |            |
|               | 62            | 7,50318471          | 7,50318471       |                                |            |            |
|               | 114           | 13,7961783          | 13,7961783       |                                |            |            |

Berikut ialah rekapitulasi rata-rata kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan variasi persentase 0%, 50%, 75%, dan 100%. Dapat dilihat pada tabel 4.29.

Tabel 4. 30 Rekapitulasi Rata-Rata Kuat Tekan Beton

| Umur Beton | Rekapitulasi Rata-Rata Kuat Tekan Beton |          |          |            |
|------------|---|----------|----------|------------|
|            | 0                                       | 50       | 75       | 100        |
| 7          | 20,12951                                | 11,13376 | 10,569   | 9,39915074 |
| 14         | 12,94904                                | 8,713376 | 11,25478 | 10,1656051 |
| 28         | 13,35244                                | 14,1189  | 9,56051  | 10,3673036 |

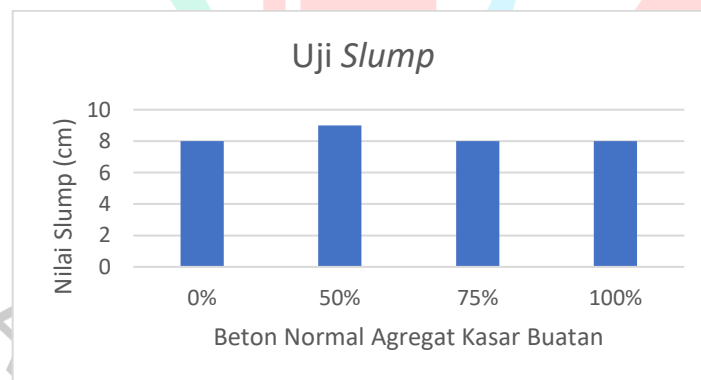
Tabel 4.30 menunjukkan kalau kuat tekan rata-rata maksimum beton pada umur 7 hari yakni 20,12 MPa, sedangkan kuat tekan rata-rata terendah pada umur 14 hari yakni 8,71 MPa.

### 4.3 Pembahasan

Sub bagian ini akan mencakup temuan pemeriksaan yang lebih menyeluruh terhadap proses produksi beton selain informasi yang dikumpulkan untuk penelitian ini.

#### 4.3.1 Uji Slump

Berikut ialah grafik uji *slump* terhadap campuran beton dengan menggunakan variasi presentase agregat kasar buatan yang berbeda.



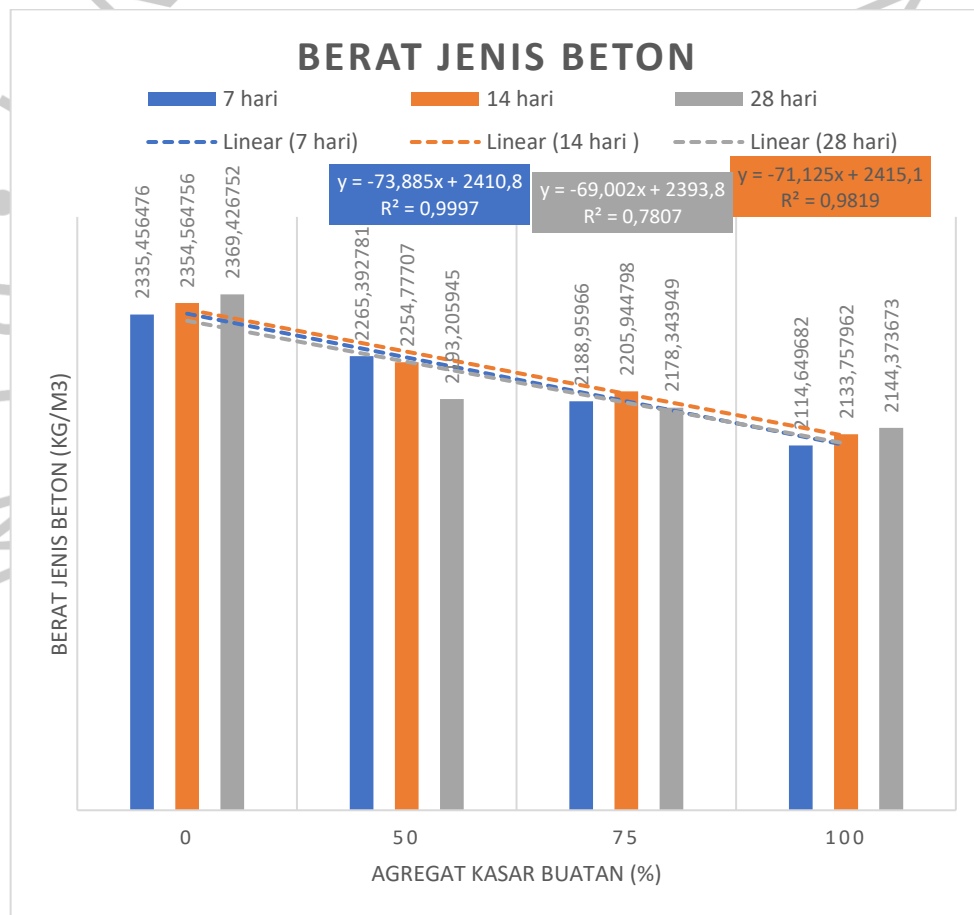
Gambar 4. 4 Grafik Uji Slump

Dapat dilihat pada Grafik 4.6 hasil uji slump memiliki nilai yang cukup stabil, dimana pada variabel 0%, 75%, dan 100% *workability* tetap stabil dengan nilai slump 8 cm, menunjukkan kalau agregat buatan dapat dipakai dalam campuran beton tanpa mempengaruhi kemudahan pengerjaan secara signifikan. Lalu untuk variabel 50% mengalami peningkatan menjadi 9 cm yang dimana *workability* campuran beton memperoleh manfaat dari sifat fisik agregat buatan yang meningkatkan fluiditas campuran. Secara keseluruhan, agregat kasar buatan dapat

dipakai hingga 100% dalam campuran beton tanpa menurunkan *workability*, menjadikannya alternatif yang layak untuk agregat alami. Hal ini penting dalam konteks keberlanjutan dan konservasi sumber daya alam, karena agregat buatan sering kali dapat diproduksi dari bahan limbah atau sumber yang lebih mudah diperbarui.

### 4.3.2 Berat Jenis Beton

Menimbang beton yakni langkah pertama dalam prosedur ini. Tujuan dari penimbangan ini yakni untuk mengetahui berat beton yang akan dipakai. Grafik 4.7 menunjukkan berat rata-rata beton biasa yang dibuat dengan agregat kasar buatan.



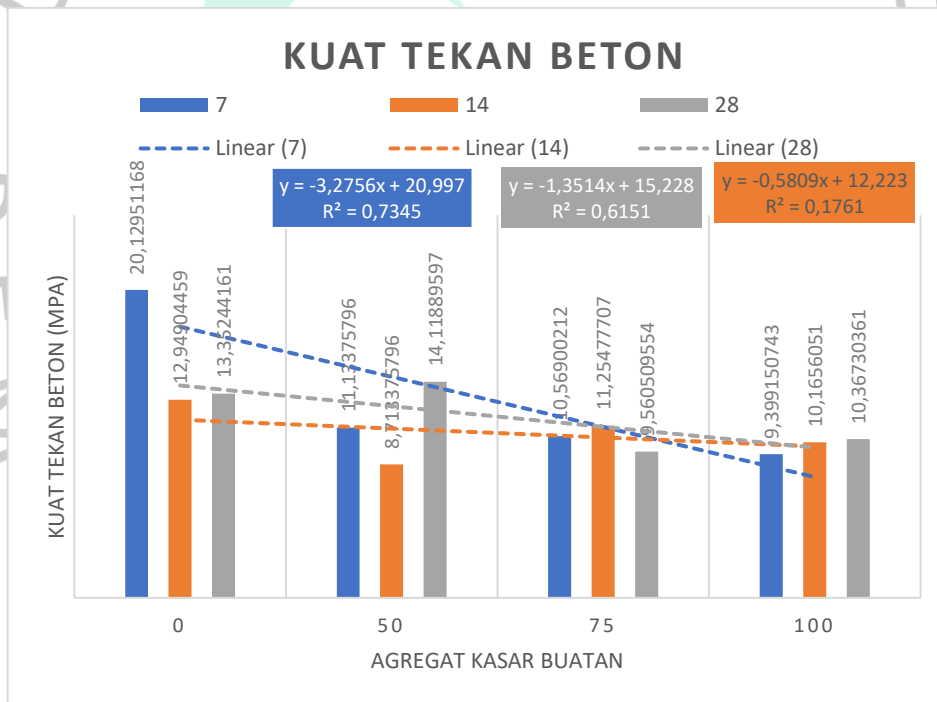
Gambar 4. 5 Grafik Berat Jenis Beton

Rata-rata berat jenis beton dengan persentase agregat buatan yang berbeda ditampilkan pada Gambar 4.1. Pada hari ke 7, 14, dan 28 berat jenis beton sedikit mengalami perubahan. Karena adanya proses hidrasi semen maka berat jenis pada BNAB 0% sedikit berkurang pada hari ke 14 dan meningkat lagi pada hari ke 28.

Berat jenis pada BNAB 50% relatif konstan dari hari ke 7 hingga hari ke 14, namun turun signifikan pada hari ke 28. mungkin karena penyusutan. Berat jenis turun pada hari ke 14 kemudian meningkat lagi pada hari ke 28 sebesar BNAB 75%. Berat jenis pada BNAB 100% sedikit meningkat pada hari ke 28 tetapi hampir tidak berubah pada hari ke 7 hingga hari ke 14. Proses hidrasi dan perubahan struktur mikro beton menyebabkan kecenderungan umum berat jenis beton sedikit turun pada hari ke-14 dan meningkat lagi pada hari ke-28.

### 4.3.3 Uji Kuat Tekan

Gambar 4.8 yang menggambarkan dampak perubahan persentase agregat kasar buatan menunjukkan hasil kuat tekan beton biasa dengan agregat kasar buatan.



Gambar 4. 6 Grafik Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton bervariasi tergantung pada bahan-bahan dalam campuran beton pada umumnya. Kuat tekan beton pada BNAB 0% tinggi pada hari ke 7, turun pada hari ke 14, dan kemudian meningkat sedikit pada hari ke 28. Pada BNAB 50%, kuat tekan awal yakni 11,1 MPa, menurun menjadi 8,7 MPa pada hari ke-14, dan meningkat signifikan menjadi 14,1 MPa pada hari ke-28. Pada BNAB 75%, kuat tekan awal yakni 10,6 MPa, meningkat menjadi 11,2 MPa pada hari ke-14, dan

menurun menjadi 9,6 MPa pada hari ke-28. Pada BNAB 100%, kuat tekan awal yakni 9,4 MPa, meningkat menjadi 10,1 MPa pada hari ke-14, dan menjadi 11,36 MPa pada hari ke-28. Dibandingkan dengan penelitian lain, yang menunjukkan kuat tekan optimal 7,3 MPa pada umur 28 hari, BNAB 100% memiliki kuat tekan lebih tinggi, yaitu 10,3 MPa, dengan selisih 3 MPa.

Tabel 4. 31 Pertumbuhan Kuat Tekan Beton

| Pertumbuhan Kuat Tekan Beton Normal         |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| Persentase Agregat Buatan                   | Pertumbuhan Persentase Kuat Tekan Beton | Pertumbuhan Kuat Tekan Beton |
| %   | %                                       | Mpa                          |
| Pertumbuhan Kuat Tekan Beton Normal 7 Hari  |   |                              |
| 0   | 0                                       | 20,13                        |
| 50  | -45%                                    | -9,00                        |
| 75  | -5%                                     | -0,56                        |
| 100   | -11%                                    | -1,17                        |
| Pertumbuhan Kuat Tekan Beton Normal 14 Hari |   |                              |
| 0   | 0                                       | 12,95                        |
| 50  | -33%                                    | -4,24                        |
| 75  | 29%                                     | 2,54                         |
| 100   | -10%                                    | -1,09                        |
| Pertumbuhan Kuat Tekan Beton Normal 28 Hari |   |                              |
| 0   | 0                                       | 13,35                        |
| 50  | 6%                                      | 0,77                         |
| 75  | -32%                                    | -4,56                        |
| 100   | 8%                                      | 0,81                         |

Penelitian ini mengkaji pengaruh agregat buatan terhadap kuat tekan beton normal pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan variasi persentase 0%, 50%, 75%, dan 100%. Pada 7 hari, beton tanpa agregat buatan memiliki kuat tekan tertinggi 20,13 MPa, sementara penambahan agregat buatan menurunkan kuat tekan hingga 45% pada campuran 50%. Pada 14 hari, beton kontrol menurun menjadi 12,95 MPa, tetapi campuran 75% agregat buatan meningkat 29%. Pada 28 hari, beton kontrol sedikit meningkat menjadi 13,35 MPa, dengan campuran 50% dan 100% masing-masing meningkat 6% dan 8%, sementara campuran 75% menurun 32%. Hasil ini menunjukkan kalau agregat buatan dapat menurunkan kekuatan awal beton, tetapi meningkatkan kekuatan pada periode yang lebih lama tergantung pada persentase campuran dan waktu pengerasan.