

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil dan Pembahasan Material Campuran Beton**

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas agregat halus, agregat kasar, air, semen, molase, dan serat banner. Sebagai tahap awal, pengujian dilakukan terhadap agregat halus, agregat kasar, dan molase guna memperoleh data mengenai karakteristik masing-masing material yang diperlukan dalam perancangan campuran beton. Adapun serat banner digunakan sebagai bahan tambahan tanpa dilakukan pengujian karakteristik. Hasil pengujian material yang telah dilakukan disajikan pada sub-bab berikutnya.

##### **4.1.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan**

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk menentukan distribusi gradasi ukuran butiran agregat yang digunakan dalam penelitian. Sebelum proses pengujian dimulai, sampel agregat terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai berat yang konstan. Tahapan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang masih terkandung dalam agregat sehingga tidak memengaruhi hasil pengujian. Setelah proses pengeringan selesai, sampel dibiarkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian ditimbang untuk memperoleh berat awal yang akan digunakan sebagai acuan dalam pengujian analisis saringan.



Gambar 4. 1 Analisa Saringan

Setelah sampel agregat siap diuji, satu set saringan standar disusun secara berurutan berdasarkan ukuran bukaan, dimulai dari ukuran terbesar hingga yang terkecil. Susunan saringan yang digunakan meliputi ukuran 1 inci (25,4 mm),  $\frac{3}{4}$  inci (19,0 mm),  $\frac{1}{2}$  inci (12,5 mm),  $\frac{3}{8}$  inci (9,5 mm), No. 4 (4,75 mm), No. 8 (2,36 mm), No. 16 (1,18 mm), No. 30 (0,60 mm), No. 50 (0,30 mm), No. 100 (0,15 mm), dan No. 200 (0,075 mm), dengan pan ditempatkan pada bagian paling bawah sebagai penampung butiran agregat yang lolos dari saringan terakhir. Sampel agregat yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke saringan paling atas, selanjutnya dilakukan proses pengayakan selama waktu yang telah ditentukan sehingga agregat terpisah sesuai dengan ukuran butirannya. Setelah pengayakan selesai, agregat yang tertahan pada setiap saringan ditimbang dan hasilnya dicatat sebagai data pengujian.

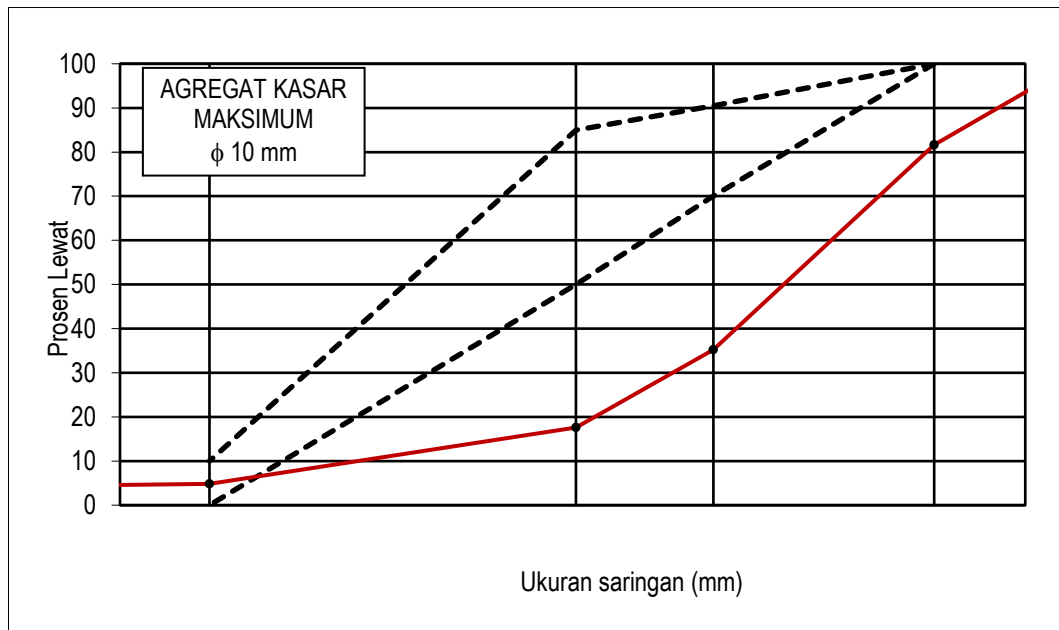
Data penimbangan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung persentase berat tertahan, persentase kumulatif tertahan, serta persentase lolos pada setiap ukuran saringan. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, distribusi gradasi agregat dapat ditentukan dan selanjutnya disajikan dalam bentuk kurva gradasi. Kurva yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan persyaratan gradasi sesuai standar yang berlaku untuk mengevaluasi

kelayakan agregat sebagai material penyusun campuran beton. Informasi mengenai gradasi agregat tersebut menjadi dasar dalam menentukan proporsi campuran yang tepat sehingga diharapkan dapat menghasilkan beton dengan kualitas dan kinerja yang optimal.

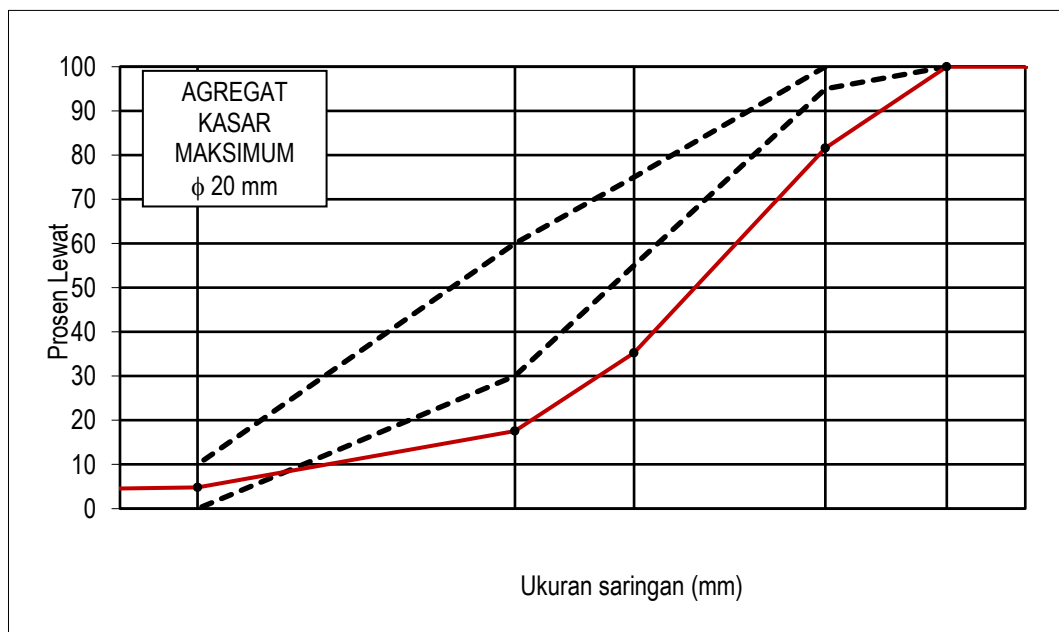
Tabel 4. 1 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar

Berat contoh kering: 9993,35 gr

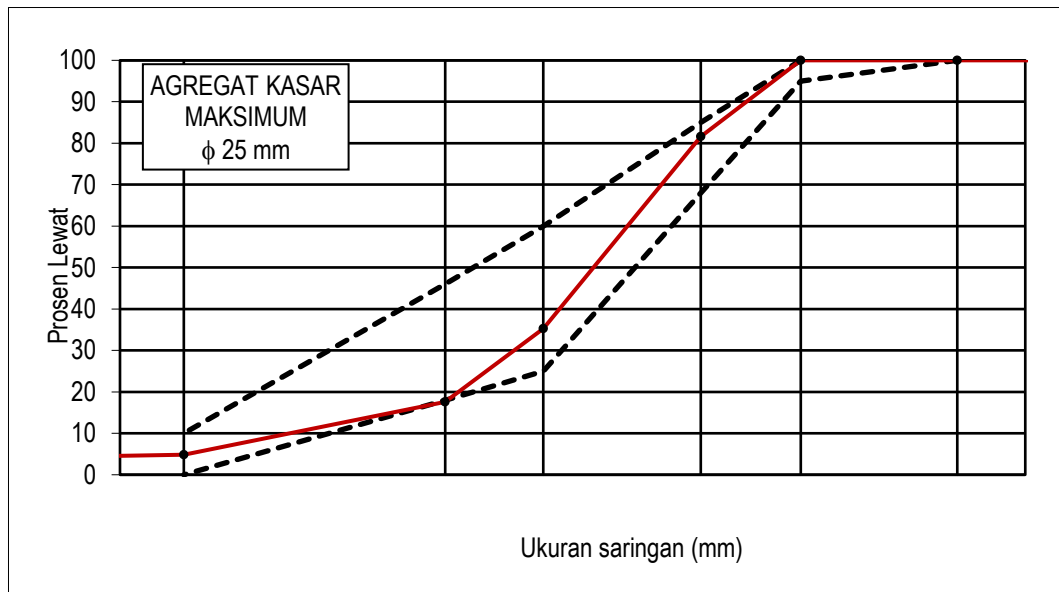
| Ukuran saringan    | Berat tertahan | Prosen tertahan | Kumulatif |        |
|--------------------|----------------|-----------------|-----------|--------|
|                    |                |                 | tertahan  | lewat  |
| 50 mm (2")         | 0,00           | 0,00            | 0,00      | 100,00 |
| 38,1 mm (1 1/2")   | 0,00           | 0,00            | 0,00      | 100,00 |
| 25 mm (1")         | 0,00           | 0,00            | 0,00      | 100,00 |
| 19,1 mm (3/4")     | 1836,20        | 18,37           | 18,37     | 81,63  |
| 12,5 mm (1/2")     | 4635,20        | 46,38           | 64,76     | 35,24  |
| 9,6 mm (3/8")      | 1767,00        | 17,68           | 82,44     | 17,56  |
| 4,75 mm (No. 4)    | 1272,15        | 12,73           | 95,17     | 4,83   |
| 2,36 mm (No. 8)    | 104,50         | 1,05            | 96,21     | 3,79   |
| 1,18 mm (No. 16)   | 76,85          | 0,77            | 96,98     | 3,02   |
| 0,6 mm (No. 30)    | 43,95          | 0,44            | 97,42     | 2,58   |
| 0,3 mm (No. 50)    | 33,50          | 0,34            | 97,76     | 2,24   |
| 0,15 mm (No. 100)  | 80,90          | 0,81            | 98,57     | 1,43   |
| 0,075 mm (No. 200) | 88,80          | 0,89            | 99,46     | 0,54   |
| pan                | 54,30          | 0,54            | 100,00    | 0,00   |



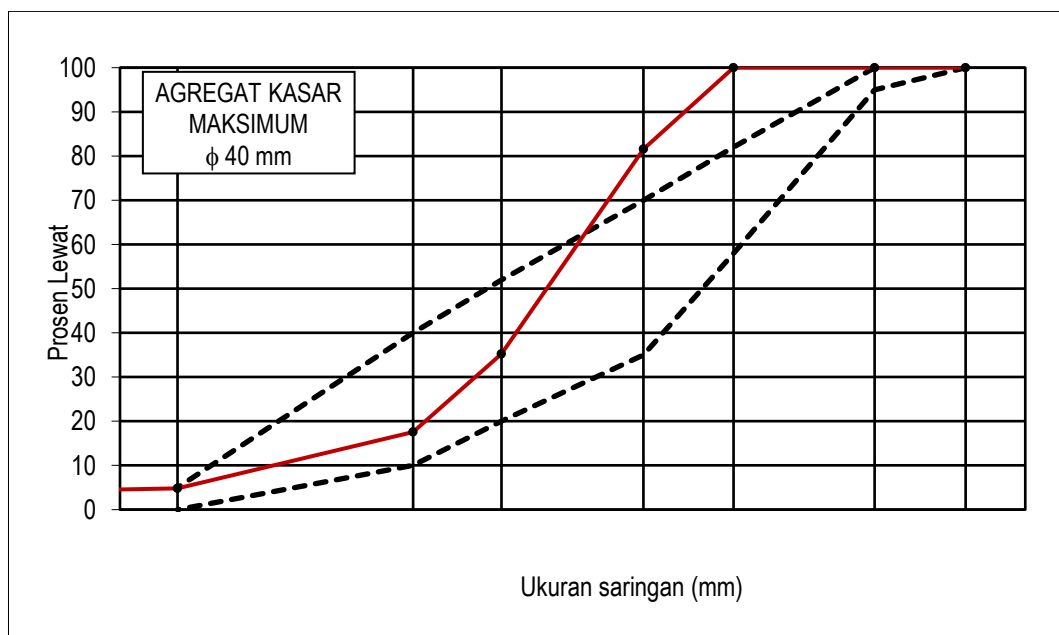
Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Max 10 mm



Gambar 4. 3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Max 20 mm



Gambar 4. 4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Max 25 mm



Gambar 4. 5 Grafik Gradasi Agregat Kasar Max 40 mm

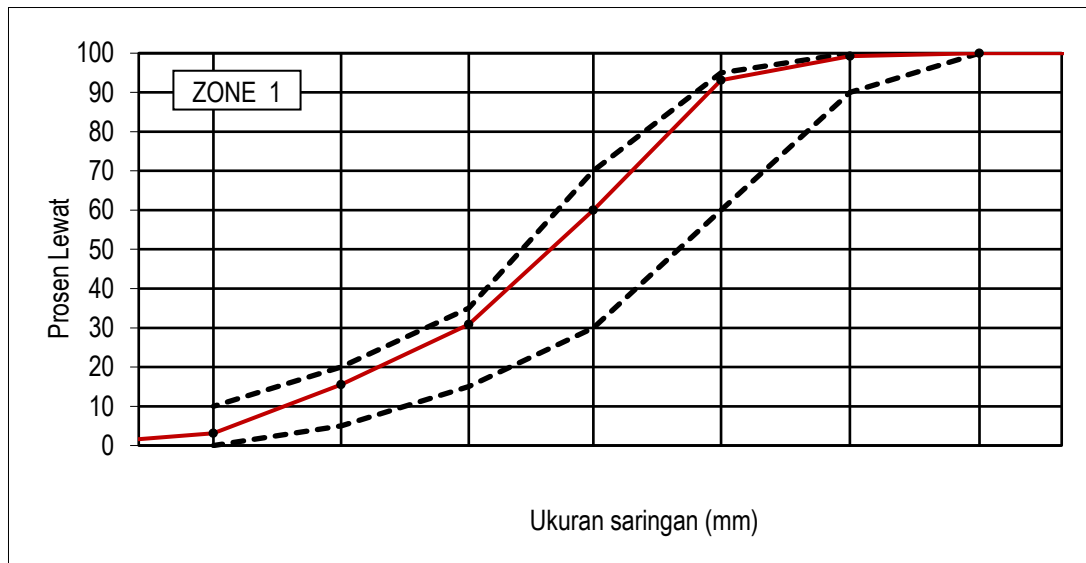
Berdasarkan hasil analisis saringan agregat kasar yang ditampilkan pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.5, dipilih Gambar 4.4 sebagai gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian. Pemilihan tersebut didasarkan pada hasil grafik yang menunjukkan bahwa garis hasil analisis (garis merah) paling dominan berada di dalam batas gradasi yang ditentukan oleh dua garis batas,

sedangkan pada grafik lainnya sebagian garis hasil analisis masih berada di luar batas gradasi yang dipersyaratkan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperoleh ukuran butir maksimum agregat sebesar 25 mm. Dengan demikian, agregat yang digunakan dalam penelitian ini tergolong agregat kasar berukuran maksimum 25 mm dan memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai material penyusun beton berserat pada benda uji silinder berukuran 15 cm × 30 cm dan balok berukuran 15 cm × 15 cm × 64 cm.

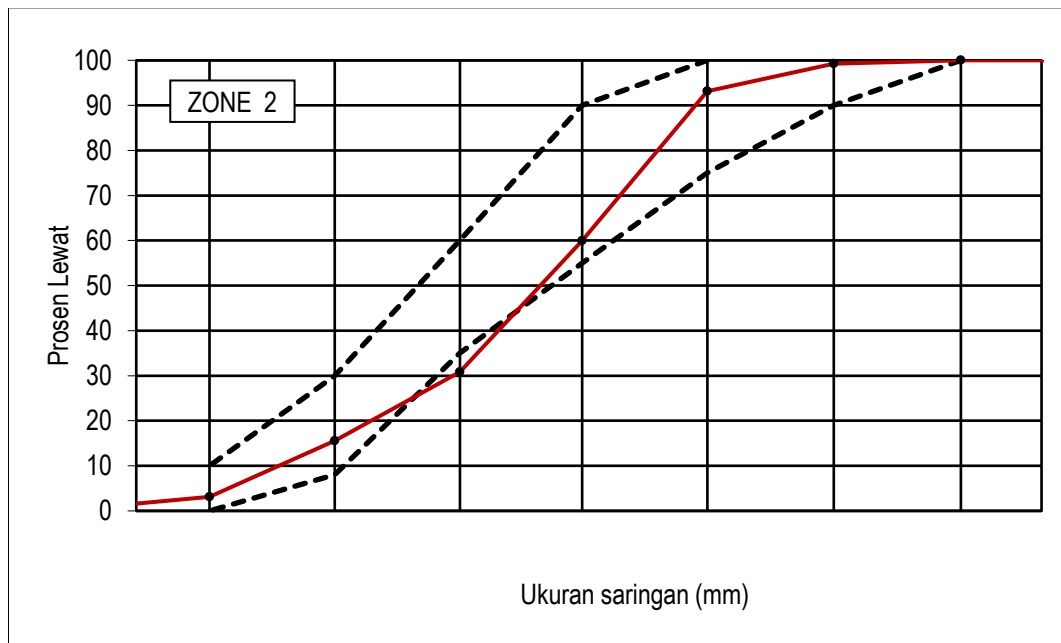
Tabel 4. 2 Data Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus

Berat contoh kering: 841,45 gr

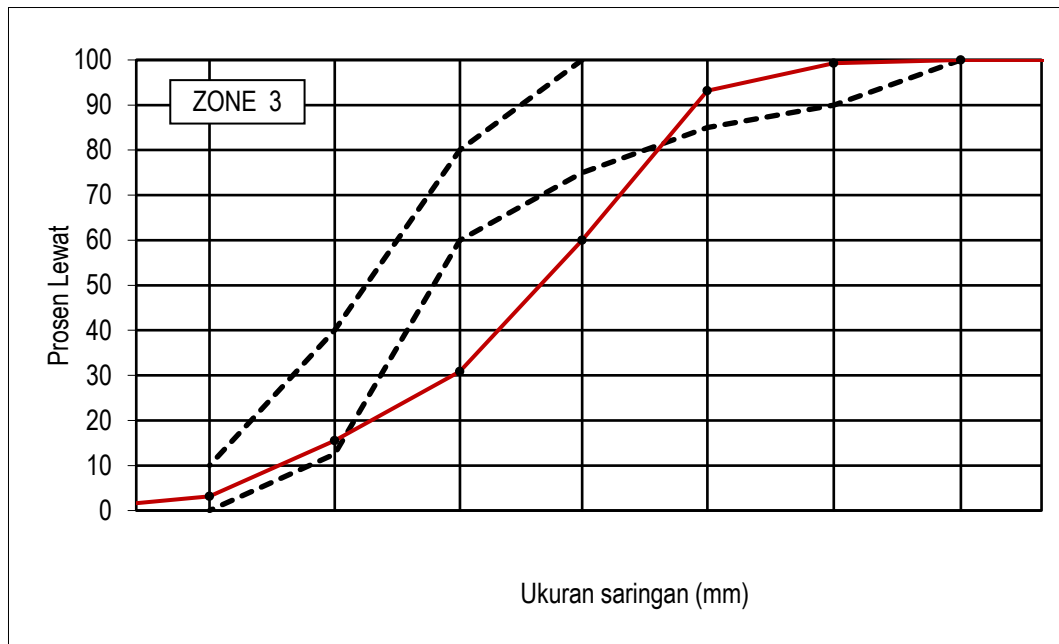
| Ukuran saringan    | Berat tertahan | Prosen tertahan | Kumulatif |        |
|--------------------|----------------|-----------------|-----------|--------|
|                    |                |                 | tertahan  | lewat  |
| 12,5 mm (1/2")     | 0,00           | 0,00            | 0,00      | 100,00 |
| 9,6 mm (3/8")      | 0,00           | 0,00            | 0,00      | 100,00 |
| 4,75 mm (No. 4)    | 6,25           | 0,74            | 0,74      | 99,26  |
| 2,36 mm (No. 8)    | 51,55          | 6,13            | 6,87      | 93,13  |
| 1,18 mm (No. 16)   | 278,90         | 33,15           | 40,01     | 59,99  |
| 0,6 mm (No. 30)    | 245,30         | 29,15           | 69,17     | 30,83  |
| 0,3 mm (No. 50)    | 128,65         | 15,29           | 84,46     | 15,54  |
| 0,15 mm (No. 100)  | 104,25         | 12,39           | 96,84     | 3,16   |
| 0,075 mm (No. 200) | 21,90          | 2,60            | 99,45     | 0,55   |
| pan                | 4,65           | 0,55            | 100,00    | 0,00   |



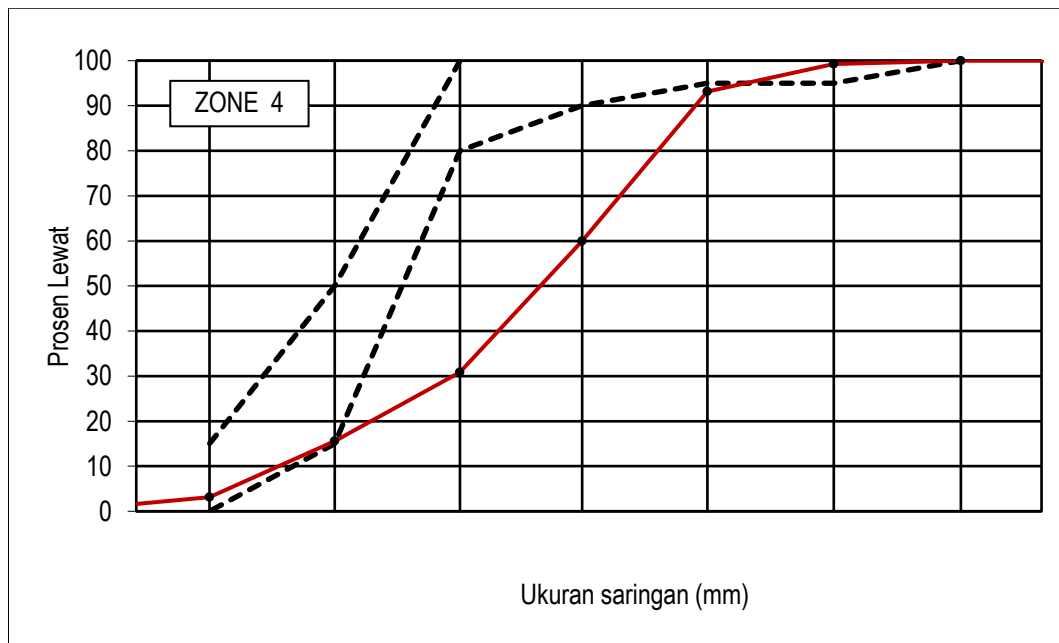
Gambar 4. 6 Grafik Gradasi Agregat Halus Zone 1



Gambar 4. 7 Grafik Gradasi Agregat Halus Zone 2



Gambar 4. 8 Grafik Gradasi Agregat Halus Zone 3



Gambar 4. 9 Grafik Gradasi Agregat Halus Zone 4

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat halus yang ditampilkan pada Gambar 4.6 hingga Gambar 4.9, dipilih Gambar 4.6 sebagai gradasi agregat halus yang digunakan dalam penelitian. Pemilihan tersebut didasarkan pada hasil grafik yang menunjukkan bahwa garis hasil analisis

(garis merah) paling dominan berada di dalam batas gradasi Zona 1, sedangkan pada grafik Zona 2, Zona 3, dan Zona 4 sebagian garis hasil analisis berada di luar batas gradasi yang dipersyaratkan. Berdasarkan hasil tersebut, agregat halus yang digunakan termasuk dalam gradasi Zona 1 sehingga memenuhi ketentuan gradasi yang dipersyaratkan dan layak digunakan sebagai material penyusun beton pada penelitian ini.

#### **4.1.1 Hasil Pemeriksaan Berat Isi**

Pengujian berat isi dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi material serta mengetahui besarnya rongga udara yang terdapat di dalam.



Gambar 4. 10 Pemeriksaan Berat Isi

Pengujian berat isi dilaksanakan menggunakan wadah berukuran tertentu yang volumenya telah diketahui, timbangan, serta material uji berupa agregat halus dan agregat kasar. Tahap awal dilakukan dengan memastikan wadah dalam keadaan bersih dan kering, kemudian wadah ditimbang untuk memperoleh berat kosongnya. Selanjutnya, agregat dimasukkan ke dalam wadah hingga terisi penuh tanpa dilakukan pemadatan. Permukaan material kemudian diratakan hingga sejajar dengan tepi wadah menggunakan mistar

perata. Setelah itu, wadah yang telah berisi agregat ditimbang untuk mendapatkan berat total. Nilai berat isi ditentukan dari selisih antara berat wadah berisi agregat dan berat wadah kosong, kemudian dibagi dengan volume wadah yang digunakan. Prosedur ini dilakukan pada masing-masing jenis agregat sehingga diperoleh nilai berat isi yang menjadi salah satu parameter dalam penyusunan campuran beton.

Tabel 4. 3 Berat Isi Lepas Agregat kasar

| LEPAS / GEMBUR |                                                           | I     | II    |
|----------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|
| A.             | Berat tempat + Benda uji (gr)                             | 2178  | 2198  |
| B.             | Berat tempat (gr)                                         | 779   | 779   |
| C.             | Berat benda uji (gr)                                      | 1399  | 1419  |
| D.             | Isi tempat ( $\text{cm}^3$ )                              | 10000 | 10000 |
| E.             | Berat isi benda uji ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )           | 0,14  | 0,14  |
| F.             | Berat isi benda uji rata-rata ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) | 0,14  |       |

Tabel 4. 4 Berat Isi Padat Agregat kasar

| P A D A T |                                                           | I     | II    |
|-----------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|
| A.        | Berat tempat + Benda uji (gr)                             | 2280  | 2279  |
| B.        | Berat tempat (gr)                                         | 779   | 779   |
| C.        | Berat benda uji (gr)                                      | 1501  | 1500  |
| D.        | Isi tempat ( $\text{cm}^3$ )                              | 10000 | 10000 |
| E.        | Berat isi benda uji ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )           | 0,15  | 0,15  |
| F.        | Berat isi benda uji rata-rata ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) | 0,15  |       |

Tabel 4. 5 Berat Isi Lepas Agregat Halus

| LEPAS / GEMBUR |                               |                       | I    | II   |
|----------------|-------------------------------|-----------------------|------|------|
| A.             | Berat tempat + Benda uji      | (gr)                  | 8170 | 8260 |
| B.             | Berat tempat                  | (gr)                  | 3520 | 3520 |
| C.             | Berat benda uji               | (gr)                  | 4650 | 4740 |
| D.             | Isi tempat                    | (cm <sup>3</sup> )    | 3000 | 3000 |
| E.             | Berat isi benda uji           | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,55 | 1,58 |
| F.             | Berat isi benda uji rata-rata | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,57 |      |

Tabel 4. 6 Berat Isi Padat Agregat Halus

| P A D A T |                               |                       | I    | II   |
|-----------|-------------------------------|-----------------------|------|------|
| A.        | Berat tempat + Benda uji      | (gr)                  | 8470 | 8440 |
| B.        | Berat tempat                  | (gr)                  | 3520 | 3520 |
| C.        | Berat benda uji               | (gr)                  | 4950 | 4920 |
| D.        | Isi tempat                    | (cm <sup>3</sup> )    | 3000 | 3000 |
| E.        | Berat isi benda uji           | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,65 | 1,64 |
| F.        | Berat isi benda uji rata-rata | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,65 |      |

Berdasarkan hasil pengujian berat isi, agregat kasar memperoleh nilai berat isi lepas rata-rata sebesar 0,14 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan berat isi padat rata-ratanya sebesar 0,15 g/cm<sup>3</sup>. Pada agregat halus, diperoleh nilai berat isi lepas rata-rata sebesar 1,57 g/cm<sup>3</sup> dan berat isi padat rata-rata sebesar 1,65 g/cm<sup>3</sup>. Perbedaan nilai antara kondisi lepas dan padat mengindikasikan bahwa proses pemadatan membuat butiran agregat tersusun lebih rapat. Kondisi tersebut

mengurangi jumlah rongga udara di antara partikel sehingga menghasilkan nilai berat isi yang lebih tinggi.

#### **4.1.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat**

Pemeriksaan kadar air agregat dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang masih terkandung dalam agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan pada campuran beton. Pengujian ini bertujuan memperoleh nilai kadar air aktual dari masing-masing agregat sebagai acuan dalam melakukan penyesuaian kebutuhan air pada perancangan campuran beton. Dengan diketahuinya kadar air agregat secara tepat, proporsi campuran yang telah direncanakan dapat dipertahankan sesuai dengan nilai Faktor Air-Cementitious (FAS) yang digunakan dalam penelitian.

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan mengeringkan sampel agregat di dalam oven pada suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai berat yang konstan. Sebelum proses pengeringan, sampel terlebih dahulu ditimbang untuk memperoleh berat awal. Setelah pengeringan selesai, sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian ditimbang kembali untuk mendapatkan berat kering oven. Perbedaan antara berat awal dan berat kering oven selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menghitung persentase kadar air yang terkandung pada agregat.

Tabel 4. 7 Kadar Air Agregat Kasar

|    |                                                |      |     | ASLI |      |
|----|------------------------------------------------|------|-----|------|------|
|    | Nomor test                                     |      |     | D    | E    |
| A. | Berat tempat                                   | (gr) |     | 291  | 289  |
| B. | Berat tempat + contoh                          | (gr) |     | 2301 | 2337 |
| C. | Berat tempat + contoh kering oven              | (gr) |     | 2290 | 2330 |
| D. | Kadar air = $\frac{B - C}{C - A} \times 100\%$ |      | (%) | 0,55 | 0,34 |
| E. | Kadar air rata-rata                            | (%)  |     | 0,45 |      |

Tabel 4. 8 Kadar Air Agregat Halus

|    |                                                |      |     | ASLI |      |
|----|------------------------------------------------|------|-----|------|------|
|    | Nomor test                                     |      |     | B    | C    |
| A. | Berat tempat                                   | (gr) |     | 275  | 275  |
| B. | Berat tempat + contoh                          | (gr) |     | 808  | 873  |
| C. | Berat tempat + contoh kering oven              | (gr) |     | 794  | 855  |
| D. | Kadar air = $\frac{B - C}{C - A} \times 100\%$ |      | (%) | 2,70 | 3,10 |
| E. | Kadar air rata-rata                            | (%)  |     | 2,90 |      |

Berdasarkan hasil pemeriksaan kadar air, agregat kasar memiliki kadar air rata-rata sebesar 0,45%, sedangkan agregat halus menunjukkan kadar air rata-rata sebesar 2,90%. Data tersebut mengindikasikan bahwa kandungan air pada agregat halus lebih tinggi dibandingkan dengan agregat kasar. Kondisi ini dipengaruhi oleh ukuran butiran agregat halus yang lebih kecil sehingga memiliki luas permukaan yang lebih besar, yang menyebabkan kemampuan menyerap dan mempertahankan air menjadi lebih tinggi.

Nilai kadar air yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam melakukan penyesuaian terhadap kebutuhan air pencampur serta berat agregat pada perancangan campuran beton berserat. Koreksi tersebut diperlukan agar proporsi campuran tetap sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Dengan demikian, komposisi material dalam setiap campuran dapat dipertahankan secara konsisten sehingga mutu dan keseragaman benda uji selama proses pembuatan beton berserat dapat terjaga.

#### **4.1.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus**

Pemeriksaan kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa kualitas agregat telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan sehingga layak digunakan sebagai material penyusun beton. Adapun hasil pemeriksaan kadar lumpur pada masing-masing agregat disajikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Ketinggian agregat halus (V1)} &= 499 \text{ ml} \\ \text{Ketinggian lumpur (V2)} &= 0,1 \text{ ml} \\ \text{Kadar lumpur} &= (V2 / (V1+V2)) \times 100\% \\ &= 0,1 / (499+0,1) \times 100\% \\ &= 0,020\%\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pemeriksaan, kadar lumpur pada agregat diperoleh sebesar 1%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan lumpur dalam agregat tergolong rendah sehingga masih memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai material penyusun beton. Oleh karena itu, agregat tersebut dapat dimanfaatkan dalam pembuatan beton berserat karena kandungan lumpurnya tidak menghambat ikatan antara agregat dan pasta pengikat, sehingga mampu mendukung mutu beton yang dihasilkan.

#### 4.1.5 Hasil Pemeriksaan dan Penyerapan Agregat

Pemeriksaan berat jenis dan daya serap air agregat dilakukan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus maupun agregat kasar yang digunakan sebagai material dalam penelitian. Pengujian ini bertujuan memperoleh nilai berat jenis kering oven (*oven dry specific gravity*), berat jenis jenuh kering permukaan atau *Saturated Surface Dry* (*SSD specific gravity*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), serta nilai penyerapan air (*absorption*). Hasil pengujian tersebut digunakan sebagai acuan dalam perancangan campuran beton sekaligus untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air.

Pengujian berat jenis agregat halus dilakukan menggunakan piknometer. Sebelum pengujian, agregat dikondisikan terlebih dahulu hingga mencapai keadaan jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*). Selanjutnya, sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam piknometer yang telah diisi air. Setelah proses penimbangan selesai, sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai berat konstan, kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh berat kering oven. Data hasil pengujian tersebut digunakan untuk menghitung nilai berat jenis kering oven, berat jenis SSD, berat jenis semu, serta penyerapan air agregat halus. Adapun pengujian berat jenis agregat kasar diawali dengan merendam sampel di dalam air selama kurang lebih 24 jam hingga mencapai kondisi jenuh. Setelah itu, agregat dikeringkan hingga mencapai kondisi SSD, kemudian dilakukan penimbangan di udara dan di dalam air. Tahap berikutnya, sampel dikeringkan kembali dalam oven hingga diperoleh berat konstan sebagai berat kering oven. Berdasarkan hasil penimbangan tersebut selanjutnya dihitung nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

Tabel 4. 9 Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan Agregat Kasar

|                                     |                                      | I      | II     | Rata-rata |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|-----------|
| Berat contoh kering oven            | B <sub>k</sub>                       | 4759,8 | 5655,9 | 5207,85   |
| Berat contoh kering permukaan jenuh | B <sub>j</sub>                       | 4876,7 | 5799,5 | 5338,1    |
| Berat contoh di dalam air           | B <sub>a</sub>                       | 2967,4 | 3526   | 3246,7    |
| Berat Jenis (bulk)                  | $\frac{B_k}{B_j - B_a}$              | 2,49   | 2,49   | 2,49      |
| Berat jenis kering permukaan jenuh  | $\frac{B_j}{B_j - B_a}$              | 2,55   | 2,55   | 2,55      |
| Berat jenis semu (apparent)         | $\frac{B_k}{B_k - B_a}$              | 2,66   | 2,66   | 2,66      |
| Penyerapan (absorpsi)               | $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$ | 2,46   | 2,54   | 2,50      |

Tabel 4. 10 Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan Agregat Halus

|                                        |                                      | Iwaki  | Pyrex  | Rata-rata |
|----------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|-----------|
| Berat contoh kering oven               | B <sub>k</sub>                       | 494,20 | 493,80 | 494,00    |
| Berat contoh kering permukaan jenuh    | B <sub>j</sub>                       | 500,00 | 500,00 | 540,20    |
| Berat piknometer diisi air pada 25°C   | B                                    | 666,20 | 646,50 | 656,35    |
| Berat piknometer + contoh + air (25°C) | B <sub>t</sub>                       | 979,10 | 958,40 | 968,75    |
| Berat Jenis (bulk)                     | $\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$        | 1,85   | 2,63   | 2,63      |
| Berat jenis kering permukaan jenuh     | $\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$        | 2,17   | 2,66   | 2,67      |
| Berat jenis semu (apparent)            | $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$        | 2,73   | 2,71   | 2,72      |
| Penyerapan (absorpsi)                  | $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$ | 17,44  | 1,26   | 1,21      |

#### 4.1.6 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar (Abrasi Test)



Gambar 4. 11 Abrasi Test

Pemeriksaan keausan agregat kasar menggunakan metode Abrasi Los Angeles dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan agregat terhadap gesekan, tumbukan, dan keausan yang dapat terjadi selama proses pencampuran maupun ketika beton menerima beban. Pengujian ini bertujuan menentukan persentase kehilangan berat agregat akibat proses abrasi menggunakan mesin Los Angeles (*Los Angeles Abrasion Machine*). Nilai abrasi yang diperoleh menjadi salah satu indikator kualitas agregat kasar yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton.

Proses pengujian diawali dengan menyiapkan sampel agregat kasar sesuai gradasi atau ukuran yang telah ditetapkan. Sampel kemudian dikeringkan di dalam oven hingga mencapai berat konstan, selanjutnya ditimbang sebagai berat awal pengujian. Setelah itu, agregat dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles bersama sejumlah bola baja (*abrasive charge*) yang berfungsi sebagai media pengaus. Mesin dijalankan sesuai prosedur standar sehingga agregat dan bola baja saling bergesekan serta mengalami tumbukan secara berulang di dalam silinder. Setelah jumlah putaran yang dipersyaratkan tercapai, material dikeluarkan dari mesin dan diayak menggunakan saringan No. 12 (1,70 mm). Material yang lolos saringan dianggap sebagai bagian yang

mengalami keausan, sedangkan material yang tertahan digunakan untuk menghitung kehilangan berat agregat selama proses pengujian.

Persentase nilai abrasi ditentukan berdasarkan perbandingan antara berat agregat yang hilang dengan berat awal sampel, kemudian dinyatakan dalam satuan persen. Nilai abrasi yang semakin rendah menunjukkan bahwa agregat memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap keausan. Hasil pengujian abrasi agregat kasar pada penelitian ini selanjutnya disajikan dalam tabel hasil pengujian.

Tabel 4. 11 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar (Abrasi Test)

| Gradasi pemeriksaan                   |                 | B (fraksi 10 - 20 mm) |               |               |               |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Saringan                              |                 | I                     |               | II            |               |
| Lolos                                 | tertahan        | Berat sebelum         | Berat sesudah | Berat sebelum | Berat sesudah |
| 76,20 m (3")                          | 63,50 mm (2,5") |                       |               |               |               |
| 63,50 mm (2,5")                       | 50,80 mm (2")   |                       |               |               |               |
| 50,80 mm (2")                         | 37,50 mm (1,5") |                       |               |               |               |
| 37,50 mm (1,5")                       | 25,40 mm (1")   |                       |               |               |               |
| 25,40 mm (1")                         | 19,00 mm (3/4") |                       |               |               |               |
| 19,00 mm (3/4")                       | 12,50 mm (1/2") | 2501                  |               | 2500          |               |
| 12,50 mm (1/2")                       | 9,50 mm (3/8")  | 2500,4                |               | 2500,9        |               |
| 9,50 mm (3/8")                        | 6,30 mm (1/4")  |                       |               |               |               |
| 6,30 mm (1/4")                        | 4,75 mm (No. 4) |                       |               |               |               |
| 4,75 mm (No. 4)                       | 2,38 mm (No. 8) |                       |               |               |               |
| Jumlah berat                          |                 | 5001,4                |               | 5000,9        |               |
| Berat tertahan saringan no 12 & no. 4 |                 | ---                   | 2407,9        | ---           | 2423          |

|   |                                                  | I      | II     |      |
|---|--------------------------------------------------|--------|--------|------|
| a | Berat benda uji semula                           | 5001,4 | 5000,9 | gram |
| b | Berat benda uji tertahan saringan No.12 (& No.4) | 2407,9 | 2423   | gram |
|   | Keausan: $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$           | 51,86  | 51,55  | %    |

#### 4.1.7 Hasil Pemeriksaan Konsistensi dan Waktu Ikat

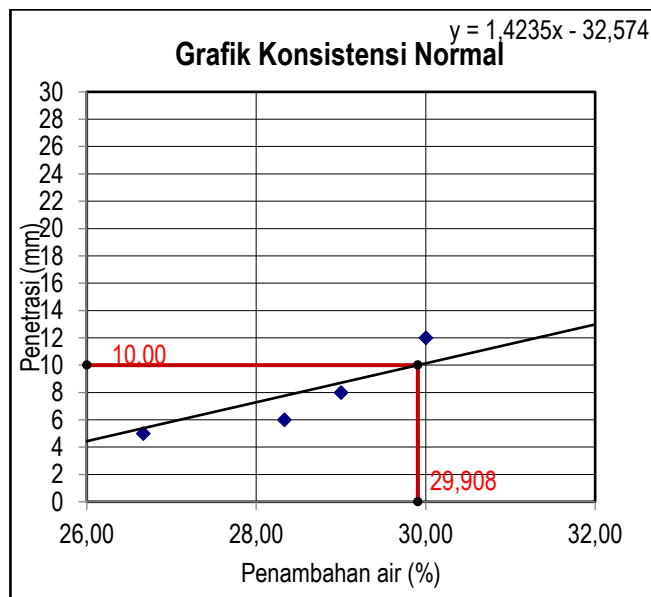
Pemeriksaan konsistensi normal dan waktu ikat pasta semen dilakukan untuk mengetahui karakteristik pasta yang dihasilkan setelah penambahan molase sebagai bahan tambah. Pengujian konsistensi normal bertujuan untuk menentukan jumlah air yang diperlukan agar pasta semen memiliki tingkat kelecakan yang memenuhi ketentuan. Sementara itu, pengujian waktu ikat dilakukan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan pasta semen sejak mulai mengalami proses pengikatan (*initial setting time*) hingga mencapai kondisi mengeras sepenuhnya (*final setting*

time). Hasil dari kedua pengujian tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan molase terhadap kemudahan pengerjaan pasta serta proses pengikatan semen. Data hasil pemeriksaan konsistensi normal dan waktu ikat pasta semen pada penelitian ini disajikan pada tabel berikut.

#### a. Hasil Pengujian Konsistensi

Tabel 4. 12 Konsistensi Normal

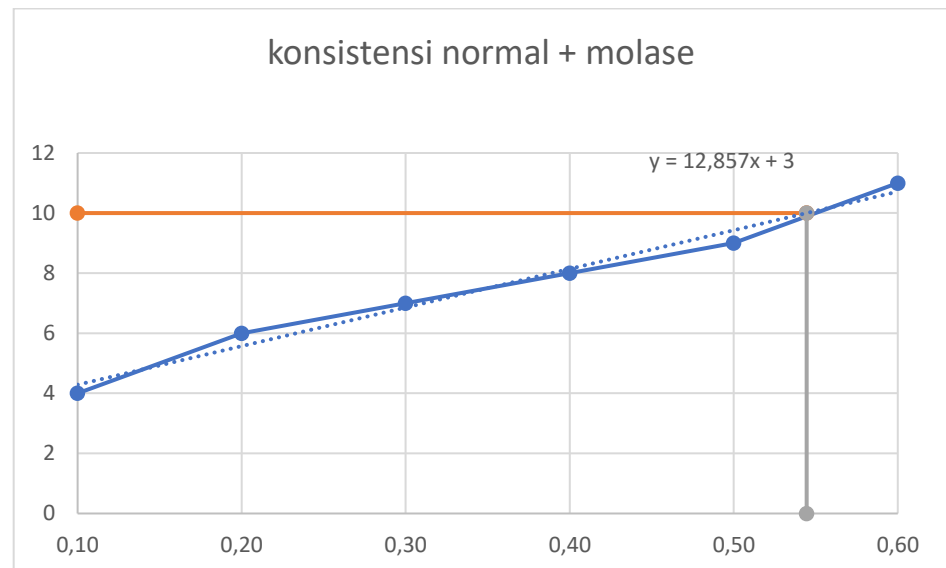
| No. | Berat semen | Air yang dipakai |       | Penetrasi (mm) |
|-----|-------------|------------------|-------|----------------|
|     |             | ml               | %     |                |
| 1   | 300         | 75               | 25,00 | 4              |
| 2   | 300         | 80               | 26,67 | 5              |
| 3   | 300         | 85               | 28,33 | 6              |
| 4   | 300         | 87               | 29,00 | 8              |
| 5   | 300         | 90               | 30,00 | 12             |



Gambar 4. 12 Konsistensi Normal

Tabel 4. 13 Konsistensi Bahan Tambah Molase

| semen<br>(g) | air<br>(g) | Molase |      | Berat<br>air<br>(g) | Brt molase setelah<br>x konversi | Kontrol |
|--------------|------------|--------|------|---------------------|----------------------------------|---------|
|              |            | %      | ml   |                     |                                  |         |
| 300          | 75,00      | 0,10%  | 0,30 | 74,61               | 0,39                             | 75,00   |
| 300          | 75,00      | 0,20%  | 0,6  | 74,22               | 0,78                             | 75,00   |
| 300          | 75,00      | 0,30%  | 0,9  | 73,84               | 1,16                             | 75,00   |
| 300          | 75,00      | 0,40%  | 1,2  | 73,45               | 1,55                             | 75,00   |
| 300          | 75,00      | 0,50%  | 1,5  | 73,06               | 1,94                             | 75,00   |
| 300          | 75,00      | 0,54%  | 1,63 | 72,89               | 2,11                             | 75,00   |
| 300          | 75,00      | 0,60%  | 1,8  | 72,67               | 2,33                             |         |



Gambar 4. 13 Konsistensi Bahan Tambah Molase

### b. Hasil Pengujian Waktu Ikat

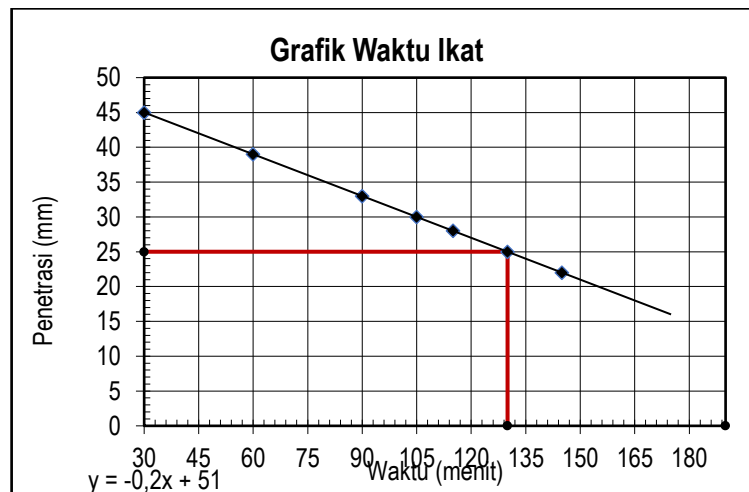
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Waktu Ikat Normal

| Awal |               |                |
|------|---------------|----------------|
| No.  | Waktu (menit) | Penetrasi (mm) |
| 1    | 30            | 45             |
| 2    | 60            | 39             |
| 3    | 90            | 33             |
| 4    | 105           | 30             |
| 5    | 115           | 28             |
| 6    | 130           | 25             |
| 7    | 145           | 22             |
| 8    | 145           | Berbekas       |
| 9    | 160           | Berbekas       |
| 10   | 175           | Berbekas       |
| 11   | 190           | Tidak Berbekas |

Hasil:

Waktu ikat awal = 145 menit

Waktu ikat akhir = 190 menit



Gambar 4. 14 Grafik Waktu Ikat

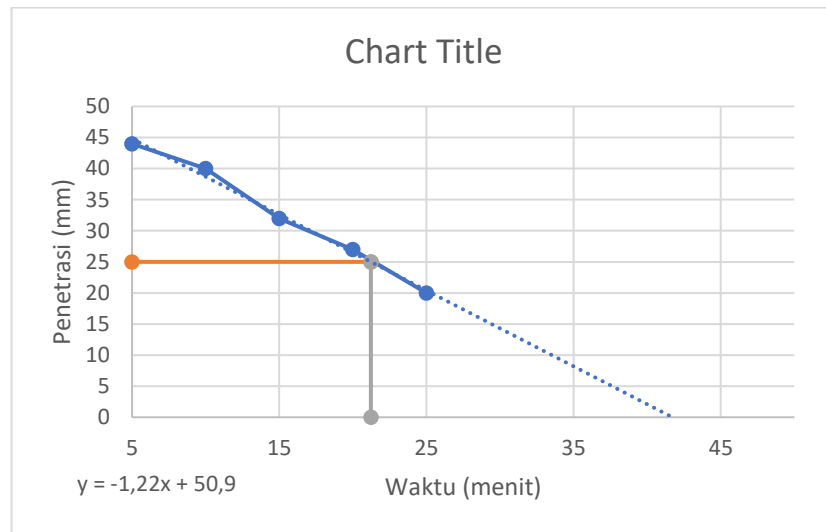
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Waktu Ikat Bahan Tambah Molase

| sempel 2 waktu ikat molase 0,54% |               |                |
|----------------------------------|---------------|----------------|
| no.                              | waktu (menit) | Penetrasi (mm) |
| 1                                | 5             | 44             |
| 2                                | 10            | 40             |
| 3                                | 15            | 32             |
| 4                                | 20            | 27             |
| 5                                | 25            | 20             |
| 6                                | 25            | Berbekas       |
| 7                                | 35            | Berbekas       |
| 8                                | 45            | Berbekas       |
| 9                                | 55            | Berbekas       |
| 10                               | 65            | Berbekas       |
| 11                               | 75            | Berbekas       |
| 12                               | 85            | Berbekas       |
| 13                               | 95            | Berbekas       |
| 14                               | 105           | Tidak Berbekas |

Hasil:

Waktu ikat awal = 25 menit

Waktu ikat akhir = 105 menit



Gambar 4. 15 Grafik Waktu Ikat

#### 4.1.8 Hasil Pemeriksaan Material

Tabel 4. 16 Hasil Pemeriksaan Material

| No . | Pengujian                                                           | Standar Acuan     | Spesifikasi | Hasil        | Keterangan |
|------|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|--------------|------------|
| 1    | Berat isi agregat kasar (g/cm <sup>3</sup> )<br>• Padat<br>• Gembur | SNI 03-4804- 1998 | -           | 0,14<br>0,15 | -          |
| 2    | Berat isi agregat halus (g/cm <sup>3</sup> )<br>• Padat<br>• Gembur | SNI 03-4804- 1998 | -           | 1,65<br>1,57 | -          |
| 3    | Analisa saringan agregat kasar                                      | SNI 03-1968- 1990 | -           | Maks 25 mm   | -          |
| 4    | Analisa saringan agregat Halus                                      | SNI 03-1968- 1990 | -           | Zona I       | -          |
| 5    | Bahan lolos saringan No. 200 agregat halus (%)                      | SNI 03-4142- 1997 | Maks 5      | 0,40         | Memenuhi   |
| 6    | Kadar lumpur Agregat halus                                          | SNI 03-4428- 1997 | Maks 5      | 0,20         | Memenuhi   |
| 7    | Kadar zat organik Agregat halus                                     | SNI 2816:2014     | -           | Bening       | -          |

|    |                                                                                                                                                         |                   |   |                              |   |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---|------------------------------|---|
| 8  | Kadar air agregat Kasar asli (%)                                                                                                                        | SNI 03-1971- 1990 | - | 0,45                         | - |
| 9  | Kadar air agregat Halus asli (%)                                                                                                                        | SNI 03-1971- 1990 | - | 2,90                         | - |
| 10 | BJ dan Penyerapan Agregat kasar <ul style="list-style-type: none"> <li>• BJ Bulk</li> <li>• BJ SSD</li> <li>• Apparent</li> <li>• Penyerapan</li> </ul> | SNI 1970:2008     | - | 2,49<br>2,55<br>2,66<br>2,50 | - |

## 4.2 Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Metode perancangan campuran beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Proses perancangan diawali dengan menetapkan berbagai parameter yang diperlukan sebagai dasar dalam menghitung komposisi setiap bahan penyusun beton. Penentuan parameter tersebut dilakukan agar campuran beton yang direncanakan dapat memenuhi persyaratan mutu dan karakteristik yang telah ditetapkan.

### 4.2.1 Perancangan Campuran

#### 1. Data Perencanaan

- Kuat tekan rencana ( $f'_c$ ) = 20 Mpa.
- Ukuran maksimum agregat kasar = 25 mm.
- Gradasi agregat halus = Zona 1.
- Volume beton yang direncanakan =  $<1000 \text{ m}^3$ .
- Jenis agregat kasar = Batu pecah.
- Berat jenis agregat halus kondisi SSD = 2,67
- Berat jenis agregat kasar kondisi SSD = 2,55
- Faktor Air-Cementitious (FAS) = 0,576

#### 2. Perhitungan Kuat Tekan Rencana

Mengacu pada SNI 7656:2012 mengenai Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, penetapan kuat tekan rata-rata yang direncanakan (*target mean strength*) dilakukan dengan memperhitungkan besarnya standar deviasi proses produksi beton. Dalam penelitian ini, nilai standar deviasi yang digunakan adalah 6 MPa. Nilai tersebut mengacu pada ketentuan yang diterapkan di Laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang untuk pekerjaan pengecoran dengan volume kurang dari 1000 m<sup>3</sup>. Dengan mutu beton rencana ( $f'_c$ ) sebesar 20 MPa, maka kuat tekan rata-rata yang menjadi sasaran ( $f'_{cr}$ ) dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F'_{cr} &= f'_c + 1,64 \times S_r \\ &= 20 + 1,64 \times 6 \\ &= 29,84 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Keterangan:

$F'_{cr}$  : Kuat tekan rencana rata-rata

$F'_c$  : Kuat tekan

$S_r$  : Nilai standar deviasi

Berdasarkan perhitungan diatas, kuat tekan rencana yang ditargetkan adalah 29,84 Mpa.

### **3. Faktor Air *Cementitious* (W/C)**

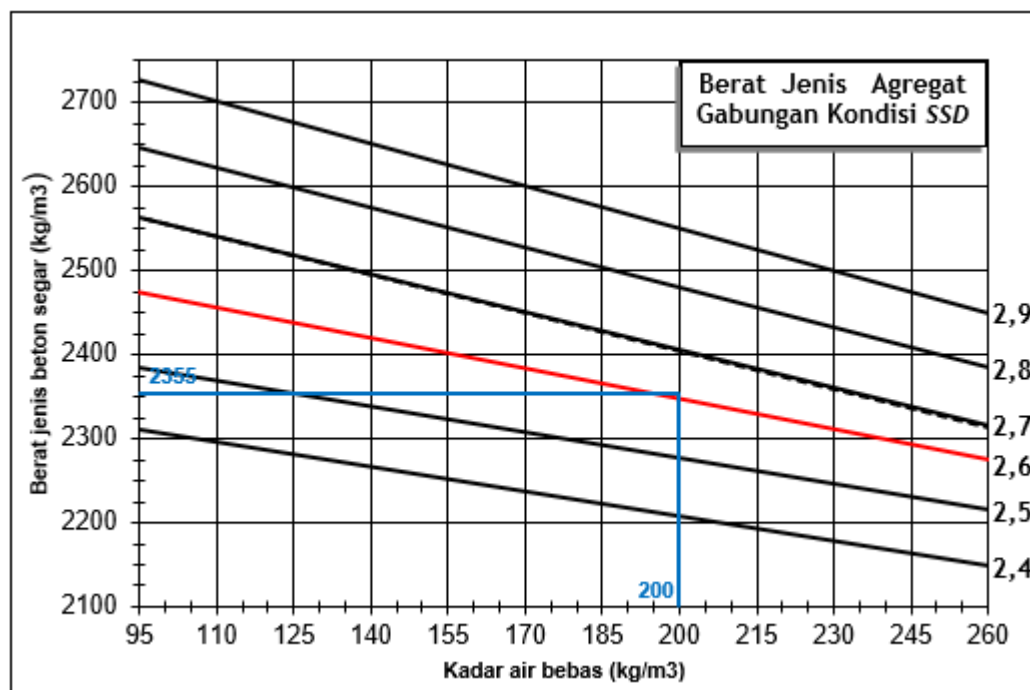
- a. Menghitung factor air semen

Tabel 4. 17 Estimasi Kuat Tekan Beton, Faktor Air Semen (W/C) = 0,5

| Jenis semen<br>...<br>...        | Jenis agregat<br>Kasar | Kekuatan tekan (MPa) |    |    |    | Bentuk uji |
|----------------------------------|------------------------|----------------------|----|----|----|------------|
|                                  |                        | Pada umur (hari)     |    |    |    |            |
|                                  |                        | 3                    | 7  | 28 | 29 |            |
| Semen Portland<br>Tipe 1         | Batu tak dipecahkan    | 17                   | 23 | 33 | 40 | Silinder   |
|                                  | Batu pecah             | 19                   | 27 | 37 | 45 |            |
| Semen tahan sulfat<br>Tipe II, V | Batu tak dipecahkan    | 20                   | 28 | 40 | 48 | Kubus      |
|                                  | Batu pecah             | 25                   | 32 | 45 | 54 |            |
| Semen Portland<br>tipe III       | Batu tak dipecahkan    | 21                   | 28 | 38 | 44 | Silinder   |
|                                  | Batu pecah             | 25                   | 33 | 44 | 48 |            |
|                                  | Batu tak dipecahkan    | 25                   | 31 | 46 | 53 | Kubus      |
|                                  |                        | Batu pecah           | 30 | 40 | 53 |            |

Sumber: SNI 03-2834-2000

Kuat tekan beton dengan rasio air-semen (W/C) 0,5 dan umur rencana 28 hari = 37 MPa dengan menggunakan agregat kasar tanah tipe I semen dapat ditentukan dari tabel di atas



Gambar 4. 16 Kurva Korelasi Antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen

Berdasarkan tabel 4.16, untuk beton dengan faktor air semen (FAS) sebesar 0,5, penggunaan agregat kasar tipe batu pecah, dan umur rencana 28 hari, diperoleh kuat tekan rencana sebesar 37 MPa. Nilai tersebut kemudian diplot

pada gambar 4.16 dengan mengikuti kurva yang tersedia. Selanjutnya, nilai kuat tekan rata-rata yang disyaratkan ( $F'_{cr}$ ) sebesar 32 MPa diproyeksikan secara horizontal hingga memotong kurva, kemudian dari titik perpotongan tersebut ditarik garis vertikal ke bawah. Berdasarkan hasil pembacaan grafik, diperoleh nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,550.

b. Menentukan Kadar Air Bebas

Tabel 4. 18 Kadar Air Bebas

| AG MAX<br>(mm) | SLUMP (mm) |     |       |     |       |     |        |     |
|----------------|------------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|-----|
|                | 0-10       |     | 10-30 |     | 30-60 |     | 60-180 |     |
|                | Wh         | Wk  | Wh    | Wk  | Wh    | Wk  | Wh     | Wk  |
| 10             | 150        | 180 | 180   | 205 | 205   | 230 | 225    | 250 |
| 20             | 135        | 170 | 160   | 190 | 180   | 210 | 195    | 225 |
| 25             | 130        | 171 | 155   | 186 | 175   | 205 | 190    | 220 |
| 40             | 115        | 175 | 140   | 175 | 160   | 190 | 175    | 205 |

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.18 menunjukkan perkiraan kebutuhan air bebas yang ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat serta rentang nilai slump yang direncanakan. Dalam penelitian ini digunakan agregat kasar dengan ukuran maksimum 25 mm, sedangkan nilai slump yang ditetapkan berada pada kisaran 60–180 mm.

Berdasarkan:

- $$\begin{aligned} \text{Kadar air} &= \frac{2}{3} \times Wh + \frac{1}{3} Wk \\ &= \frac{2}{3} \times 190 + \frac{1}{3} 220 \\ &= 200 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dimana:

Wk = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wh = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

- Kebutuhan Jumlah Semen

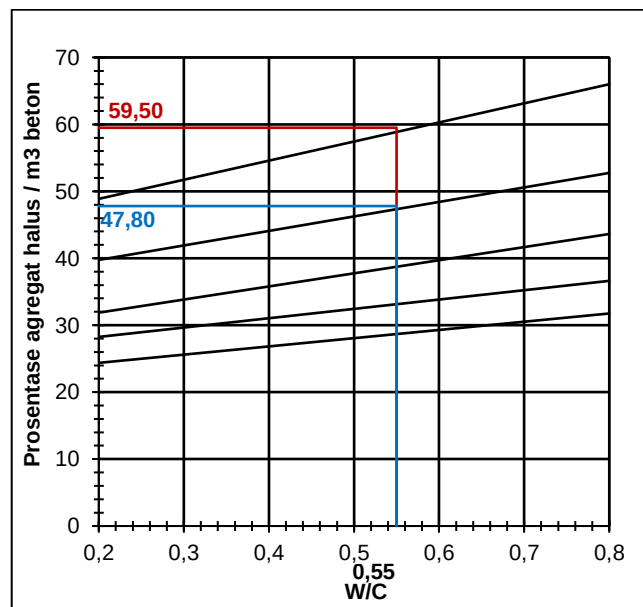
$$= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air cementitious}}$$

$$= \frac{200}{0,576}$$

$$= 363,64 \text{ kg/m}^3$$

c. Menentukan Presentase Agregat Halus dan Kasar (W/C)

- Faktor Air *Cementitious* = 0,576
- Batas Atas Zona 1 = 59,50
- Batas Bawah Zona 1 = 47,80
- Presentase Agregat Halus = 
$$\frac{\text{batas atas zona 1} + \text{batas bawah zona 1}}{2}$$
$$= \frac{59,50 + 47,80}{2}$$
$$= 53,65 \%$$
- Presentase Agregat Kasar = 
$$= 100\% - 53,65\%$$
$$= 46,35\%$$



Gambar 4. 17 Grafik Presentase Agregat Halus

Sumber: SNI 03-2834-2000

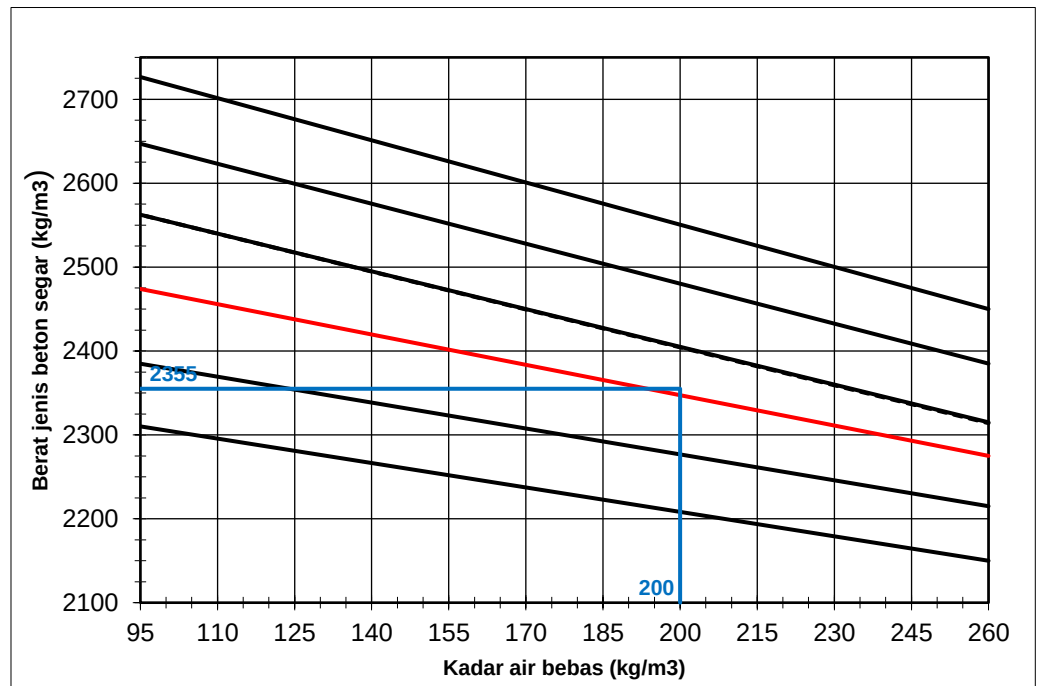
Berdasarkan Gambar 4.17, pada FAS 0,550 diperoleh persentase agregat halus Zona I sebesar 59,50% pada batas atas dan 47,80% pada batas bawah. Nilai tengah dari kedua batas tersebut adalah sebesar 53,65%, yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam perancangan campuran beton.

d. Menentukan Berat Jenis Beton Segar (W/C)

Perkiraan berat jenis beton segar ditentukan berdasarkan jumlah air bebas (W) dan berat jenis gabungan agregat:

- Berat jenis agregat halus (SSD) = 2,67
- Berat jenis agregat kasar (SSD) = 2,55
- Berat jenis gabungan agregat = 
$$\frac{(53,65 \% + 2,67 + 46,35\% + 2,55)}{100} = 2,613$$

Berdasarkan grafik hubungan antara berat jenis gabungan agregat dan kadar air bebas, nilai berat jenis gabungan agregat sebesar 2,67 diplot pada kurva, kemudian nilai kadar air bebas sebesar 200 kg/m<sup>3</sup> ditarik hingga memotong kurva. Dari titik perpotongan tersebut diperoleh perkiraan berat isi beton segar sebesar 2355 kg/m<sup>3</sup> yang selanjutnya digunakan dalam perancangan campuran beton.



Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Kadar air Bebas dan Beton Segar

Sumber: SNI 03-2834-2000

e. Menentukan Jumlah Agregat Kondisi SSD (*saturated Surface Dry*)

Setelah nilai berat isi beton segar diperoleh sebesar 2355 kg/m<sup>3</sup>, tahap berikutnya adalah menghitung jumlah total agregat. Perhitungan tersebut dilakukan dengan mengurangi berat isi beton segar terhadap jumlah semen dan kebutuhan air bebas yang telah ditentukan sebelumnya.

- Total jumlah agregat
  - = Berat jenis beton segar – semen – Kadar air bebas
  - = 2355 – 363,64 – 200
  - = 1791,36 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat halus SSD
  - = Presentase agregat halus × berat total jumlah agregat
  - = 53,65% × 1791,36
  - = 961,07 kg/m<sup>3</sup>

- Agregat Kasar SSD  

$$= \text{Presentase agregat kasar} \times \text{berat total jumlah agregat}$$

$$= 46,35\% \times 1791,36$$

$$= 830,30 \text{ kg/m}^3$$

f. Menentukan Komposisi Campuran Kondisi Lapangan

- Semen 
$$= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air cementitious}} = \frac{200}{0,550} = 363,64 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat Kasar  

$$= \text{agregat kasar SSD} + (((\text{kadar air a. kasar} - \text{penyerap a. kasar}) \times \text{a. kasar SSD})/100$$

$$= 830,30 + (((0,45\% - 2,50\%) \times 830,30)/100$$

$$= 813,27 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat Halus  

$$= \text{agregat halus SSD} + (((\text{kadar air a. halus} - \text{penyerap a. halus}) \times \text{a. halus SSD})/100$$

$$= 961,07 + (((2,90\% - 1,21\%) \times 969,87)/100$$

$$= 977,27 \text{ kg/m}^3$$

- Air  

$$= \text{Kadar air bebas} - (\text{Jumlah A. Halus} - \text{Jumlah Agregat Halus SSD}) - (\text{Jumlah Agregat Kasar} - \text{Jumlah Agregat Kasar SSD})$$

$$= 200 - (977,27 - 967,07) - (813,27 - 830,30)$$

$$= 200,83 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh proporsi campuran beton pada kondisi lapangan yang mencakup kebutuhan semen, agregat halus, agregat kasar, serta air pencampur. Proporsi campuran tersebut kemudian dijadikan sebagai pedoman dalam pelaksanaan pembuatan benda uji.

- Semen  $= 363,64 \text{ kg/m}^3$
- Agregat Kasar  $= 813,27 \text{ kg/m}^3$

- Agregat Halus =  $977,27 \text{ kg/m}^3$
  - Air =  $200,83 \text{ kg/m}^3$
- g. Menentukan Proporsi Campuran Beton Pada Kondisi Lapangan Untuk Pembuatan 8 Sampel Benda uji
- Volume silinder 15 x 30 cm
 
$$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3$$

$$= 0,0053 \text{ m}^3$$
  - Volume total 6 silinder
 
$$= \text{Volume silinder} \times 6$$

$$= 0,0053 \times 6$$

$$= 0,032 \text{ m}^3$$
  - Volume balok 15 x 15 x 65 cm
 
$$= l \times t \times p$$

$$= 0,15 \times 0,15 \times 0,65$$

$$= 0,0146 \text{ m}^3$$
  - Volume total 2 balok
 
$$= \text{Volume balok } 15 \times 15 \times 65 \times 2$$

$$= 0,0293 \text{ m}^3$$
  - Volume total
 
$$= \text{Total volume silinder} + \text{Total volume balok}$$

$$= 0,032 + 0,0293$$

$$= 0,06104 \text{ m}^3$$
  - Faktor Kehilangan = 1,2
  - Semen
 
$$= \text{jumlah semen} \times \text{volume total} \times \text{faktor kehilangan}$$

$$= 363,636 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 26,64 \text{ kg/m}^3$$
  - Agregat halus

$$\begin{aligned}
&= \text{jumlah agregat halus} \times \text{volume total} \times \\
&\quad \text{faktor kehilangan} \\
&= 977,269 \times 0,06104 \times 1,2 \\
&= 71,59 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

- Agregat kasar

$$\begin{aligned}
&= \text{jumlah agregat kasar} \times \text{volume total} \times \\
&\quad \text{faktor kehilangan} \\
&= 813,269 \times 0,06104 \times 1,2 \\
&= 59,57 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

- Air

$$\begin{aligned}
&= \text{jumlah air} \times \text{volume total} \times \text{faktor kehilangan} \\
&= 200,83 \times 0,06104 \times 1,2 \\
&= 14,7112 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh proporsi campuran beton normal pada kondisi lapangan untuk pembuatan 6 benda uji silinder dan 2 benda uji balok, dengan rincian komposisi sebagai berikut:

- Semen = 26,64 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat halus = 71,59 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat kasar = 59,57 kg/m<sup>3</sup>
- Air = 14,71 kg/m<sup>3</sup>

#### 4. Perhitungan Komposisi Campuran Bahan Tambah Molase dan Serat Banner

Perhitungan komposisi campuran beton dengan bahan tambah molase dan serat banner dilakukan berdasarkan komposisi campuran beton normal yang telah diperoleh pada tahap perancangan campuran. Pada penelitian ini, kadar molase yang digunakan dibuat tetap sebesar 0,54% terhadap berat semen untuk seluruh variasi campuran. Sementara itu, serat banner ditambahkan dengan 4 variasi kadar, yaitu 0%, 0,1%, 0,2%, dan 0,3% terhadap

volume beton. Perbedaan variasi kadar serat banner tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahannya terhadap karakteristik beton, sedangkan penggunaan molase yang dibuat konstan dimaksudkan agar pengaruh yang diamati berasal dari perubahan kadar serat banner.

Hasil perhitungan komposisi campuran untuk setiap variasi selanjutnya dipaparkan sebagai berikut:

### 1) Menentukan Komposisi Campuran Banner 0% Kondisi

Lapangan per  $m^3$

- Presentasi perbandingan antara semen, agregat kasar, dan agregat halus:

- Semen

$$= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air cementitious}} = \frac{200}{0,550} = 363,63$$

- Agregat halus

$$= \frac{\text{agregat halus lapangan}}{\text{semen lapangan} + \text{a.halus lapangan} + \text{a.kasar lapangan}} \times 100\%$$

$$= \frac{951,244}{381,944 + 951,244 + 821,811} \times 100\%$$

$$= 45,782\%$$

- Agregat kasar

$$= \frac{\text{agregat kasar lapangan}}{\text{semen lapangan} + \text{a.halus lapangan} + \text{a.kasar lapangan}} \times 100\%$$

$$= \frac{820,721}{347,222 + 986,224 + 820,721} \times 100\%$$

$$= 38,099\%$$

- Molase

$$= \text{Persentase molase} \times \text{semen lapangan}$$

$$= \left( \frac{0,54}{100} \right) \times 363,63$$

$$= 2,533 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat Kasar

$$= \text{agregat kasar SSD} + (((\text{kadar air a. kasar} - \text{penyerap a. kasar}) \times \text{a. kasar SSD})/100)$$

$$= 830,30 + (((0,45\% - 2,50\%) \times 830,30)/100)$$

$$= 813,27 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat Halus

$$= \text{agregat halus SSD} + (((\text{kadar air a. halus} - \text{penyerap a. halus}) \times \text{a. halus SSD})/100)$$

$$= 961,07 + (((2,90\% - 1,21\%) \times 969,87)/100)$$

$$= 977,27 \text{ kg/m}^3$$

- Air

$$= \text{Air lapangan} - \text{molase}$$

$$= 200,83 - 2,533$$

$$= 198,239 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh proporsi campuran beton pada kondisi lapangan yang mencakup kebutuhan molase, serat banner, semen, agregat halus, agregat kasar, serta air pencampur. Proporsi campuran tersebut kemudian dijadikan sebagai pedoman dalam pelaksanaan pembuatan benda uji.

- Molase  $= 2,533 \text{ kg/m}^3$
- Semen  $= 363,63 \text{ kg/m}^3$
- Agregat Kasar  $= 813,269 \text{ kg/m}^3$
- Agregat Halus  $= 977,269 \text{ kg/m}^3$
- Air  $= 198,293 \text{ kg/m}^3$

a. Menentukan Proporsi Campuran Beton Pada Kondisi Lapangan Untuk Pembuatan 8 Sampel Benda uji

- Volume silinder 15 x 30 cm

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
&= 0,25 \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3 \\
&= 0,0053 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

- Volume total 6 silinder

$$\begin{aligned}
&= \text{Volume silinder } 15 \times 30 \times 6 \\
&= 0,0053 \times 6 \\
&= 0,032 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

- Volume balok 15 x 15 x 65 cm

$$\begin{aligned}
&= l \times t \times p \\
&= 0,15 \times 0,15 \times 0,65 \\
&= 0,0146 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

- Volume total 2 balok

$$\begin{aligned}
&= \text{Volume balok } 15 \times 15 \times 65 \times 2 \\
&= 0,0293 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

- Volume total

$$\begin{aligned}
&= \text{Total volume silinder} + \text{Total volume balok} \\
&= 0,032 + 0,0293 \\
&= 0,06104 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

- Faktor Kehilangan = 1,2

- Molase

$$\begin{aligned}
&= \text{Molase lapangan} \times \text{volume total} \times \\
&\quad \text{faktor kehilangan} \\
&= 2,533 \times 0,06104 \times 1,2 \\
&= 0,186 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

- Semen

$$\begin{aligned}
&= \text{semen lapangan} \times \text{volume total} \times \\
&\quad \text{faktor kehilangan} \\
&= 363,63 \times 0,06104 \times 1,2 \\
&= 26,64 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

- Agregat halus

= agregat halus lapangan  $\times$  volume total  $\times$   
faktor kehilangan

$$= 977,269 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 71,59 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat kasar

= agregat kasar lapangan  $\times$  volume total  $\times$   
faktor kehilangan

$$= 813,269 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 59,67 \text{ kg/m}^3$$

- Air

= air lapangan  $\times$  volume total  $\times$  faktor kehilangan

$$= 198,293 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 14,53 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh proporsi campuran beton normal pada kondisi lapangan untuk pembuatan 6 benda uji silinder dan 2 benda uji balok, dengan rincian komposisi sebagai berikut:

- Molase = 0,186  $\text{kg/m}^3$
- Semen = 26,64  $\text{kg/m}^3$
- Agregat halus = 71,59  $\text{kg/m}^3$
- Agregat kasar = 59,57  $\text{kg/m}^3$
- Air = 14,53  $\text{kg/m}^3$

## 2) Menentukan Komposisi Campuran Banner 0,1% Kondisi Lapangan per $\text{m}^3$

- Presentasi perbandingan antara semen, agregat kasar, dan agregat halus:

- Semen

$$= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air cementitious}} = \frac{200}{0,550} = 363,63$$

- Agregat halus

$$= \frac{\text{agregat halus lapangan}}{\text{semen lapangan} + a.\text{halus lapangan} + a.\text{kasar lapangan}} \times 100\%$$

$$= \frac{951,244}{381,944 + 951,244 + 821,811} \times 100\% \\ = 45,782\%$$

- Agregat kasar

$$= \frac{\text{agregat kasar lapangan}}{\text{semen lapangan} + a.\text{halus lapangan} + a.\text{kasar lapangan}} \times 100\%$$

$$= \frac{820,721}{347,222 + 986,224 + 820,721} \times 100\% \\ = 38,099\%$$

- Molase

$$= \text{Persentase molase} \times \text{semen lapangan}$$

$$= \left( \frac{0,54}{100} \right) \times 363,63 \\ = 2,533 \text{ kg/m}^3$$

- Serat banner

$$= \text{Persentase Serat banner} \times \text{vol beton segar}$$

$$= \left( \frac{0,1}{100} \right) \times 2355 \\ = 2,355 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat Kasar

$$= \text{agregat kasar SSD} + (((\text{kadar air a. kasar} - \text{penyerap a. kasar}) \times a.\text{kasar SSD})/100 \\ = 830,30 + (((0,45\% - 2,50\%) \times 830,30)/100 \\ = 813,27 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat Halus

$$= \text{agregat halus SSD} + (((\text{kadar air a. halus} - \text{penyerap a. halus}) \times a.\text{halus SSD})/100 \\ = 961,07 + (((2,90\% - 1,21\%) \times 969,87)/100 \\ = 977,27 \text{ kg/m}^3$$

- Air  
 $= \text{Air lapangan} - \text{molase}$   
 $= 200,83 - 2,533$   
 $= 198,239 \text{ kg/m}^3$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh proporsi campuran beton pada kondisi lapangan yang mencakup kebutuhan molase, serat banner, semen, agregat halus, agregat kasar, serta air pencampur. Proporsi campuran tersebut kemudian dijadikan sebagai pedoman dalam pelaksanaan pembuatan benda uji.

- Molase  $= 2,533 \text{ kg/m}^3$
- Serat Banner  $= 2,355 \text{ kg/m}^3$
- Semen  $= 363,63 \text{ kg/m}^3$
- Agregat Kasar  $= 813,269 \text{ kg/m}^3$
- Agregat Halus  $= 977,269 \text{ kg/m}^3$
- Air  $= 198,293 \text{ kg/m}^3$

b. Menentukan Proporsi Campuran Beton Pada Kondisi Lapangan Untuk Pembuatan 8 Sampel Benda uji

- Volume silinder 15 x 30 cm  

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3$$

$$= 0,0053 \text{ m}^3$$
- Volume total 6 silinder  

$$= \text{Volume silinder } 15 \times 30 \times 6$$

$$= 0,0053 \times 6$$

$$= 0,032 \text{ m}^3$$
- Volume balok 15 x 15 x 65 cm  

$$= l \times t \times p$$

$$= 0,15 \times 0,15 \times 0,65$$

$$= 0,0146 \text{ m}^3$$

- Volume total 2 balok

$$= \text{Volume balok } 15 \times 15 \times 65 \times 2$$

$$= 0,0293 \text{ m}^3$$

- Volume total

$$= \text{Total volume silinder} + \text{Total volume balok}$$

$$= 0,032 + 0,0293$$

$$= 0,06104 \text{ m}^3$$

- Faktor Kehilangan = 1,2

- Molase

$$= \text{Molase lapangan} \times \text{volume total} \times \text{faktor kehilangan}$$

$$= 2,533 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 0,186 \text{ kg/m}^3$$

- Serat Banner

$$= \text{S. banner lapangan} \times \text{volume total} \times \text{faktor kehilangan}$$

$$= 2,355 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 0,186 \text{ kg/m}^3$$

- Semen

$$= \text{semen lapangan} \times \text{volume total} \times \text{faktor kehilangan}$$

$$= 363,63 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 26,64 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat halus

$$= \text{agregat halus lapangan} \times \text{volume total} \times \text{faktor kehilangan}$$

$$= 977,269 \times 0,06104 \times 1,2$$

$$= 71,59 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat kasar

$$\begin{aligned}
&= \text{agregat kasar lapangan} \times \text{volume total} \times \\
&\quad \text{faktor kehilangan} \\
&= 813,269 \times 0,06104 \times 1,2 \\
&= 59,67 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

- Air

$$\begin{aligned}
&= \text{air lapangan} \times \text{volume total} \times \text{faktor kehilangan} \\
&= 198,293 \times 0,06104 \times 1,2 \\
&= 14,53 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh proporsi campuran beton normal pada kondisi lapangan untuk pembuatan 6 benda uji silinder dan 2 benda uji balok, dengan rincian komposisi sebagai berikut:

- Molase = 0,186 kg/m<sup>3</sup>
- Serat Banner = 0,173 kg/m<sup>3</sup>
- Semen = 26,64 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat halus = 71,59 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat kasar = 59,57 kg/m<sup>3</sup>
- Air = 14,53 kg/m<sup>3</sup>

### 3) Menentukan Komposisi Campuran Banner 0,2% dan 0,3%

Perhitungan kebutuhan material untuk variasi kadar serat banner 0,2% dan 0,3% dilakukan dengan menggunakan tahapan dan persamaan yang sama seperti pada perhitungan variasi 0,1%. Perbedaan pada setiap variasi terletak pada jumlah serat banner yang digunakan sesuai dengan kadar serat yang telah ditentukan. Hasil perhitungan kebutuhan material untuk seluruh variasi campuran beton selanjutnya disajikan pada Tabel 4.19.

#### 4.2.2 Komposisi Akhir Campuran Beton

Tabel 4. 19 Komposisi Akhir Campuran Beton

| Semen   | Pasir   | Kerikil | Air     | Molase              |       | Banner          |       | Beton segar |
|---------|---------|---------|---------|---------------------|-------|-----------------|-------|-------------|
| 16,881% | 45,366% | 37,753% |         | 0,54% thd jml semen |       | % thd Vol Beton |       | Cek         |
| kg      |         |         | kg      | %                   | kg    | %               | kg    | kg/m3       |
| 363,636 | 977,269 | 813,269 | 200,83  | 0%                  | 0     | 0%              | 0     | 2355,00     |
| 363,636 | 977,269 | 813,269 | 198,293 | 0,54%               | 2,533 | 0%              | 0     | 2355,00     |
| 363,636 | 977,269 | 813,269 | 198,293 | 0,54%               | 2,533 | 0,1%            | 2,355 | 2357,36     |
| 363,636 | 977,269 | 813,269 | 198,293 | 0,54%               | 2,533 | 0,2%            | 4,710 | 2359,71     |
| 363,636 | 977,269 | 813,269 | 198,293 | 0,54%               | 2,533 | 0,3%            | 7,065 | 2362,07     |

Sumber: (Hasil Analisa)

Tabel 4. 20 Komposisi Akhir Campuran Beton

| Bahan   | Banner  |         |         |         | Normal  |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|         | 0,0%    | 0,1%    | 0,2%    | 0,3%    | 0%      |
| Semen   | 26,64   | 26,64   | 26,64   | 26,64   | 26,64   |
| Pasir   | 71,59   | 71,59   | 71,59   | 71,59   | 71,59   |
| Kerikil | 59,57   | 59,57   | 59,57   | 59,57   | 59,57   |
| Air     | 14,53   | 14,53   | 14,53   | 14,53   | 14,71   |
| Molase  | 0,186   | 0,186   | 0,186   | 0,186   | 0       |
| Banner  | 0       | 0,173   | 0,345   | 0,518   | 0       |
| Jumlah  | 172,506 | 172,679 | 172,851 | 173,024 | 172,506 |

Sumber: (Hasil Analisa)

### 4.3 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

#### 4.3.1 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji beton dilakukan untuk memperoleh sampel yang akan digunakan dalam pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm x tinggi 30 cm dan balok dengan tinggi 15 cm, lebar 15cm, dan Panjang 65cm. Pada penelitian ini dibuat sebanyak 24 benda uji silinder dan 8 balok, yang terdiri atas 4 variasi yaitu 0%, 0,1%, 0,2%, dan 0,3%. Setiap variasi presentase dibuat sebanyak 8 benda uji yang terdiri dari 6 silinder dan 2 balok, sehingga total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 32

sampel. Seluruh proses pembuatan dilakukan secara sistematis untuk memperoleh benda uji yang seragam dan memenuhi kebutuhan penelitian.

#### 1. Persiapan Bekisting

Tahap awal dalam pembuatan benda uji diawali dengan menyiapkan cetakan berupa silinder berukuran 15 cm × 30 cm dan balok berukuran 15 cm × 15 cm × 65 cm. Sebelum digunakan, seluruh permukaan cetakan dibersihkan dari debu, kotoran, serta sisa material yang masih melekat. Selain itu, dilakukan pemeriksaan terhadap kondisi cetakan untuk memastikan tidak terdapat kerusakan maupun celah yang berpotensi menimbulkan kebocoran selama proses pengecoran. Persiapan cetakan yang dilakukan dengan baik bertujuan agar benda uji yang dihasilkan memiliki bentuk dan dimensi yang sesuai dengan ketentuan standar pengujian.



Gambar 4. 19 Persiapan Bekisting  
*Sumber:(Dokumentasi Pribadi)*

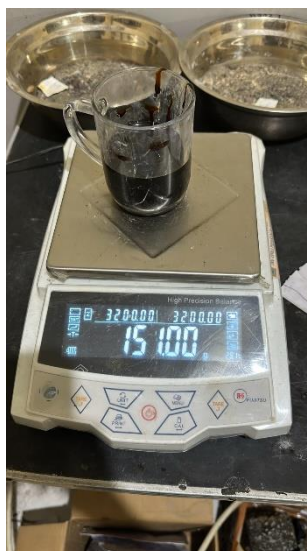
Setelah seluruh cetakan siap digunakan, bekisting kemudian ditempatkan pada area kerja yang memiliki permukaan datar dan stabil. Penempatan tersebut dilakukan untuk memastikan proses pengecoran dapat berlangsung dengan baik serta menjaga posisi cetakan tetap kokoh selama pengisian campuran beton.

## 2. Penimbangan Material

Setelah bekisting siap digunakan, dilakukan penimbangan seluruh material penyusun beton sesuai komposisi campuran yang telah direncanakan. Material yang digunakan meliputi semen, agregat halus, agregat kasar, molase, serat banner, dan air.



Gambar 4. 20 Penimbangan Serat Banner  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*



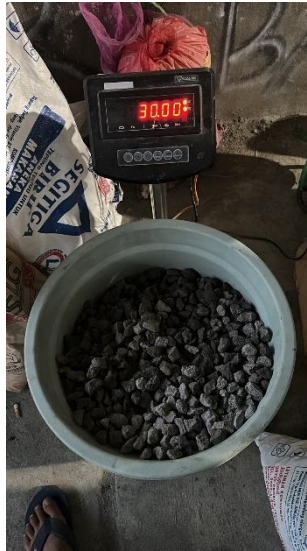
Gambar 4. 21 Penimbangan Molase  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*



Gambar 4. 22 Penimbangan Semen  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*



Gambar 4. 23 Penimbangan Agregat Halus  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*



Gambar 4. 24 Penimbangan Agregat Kasar  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*



Gambar 4. 25 Penimbangan Air  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*

Proses penimbangan dilakukan menggunakan timbangan digital untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat, sehingga jumlah setiap bahan penyusun beton sesuai dengan proporsi campuran yang telah direncanakan dalam penelitian.

### 3. Pencampuran Material

Proses pencampuran diawali dengan melarutkan molase ke dalam air yang telah ditimbang hingga tercampur merata. Selanjutnya, sebagian larutan molase tersebut dituangkan ke dalam alat pencampur bersamaan dengan material kering yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, dan semen, kemudian diaduk hingga tercampur secara merata. Setelah itu, sisa larutan molase ditambahkan secara bertahap sambil terus dilakukan pengadukan hingga seluruh bahan membentuk campuran yang homogen. Serat banner dimasukkan pada tahap akhir secara perlahan agar tersebar merata di dalam campuran dan tidak mengalami penggumpalan. Proses pencampuran yang dilakukan dengan baik bertujuan untuk menghasilkan distribusi material yang merata sehingga mutu beton yang dihasilkan menjadi lebih seragam.



Gambar 4. 26 Pencampuran Material  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*

Campuran beton yang telah mencapai kondisi homogen menunjukkan bahwa seluruh bahan penyusun telah tercampur secara merata, sehingga siap digunakan pada tahap pengecoran benda uji.

#### 4. Pengecoran dan Pemadatan

Campuran beton yang telah homogen selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan silinder berukuran 15 cm × 30 cm dan cetakan balok berukuran 15

cm × 15 cm × 65 cm yang telah disiapkan sebelumnya. Proses pengecoran dilaksanakan secara bertahap dengan hati-hati agar seluruh bagian cetakan terisi secara sempurna serta untuk meminimalkan terjadinya segregasi atau pemisahan material selama proses pengisian. Pada penelitian ini dilakukan pengecoran sebanyak 32 benda uji silinder yang terdiri atas empat variasi campuran, yaitu beton normal (0%) serta beton dengan penambahan serat banner sebesar 0,1%, 0,2%, dan 0,3%.



Gambar 4. 27 Pengecoran dan Pemadatan Benda Uji  
*Sumber:(Dokumentasi Pribadi)*

Setelah seluruh cetakan terisi campuran beton, dilakukan proses pemadatan untuk mengurangi jumlah rongga udara yang terperangkap di dalam beton segar. Pemadatan dilakukan menggunakan batang pemadat baja secara merata pada setiap lapisan campuran. Pengisian beton ke dalam cetakan dilakukan dalam tiga lapisan (layer), dengan setiap lapisan dipadatkan sebanyak 25 kali tumbukan, sehingga total tumbukan pada setiap benda uji mencapai 75 kali. Pemadatan yang dilakukan secara merata pada seluruh permukaan setiap lapisan bertujuan untuk menghasilkan beton dengan tingkat kepadatan yang seragam serta meminimalkan terbentuknya rongga di dalam benda uji. Setelah proses pemadatan selesai, permukaan beton diratakan menggunakan alat perata

hingga sejajar dengan permukaan cetakan. Selanjutnya, benda uji didiamkan selama  $\pm 24$  jam untuk mencapai kekerasan awal sebelum dilakukan pelepasan dari cetakan.

#### 5. Pembukaan Bekisting

Benda uji yang telah selesai dicetak selanjutnya dibiarkan selama kurang lebih 24 jam hingga mencapai kondisi pengerasan awal. Setelah mencapai kekerasan yang cukup, cetakan dilepas (demoulding) secara hati-hati untuk menjaga agar permukaan dan bentuk benda uji tetap dalam kondisi baik. Tahap ini merupakan akhir dari proses pembuatan benda uji sekaligus menjadi awal pelaksanaan proses perawatan (curing).

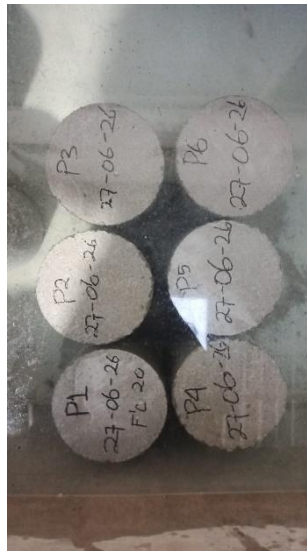


Gambar 4. 28 Pembukaan Benda Uji Dari Bekisting  
*Sumber: (Dokumentasi Pribadi)*

Setelah proses pelepasan cetakan selesai, setiap benda uji diberi tanda identitas sesuai dengan variasi campuran yang digunakan. Selanjutnya, benda uji dipindahkan ke tempat perawatan dan disimpan hingga mencapai umur pengujian yang telah ditetapkan. Dengan selesainya tahapan tersebut, seluruh benda uji telah siap menjalani proses perawatan sebelum dilakukan pengujian sesuai dengan rencana penelitian.

#### 4.3.2 Perawatan Benda Uji

Setelah proses pelepasan benda uji dari bekisting (*demoulding*), setiap benda uji diberi kode identifikasi sesuai dengan variasi campuran yang digunakan. Selanjutnya, benda uji menjalani proses perawatan (*curing*) dengan metode perendaman di dalam bak berisi air yang ditempatkan pada suhu ruang laboratorium hingga mencapai umur pengujian yang telah ditentukan. Metode perawatan ini bertujuan untuk menjaga ketersediaan air yang dibutuhkan selama proses hidrasi semen, sehingga perkembangan kekuatan beton dapat berlangsung secara optimal serta mengurangi risiko terjadinya retak akibat kehilangan kadar air pada usia awal beton.



Gambar 4. 29 Perawatan Benda Uji

Sumber: (Dokumentasi Pribadi)

Benda uji yang telah direndam di dalam bak air selanjutnya dipelihara pada suhu ruang laboratorium hingga mencapai umur pengujian yang telah ditentukan, yaitu 7 hari dan 28 hari. Perawatan dengan metode perendaman dilakukan untuk menjaga ketersediaan air selama proses hidrasi semen sehingga reaksi pembentukan pasta semen dapat berlangsung secara optimal. Ketersediaan air yang cukup selama masa perawatan berperan penting dalam mendukung perkembangan kekuatan beton serta mengurangi risiko penyusutan dini akibat kehilangan kadar air. Oleh karena itu, metode

perendaman dipilih untuk menciptakan kondisi perawatan yang stabil sehingga mutu beton dapat berkembang sesuai dengan umur rencana pengujian.

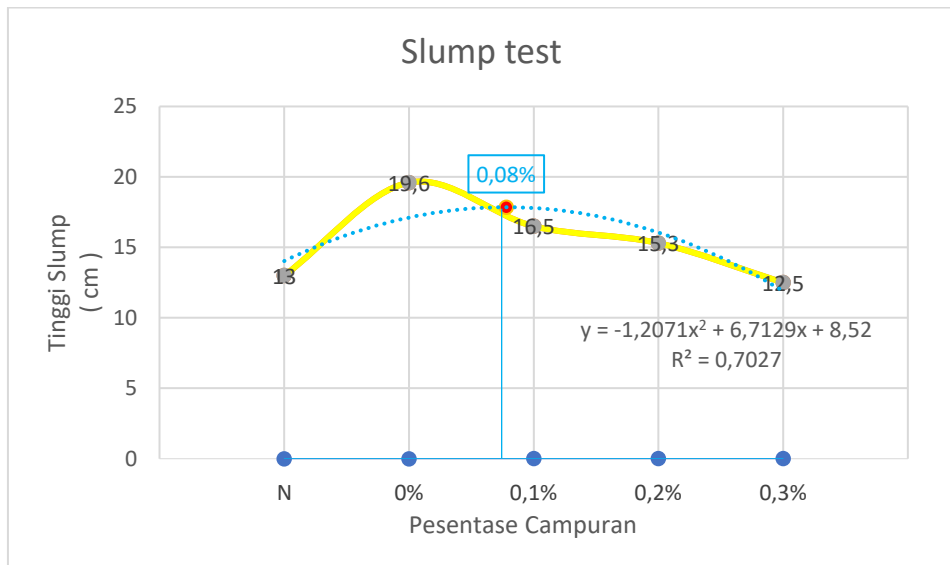
#### 4.4 Pengujian *Slump* Beton

Pengujian slump dilaksanakan untuk mengukur tingkat kelecakan (*workability*) atau kemudahan pengerjaan beton segar selama proses pengecoran. Berdasarkan hasil perencanaan campuran (*mix design*), nilai slump yang direncanakan berada pada kisaran 60–180 mm. Pengujian ini dilakukan pada setiap variasi campuran beton guna mengevaluasi pengaruh perbedaan persentase serat terhadap tingkat kelecakan beton segar. Hasil pengujian slump dari masing-masing variasi campuran beton disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Slump Test

| No | Variasi Campuran | Slump (cm) |
|----|------------------|------------|
| 1  | N                | 13         |
| 2  | 0%               | 19,6       |
| 3  | 0,1%             | 16,5       |
| 4  | 0,2%             | 15,3       |
| 5  | 0,3%             | 12,5       |

*Sumber: ( Hasil Penelitian)*



Gambar 4. 30 Grafik Variasi Slump  
Sumber:( Hasil Penelitian)

Berdasarkan Gambar 4.30, nilai slump rata-rata menunjukkan adanya kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya persentase serat banner yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Pada campuran normal (N), nilai slump sebesar 13 cm, kemudian meningkat menjadi 19,6 cm pada variasi serat banner 0%. Selanjutnya, nilai slump mengalami penurunan menjadi 16,5 cm pada variasi serat 0,1%, 15,3 cm pada variasi serat 0,2%, dan 12,5 cm pada variasi serat 0,3% dan berdasarkan grafik regresi nilai slump optimum ada pada presentase 0,08%. Penurunan nilai slump pada variasi serat banner 0,1% hingga 0,3% menunjukkan bahwa semakin besar persentase serat banner yang ditambahkan, semakin rendah tingkat kemudahan pengerjaan beton segar. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya serat yang terdapat dalam campuran sehingga luas permukaan yang perlu dilapisi pasta semen menjadi lebih besar. Kondisi tersebut menyebabkan pasta semen yang berfungsi sebagai pelumas antarpartikel menjadi relatif berkurang, sehingga campuran menjadi lebih kaku dan kemampuan alir beton segar menurun. Dengan demikian, peningkatan persentase serat banner cenderung menyebabkan penurunan nilai slump.



Gambar 4. 31 Slump Test Variasi 0%  
*Sumber:( Hasil Penelitian)*

Berdasarkan gambar di atas, hasil pengujian slump pada campuran beton tanpa penambahan serat (0%) menunjukkan nilai slump sebesar 19,6 cm. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa campuran beton memiliki tingkat kelecakan yang baik, sehingga proses pencampuran, penempatan, dan pencetakan benda uji dapat dilakukan dengan lebih mudah.



Gambar 4. 32 Slump Test Variasi 0,1%  
*Sumber:( Hasil Penelitian)*

Berdasarkan gambar di atas, hasil pengujian slump pada campuran beton dengan penambahan serat banner sebesar 0,1% menunjukkan nilai slump sebesar 16,5 cm. Nilai tersebut masih berada dalam rentang slump yang direncanakan, sehingga menunjukkan bahwa campuran beton memiliki tingkat kelecakan yang baik dan tetap mudah dikerjakan selama proses pencetakan benda uji.



Gambar 4. 33 Slump Test Variasi 0,2%  
*Sumber: ( Hasil Penelitian )*

Berdasarkan gambar di atas, hasil pengujian slump pada campuran beton dengan penambahan serat banner sebesar 0,2% menunjukkan nilai slump sebesar 15,3 cm. Nilai tersebut masih berada dalam rentang slump yang telah ditetapkan pada tahap perencanaan campuran, sehingga mengindikasikan bahwa beton segar masih memiliki tingkat kelecakan yang baik dan tetap mudah dikerjakan selama proses pencetakan benda uji.



Gambar 4. 34 Slump Test Variasi 0,3%  
*Sumber: (Hasil Penelitian)*

Berdasarkan gambar di atas, hasil pengujian slump pada campuran beton dengan penambahan serat banner sebesar 0,3% menunjukkan nilai slump sebesar 11 cm. Nilai tersebut masih berada dalam kisaran slump yang telah direncanakan, sehingga menunjukkan bahwa campuran beton segar masih memiliki tingkat kelecakan yang memadai dan tetap mudah dikerjakan selama proses pencetakan benda uji.

#### **4.5 Analisa Data Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Tarik Lentur**

Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton dilaksanakan untuk menilai perkembangan sifat mekanis beton pada setiap variasi campuran yang digunakan dalam penelitian. Benda uji yang digunakan terdiri atas silinder berukuran 15 cm × 30 cm dan balok berukuran 15 cm × 15 cm × 65 cm, yang dibuat sesuai dengan komposisi campuran hasil perancangan (mix design) yang telah ditetapkan.

#### 4.5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

- Perhitungan kuat tekan beton variasi 0,1% sampel 1



Gambar 4. 35 Uji Kuat Tekan Beton Variasi 0,1% Sampel 1

*Sumber: Dokumentasi Hasil penelitian*

Berdasarkan gambar di atas, benda uji beton dengan variasi penambahan serat banner sebesar 0,1% pada sampel 1 diuji menggunakan Compression Testing Machine (CTM) untuk mengukur kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji mencapai beban maksimum sebesar 361 kN. Nilai beban maksimum tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kuat tekan beton.

$$P = 334 \text{ KN} = 334000 \text{ N}$$

$$A = 18145,84 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{334000}{18145,84} = 18,41 \text{ Mpa}$$

$$= \frac{18,41}{\text{faktor umur}}$$

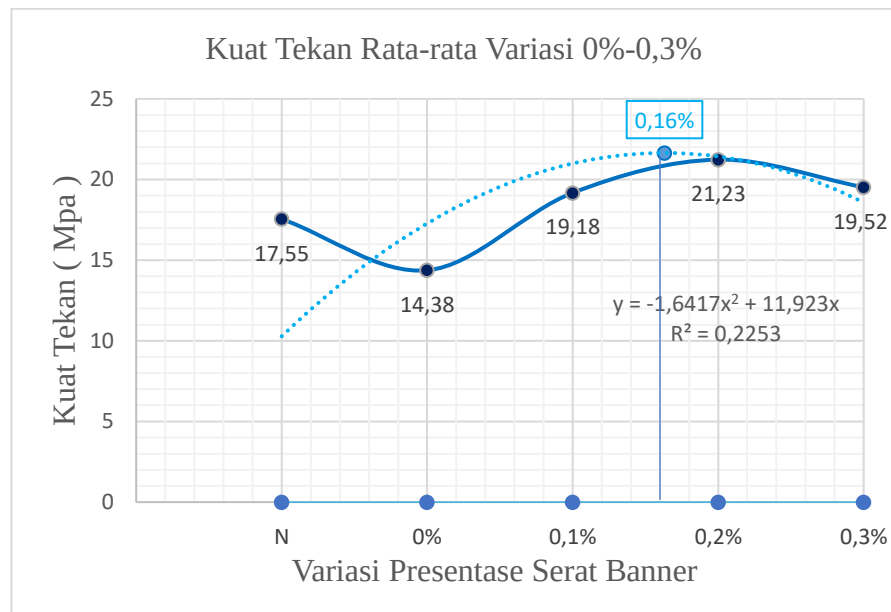
$$= \frac{19,89}{0,950}$$

$$= 19,38 \text{ Mpa}$$

- Perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh benda uji dengan variasi campuran yang berbeda. Hasil perhitungan kuat tekan masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 4.22

Tabel 4. 22 Kuat Tekan Beton

| No | Variasi | Tanggal dibuat | Tanggal test | Umur | Berat (kg) | Tekanan Hancur (KN) | Teg. Hancur rill (Mpa) | Teg. Hancur 28 hari | Tekan Rata-rata |
|----|---------|----------------|--------------|------|------------|---------------------|------------------------|---------------------|-----------------|
| 1  | Normal  | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,64      | 233                 | 13,19                  | 13,88               | 14,38           |
| 2  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,65      | 227                 | 12,85                  | 13,52               |                 |
| 3  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,65      | 264                 | 14,94                  | 15,73               |                 |
| 1  | 0%      | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,19      | 233                 | 13,19                  | 13,88               | 14,38           |
| 2  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,29      | 227                 | 12,85                  | 12,85               |                 |
| 3  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 1270       | 264                 | 14,94                  | 14,94               |                 |
| 1  | 0,1%    | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,38      | 334                 | 18,41                  | 19,38               | 19,18           |
| 2  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,39      | 327                 | 18,19                  | 19,15               |                 |
| 3  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,28      | 319                 | 18,05                  | 19,00               |                 |
| 1  | 0,2%    | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,64      | 327                 | 18,75                  | 19,74               | 21,23           |
| 2  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,78      | 348                 | 20,09                  | 21,15               |                 |
| 3  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,73      | 383                 | 21,67                  | 22,81               |                 |
| 1  | 0,3%    | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,46      | 336                 | 19,01                  | 20,01               | 19,52           |
| 2  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,22      | 331                 | 18,36                  | 19,33               |                 |
| 3  |         | 21/08/2026     | 11/09/2026   | 21   | 12,65      | 327                 | 18,26                  | 19,22               |                 |



Gambar 4. 36 Kuat Tekan Rata Rata

Berdasarkan Gambar 4.36, dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan beton mengalami fluktuasi seiring dengan penambahan serat banner. Pada beton normal (N), nilai kuat tekan rata-rata sebesar 17,55 MPa. Nilai tersebut kemudian mengalami penurunan menjadi 14,38 MPa pada variasi serat banner 0%. Selanjutnya, kuat tekan meningkat menjadi 19,18 MPa pada variasi 0,1% dan mencapai nilai tertinggi sebesar 21,23 MPa pada variasi 0,2%. Berdasarkan persamaan regresi pada grafik, diperoleh kadar optimum serat banner sebesar 0,16%, yang diperkirakan menghasilkan nilai kuat tekan maksimum berdasarkan kecenderungan data hasil pengujian. Peningkatan kuat tekan hingga kadar optimum tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat banner dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Dengan demikian, berdasarkan analisis regresi, kadar serat banner sebesar 0,16% merupakan kadar optimum yang diperkirakan menghasilkan kuat tekan paling optimal.

#### 4.5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

- Perhitungan kuat tarik belah beton variasi 0,1% sampel 1



Gambar 4. 37 Uji Kuat tarik belah beton variasi 0,1% sampel 1

*Sumber: Dokumentasi Hasil penelitian*

Berdasarkan gambar di atas, benda uji beton dilakukan pengujian kuat tarik belah menggunakan Compression Testing Machine (CTM) dengan metode pembebanan secara horizontal pada sisi silinder beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik tidak langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji mampu menerima beban maksimum sebesar 122 kN. Nilai beban maksimum tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kuat tarik belah beton.

$$P = 122 \text{ KN} = 122000 \text{ N}$$

$$L = 30 \text{ cm} = 300 \text{ mm}$$

$$D = 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$$

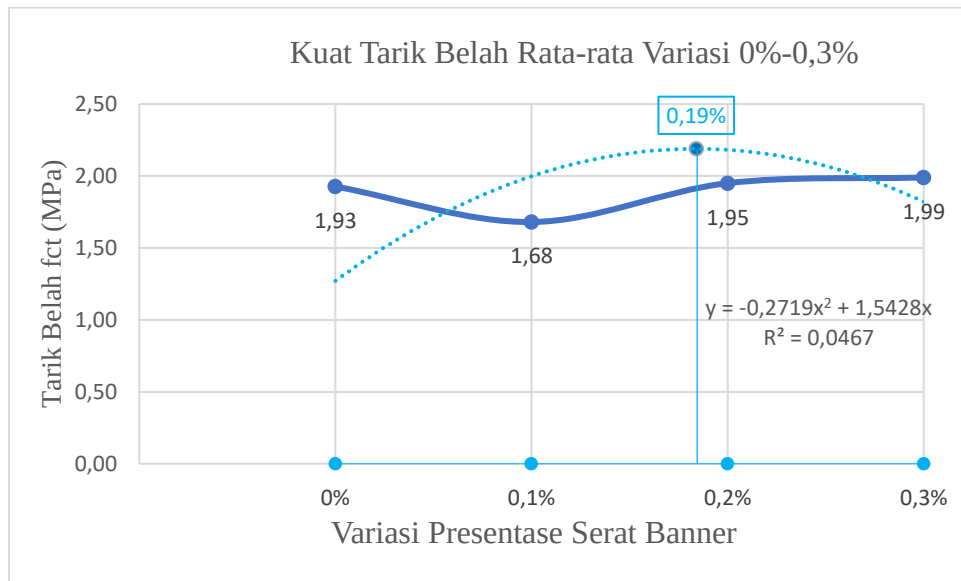
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} = \frac{2 \times 122000}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 1,69 \text{ Mpa}$$

- Perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh benda uji dengan variasi campuran yang berbeda. Hasil perhitungan kuat tekan masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 4.23

Tabel 4. 23 Kuat Tarik Belah Beton

| No | Variasi | Tanggal dibuat | Tanggal test | Umur | Berat (kg) | Tekanan P (KN) | Kuat Tarik Belah (Mpa) | Tekan Rata-rata |
|----|---------|----------------|--------------|------|------------|----------------|------------------------|-----------------|
| 1  | Normal  | 07/06/2026     | 14/06/2026   | 7    | 12,45      | 149,00         | 1,85                   | 1,93            |
| 2  |         | 07/06/2026     | 14/06/2026   | 7    | 12,88      | 141,00         | 2,05                   |                 |
| 3  |         | 07/06/2026     | 14/06/2026   | 7    | 12,65      | 139,00         | 1,88                   |                 |
| 1  | 0,1%    | 11/07/2026     | 18/07/2026   | 7    | 12,42      | 122            | 1,69                   | 1,68            |
| 2  |         | 11/07/2026     | 18/07/2026   | 7    | 12,35      | 99,00          | 1,36                   |                 |
| 3  |         | 11/07/2026     | 18/07/2026   | 7    | 12,51      | 143,00         | 1,97                   |                 |
| 1  | 0,2%    | 12/07/2026     | 19/07/2026   | 7    | 12,42      | 120            | 1,69                   | 1,95            |
| 2  |         | 12/07/2026     | 19/07/2026   | 7    | 12,58      | 144,00         | 2,06                   |                 |
| 3  |         | 12/07/2026     | 19/07/2026   | 7    | 12,34      | 146,00         | 2,10                   |                 |
| 1  | 0,3%    | 13/07/2026     | 20/07/2026   | 7    | 12,44      | 126            | 1,77                   | 1,99            |
| 2  |         | 13/07/2026     | 20/07/2026   | 7    | 12,35      | 158,00         | 2,26                   |                 |
| 3  |         | 13/07/2026     | 20/07/2026   | 7    | 12,36      | 134,00         | 1,93                   |                 |



Gambar 4. 38 Kuat Tarik Belah Rata Rata

Berdasarkan Berdasarkan Gambar 4.38, dapat diketahui bahwa nilai kuat tarik belah beton mengalami penurunan pada penambahan serat banner sebesar 0,1%, kemudian meningkat pada variasi 0,2%. Beton dengan variasi serat banner 0% menghasilkan kuat tarik belah sebesar 1,93 MPa, kemudian menurun menjadi 1,68 MPa pada variasi 0,1%. Selanjutnya, nilai kuat tarik belah meningkat menjadi 1,95 MPa pada variasi 0,2%, yang menunjukkan adanya peningkatan kemampuan beton dalam menahan beban tarik belah. Berdasarkan persamaan regresi pada grafik, diperoleh kadar optimum serat banner sebesar 0,19%, yang diperkirakan menghasilkan nilai kuat tarik belah maksimum berdasarkan kecenderungan data hasil pengujian. Peningkatan kuat tarik belah hingga kadar optimum tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat banner dapat membantu menahan dan menghambat perkembangan retak pada beton, sehingga kemampuan beton dalam menahan beban tarik belah menjadi lebih baik. Dengan demikian, berdasarkan analisis regresi, kadar serat banner sebesar 0,19% merupakan kadar optimum yang diperkirakan menghasilkan kuat tarik belah paling optimal.

#### 4.5.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur

Hasil pengujian kuat tarik lentur beton dengan ukuran benda uji balok  $15 \times 15 \times 65$  cm diperoleh berdasarkan pengujian sampel benda uji pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan variasi penambahan serat banner sebesar 0%, 0,1%, 0,2%, dan 0,3% terhadap volume beton.

- Perhitungan kuat tarik belah beton variasi 0,1% sampel 1



Gambar 4. 39 Uji Kuat tarik lentur beton variasi 0,1% sampel 1

*Sumber: Dokumentasi Hasil penelitian*

Perhitungan nilai kuat tarik lentur beton umur 28 hari variasi 0,1% sampel 1

$$P = 24 \text{ KN} = 24000 \text{ N}$$

$$L = 635 \text{ mm}$$

$$b = 154 \text{ mm}$$

$$h = 148 \text{ mm}$$

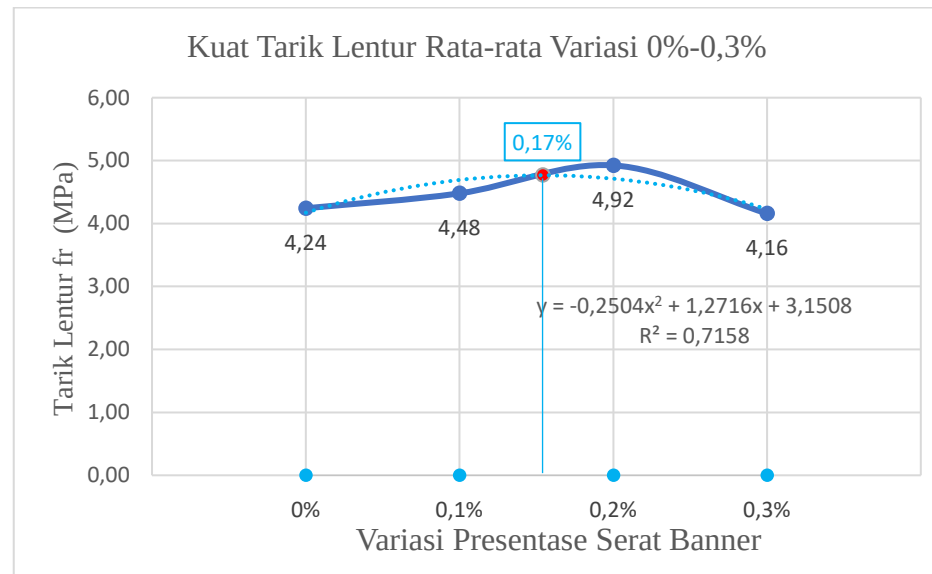
$$\begin{aligned} f_r &= \frac{P \times L}{b \times h^2} \\ &= \frac{24000 \times 635}{154 \times 148^2} \end{aligned}$$

= 4,27 Mpa

- Perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh benda uji dengan variasi campuran yang berbeda. Hasil perhitungan kuat tarik lentur masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 4.24

Tabel 4. 24 Kuat Tarik Lentur Beton

| No | Variasi | Tanggal dibuat | Tanggal test | Umur | Berat (kg) | Tekanan P (KN) | Kuat Tarik Lentur (Mpa) | Tekan Rata-rata |
|----|---------|----------------|--------------|------|------------|----------------|-------------------------|-----------------|
| 1  | 0%      | 01/07/2026     | 29/07/2026   | 28   | 35,13      | 23             | 4,07                    | 4,24            |
| 2  |         | 01/07/2026     | 29/07/2026   | 28   | 35,24      | 26             | 4,41                    |                 |
| 1  | 0,1%    | 11/07/2026     | 08/08/2026   | 28   | 34,78      | 24             | 4,27                    | 4,48            |
| 2  |         | 11/07/2026     | 08/08/2026   | 28   | 35,03      | 28             | 4,69                    |                 |
| 1  | 0,2%    | 12/07/2026     | 09/08/2026   | 28   | 35,22      | 29             | 5,16                    | 4,92            |
| 2  |         | 12/07/2026     | 09/08/2026   | 28   | 33,55      | 28             | 4,69                    |                 |
| 3  | 0,3%    | 13/07/2026     | 10/08/2026   | 28   | 35,44      | 27             | 4,80                    | 4,16            |
| 4  |         | 13/07/2026     | 10/08/2026   | 28   | 35,52      | 21             | 3,52                    |                 |



Gambar 4. 40 Kuat Tarik Lentur Rata Rata

Berdasarkan Gambar 4.40, dapat diketahui bahwa nilai kuat tarik lentur beton mengalami peningkatan seiring dengan penambahan serat banner hingga variasi 0,2%. Beton dengan variasi serat banner 0% menghasilkan kuat tarik lentur sebesar 4,24 MPa, kemudian meningkat menjadi 4,48 MPa pada variasi 0,1% dan mencapai nilai tertinggi sebesar 4,92 MPa pada variasi 0,2%. Berdasarkan persamaan regresi pada grafik, diperoleh kadar optimum serat banner sebesar 0,17%, yang menunjukkan bahwa kadar tersebut diperkirakan menghasilkan nilai kuat tarik lentur maksimum berdasarkan kecenderungan data hasil pengujian. Peningkatan kuat tarik lentur hingga kadar optimum tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat banner dapat membantu menahan dan menghambat perkembangan retak pada beton akibat beban lentur. Dengan demikian, berdasarkan analisis regresi, kadar serat banner sebesar 0,17% merupakan kadar optimum yang diperkirakan menghasilkan kuat tarik lentur paling optimal.

#### 4.6 Pengujian Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan untuk mengetahui apakah variasi penambahan serat banner dan molase memberikan pengaruh yang signifikan terhadap

kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton. Analisis dilakukan menggunakan Analisis Varians Satu Arah (One-Way ANOVA) dengan taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

- $H_0$  : Variasi kadar molase pada campuran beton yang mengandung serat banner tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan, tarik belah dan kuat lentur
- $H_1$  : Variasi kadar molase pada campuran beton yang mengandung serat banner memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan, tarik belah dan kuat lentur beton.

Sebagai contoh, pada tabel 4.25 adalah cara perhitungan analisa varian satu arah untuk kuat tekan dengan variasi kadar serat banner

Tabel 4. 25 Data kuat tekan dengan variasi serat banner

| Variasi Campuran Beton | 0%        | 0,1%   | 0,2%   | 0,3%   | Jumlah  |
|------------------------|-----------|--------|--------|--------|---------|
| Kuat Tekan             | 20,28     | 30,61  | 32,91  | 36,39  | 120,193 |
|                        | 19,76     | 29,02  | 31,27  | 23,30  | 103,344 |
|                        | 22,98     | 26,43  | 33,26  | 33,50  | 116,175 |
| Jumlah                 | 63,031    | 86,052 | 97,434 | 93,194 | 339,712 |
| Banyak Pengamatan      | 3         | 3      | 3      | 3      | 12      |
| Rata-rata              | 21,010266 | 28,684 | 32,478 | 31,065 | 113,237 |

Berdasarkan tabel di atas selanjutnya di hitung dengan rumus:

- Menentukan banyak kelompok

$$k = 5$$

Keterangan:

$k$  = Jumlah variasi serat

- Menentukan banyak data

$$n = 3$$

Keterangan:

$n$  = jumlah benda uji setiap variasi

- Menentukan jumlah seluruh data

$$\begin{aligned} N &= k \times n \\ &= 5 \times 3 \\ &= 15 \end{aligned}$$

Keterangan:

$N$  = jumlah seluruh data pengamatan

- Menentukan jumlah setiap kelompok

$$T_1 = 92,071$$

$$T_2 = 91,476$$

$$T_3 = 90,570$$

Keterangan:

$T_1$  = Jumlah data pada kelompok ke-1

- Menentukan jumlah seluruh data

$$T = 274,117$$

Keterangan:

$T$  = jumlah hasil seluruh pengujian

- Menentukan factor koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{(274,117)^2}{15} \\ &= 9616,9998 \end{aligned}$$

- Menghitung jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum X^2 - FK \\ &= 19,06^2 + 19,00^2 + \dots + 19,33^2 + 19,22^2 \\ &= 5122,5087 \\ JKT &= 5122,5087 - 5009,3296 \\ &= 113,1791 \end{aligned}$$

- Menghitung kuadrat antar kelompok (JKA)

$$JKA = \sum \frac{T_1^2}{n} - FK$$

$$= \frac{52,657^2}{3} + \frac{41,664^2}{3} + \frac{57,527^2}{3} + \frac{63,705^2}{3} + \frac{58,564^2}{3} -$$

5009,3296

$$JKA = 92,681324$$

- Menghitung jumlah kuadrat dalam (JKD)

$$JKD = JKT - JKA$$

$$= 113,1791 - 92,681324$$

$$JKD = 20,4977$$

- Derajat bebas

Antar kelompok

$$db_A = k - 1$$

$$db_A = 3 - 1$$

$$= 2$$

Dalam kelompok

$$db_D = N - k$$

$$db_D = 15 - 3$$

$$= 12$$

Total

$$db_T = N - 1$$

$$db_T = 15 - 1$$

$$= 14$$

- Kuadrat tengah

Antar kelompok

$$KT_A = \frac{JKA}{db_A}$$

$$= \frac{92,681324}{2}$$

$$= 46,340662$$

Dalam kelompok

$$KT_D = \frac{JKD}{db_d}$$

$$= \frac{20,4977}{12}$$

$$= 1,7081442$$

- Menghitung F

$$F = \frac{KTA}{KT_D}$$

$$= \frac{46,340662}{1,7081442}$$

$$= 27,129245$$

Tabel 4. 26 Presentase Distribusi F

| df untuk penyebut (N2) | df untuk pembilang (N1) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        | 1                       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 1                      | 161                     | 199   | 216   | 225   | 230   | 234   | 237   | 239   | 241   | 242   | 243   | 244   | 245   | 245   | 246   |
| 2                      | 18.51                   | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 | 19.40 | 19.40 | 19.41 | 19.42 | 19.42 | 19.43 |
| 3                      | 10.13                   | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.89  | 8.85  | 8.81  | 8.79  | 8.76  | 8.74  | 8.73  | 8.71  | 8.70  |
| 4                      | 7.71                    | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.09  | 6.04  | 6.00  | 5.96  | 5.94  | 5.91  | 5.89  | 5.87  | 5.86  |
| 5                      | 6.61                    | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.88  | 4.82  | 4.77  | 4.74  | 4.70  | 4.68  | 4.66  | 4.64  | 4.62  |
| 6                      | 5.99                    | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.21  | 4.15  | 4.10  | 4.06  | 4.03  | 4.00  | 3.98  | 3.96  | 3.94  |
| 7                      | 5.59                    | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.79  | 3.73  | 3.68  | 3.64  | 3.60  | 3.57  | 3.55  | 3.53  | 3.51  |
| 8                      | 5.32                    | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.50  | 3.44  | 3.39  | 3.35  | 3.31  | 3.28  | 3.26  | 3.24  | 3.22  |
| 9                      | 5.12                    | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.18  | 3.14  | 3.10  | 3.07  | 3.05  | 3.03  | 3.01  |
| 10                     | 4.96                    | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.14  | 3.07  | 3.02  | 2.98  | 2.94  | 2.91  | 2.89  | 2.88  | 2.85  |
| 11                     | 4.84                    | 3.98  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 3.01  | 2.95  | 2.90  | 2.85  | 2.82  | 2.79  | 2.76  | 2.74  | 2.72  |
| 12                     | 4.75                    | 3.89  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.85  | 2.80  | 2.75  | 2.72  | 2.69  | 2.66  | 2.64  | 2.62  |
| 13                     | 4.67                    | 3.81  | 3.41  | 3.18  | 3.03  | 2.92  | 2.83  | 2.77  | 2.71  | 2.67  | 2.63  | 2.60  | 2.58  | 2.55  | 2.53  |
| 14                     | 4.60                    | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.70  | 2.65  | 2.60  | 2.57  | 2.53  | 2.51  | 2.48  | 2.46  |
| 15                     | 4.54                    | 3.68  | 3.28  | 3.05  | 2.90  | 2.79  | 2.71  | 2.64  | 2.59  | 2.54  | 2.51  | 2.48  | 2.45  | 2.42  | 2.40  |
| 16                     | 4.49                    | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.66  | 2.59  | 2.54  | 2.49  | 2.46  | 2.42  | 2.40  | 2.37  | 2.35  |
| 17                     | 4.45                    | 3.59  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.61  | 2.55  | 2.49  | 2.45  | 2.41  | 2.38  | 2.35  | 2.33  | 2.31  |
| 18                     | 4.41                    | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.58  | 2.51  | 2.46  | 2.41  | 2.37  | 2.34  | 2.31  | 2.29  | 2.27  |
| 19                     | 4.38                    | 3.52  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.54  | 2.48  | 2.42  | 2.38  | 2.34  | 2.31  | 2.28  | 2.26  | 2.23  |
| 20                     | 4.35                    | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.51  | 2.45  | 2.39  | 2.35  | 2.31  | 2.28  | 2.25  | 2.22  | 2.20  |
| 21                     | 4.32                    | 3.47  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.49  | 2.42  | 2.37  | 2.32  | 2.28  | 2.25  | 2.22  | 2.20  | 2.18  |
| 22                     | 4.30                    | 3.44  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.46  | 2.40  | 2.34  | 2.30  | 2.26  | 2.23  | 2.20  | 2.17  | 2.15  |
| 23                     | 4.28                    | 3.42  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.44  | 2.37  | 2.32  | 2.27  | 2.24  | 2.20  | 2.18  | 2.15  | 2.13  |
| 24                     | 4.26                    | 3.40  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.42  | 2.36  | 2.30  | 2.25  | 2.22  | 2.18  | 2.15  | 2.13  | 2.11  |
| 25                     | 4.24                    | 3.39  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.40  | 2.34  | 2.28  | 2.24  | 2.20  | 2.16  | 2.14  | 2.11  | 2.09  |
| 26                     | 4.23                    | 3.37  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.39  | 2.32  | 2.27  | 2.22  | 2.18  | 2.15  | 2.12  | 2.09  | 2.07  |
| 27                     | 4.21                    | 3.35  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.37  | 2.31  | 2.25  | 2.20  | 2.17  | 2.13  | 2.10  | 2.08  | 2.06  |
| 28                     | 4.20                    | 3.34  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.45  | 2.36  | 2.29  | 2.24  | 2.19  | 2.15  | 2.12  | 2.09  | 2.06  | 2.04  |
| 29                     | 4.18                    | 3.33  | 2.93  | 2.70  | 2.55  | 2.43  | 2.35  | 2.28  | 2.22  | 2.18  | 2.14  | 2.10  | 2.08  | 2.05  | 2.03  |
| 30                     | 4.17                    | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.33  | 2.27  | 2.21  | 2.16  | 2.13  | 2.09  | 2.06  | 2.04  | 2.01  |

Dari table distribusi F, nilai  $F_{table}(0,05 : 4 : 10) = 4,46$  jadi nilai  $F_{hitung} = 9,46 > F_{Table} = 3,48$ . Dengan demikian  $H_1$  diterima  $H_0$  ditolak. Yang artinya bahwa terdapat pengaruh variasi serat baner terhadap nilai kuat tekan.

Perhitungan Analisa varian satu arah ini juga dapat dilakukan dengan bantuan software Microsoft excel, dan hasil perhitungan tersebut selengkapnya ditabelkan

Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Hipotesis

| No | Parameter    | Fhitung   | </> | Ftable    | H0                      | H1                      |
|----|--------------|-----------|-----|-----------|-------------------------|-------------------------|
| 1  | Kuat Tekan   | 27,129245 | >   | 3,48      | H <sub>0</sub> Ditolak  | H <sub>1</sub> Diterima |
| 2  | Tarik Belah  | 1,8944428 | <   | 4,46      | H <sub>0</sub> Diterima | H <sub>1</sub> Ditolak  |
| 3  | Tarik Lentur | 3,9200021 | <   | 7,7086474 | H <sub>0</sub> Diterima | H <sub>1</sub> Ditolak  |

Berdasarkan hasil uji hipotesis pada Tabel 4.27, diperoleh bahwa nilai Fhitung pada parameter kuat tekan lebih besar daripada Ftable, sehingga H<sub>1</sub> diterima dan H<sub>0</sub> ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa variasi serat banner memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton. Sementara itu, pada parameter kuat tarik belah dan kuat tarik lentur diperoleh nilai Fhitung lebih kecil daripada Ftable, sehingga H<sub>0</sub> diterima dan H<sub>1</sub> ditolak. Dengan demikian, variasi serat banner tidak memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton. Meskipun demikian, berdasarkan hasil pengujian dan grafik yang diperoleh, terdapat kecenderungan peningkatan nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada beberapa variasi serat banner dibandingkan dengan beton normal (0%). Hal ini menunjukkan bahwa secara hasil pengujian, penambahan serat banner dapat meningkatkan kemampuan beton dalam menahan beban tarik belah maupun beban lentur, meskipun peningkatan tersebut belum cukup besar untuk dinyatakan signifikan secara statistik berdasarkan hasil uji hipotesis.

#### 4.7 Analisa Regresi

Setelah diperoleh data hasil pengujian, selanjutnya dilakukan analisis hubungan antara variasi serat banner dengan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton. Analisis hubungan kedua variabel tersebut dilakukan menggunakan metode regresi eksponensial. Pemilihan model regresi eksponensial didasarkan pada pola data yang menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah seiring bertambahnya variasi

serat banner hingga mencapai nilai optimum, kemudian cenderung mengalami penurunan pada variasi serat yang lebih tinggi. Selain itu, model regresi eksponensial dipilih karena memberikan tingkat kecocokan yang lebih baik terhadap data penelitian dibandingkan model regresi lainnya, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang lebih tinggi. Pada analisis ini, variabel bebas (X) adalah variasi serat banner (%), sedangkan variabel terikat (Y) adalah kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton.

Tabel 4. 28 Data Kuat Tekan, Tarik Belah dan Tarik Lentur Rata-Rata

| Variasi | Kuat Rata-Rata |       |        |
|---------|----------------|-------|--------|
|         | Tekan          | Belah | Lentur |
| 0%      | 17,55          | -     | -      |
| 0%      | 14,38          | 1,93  | 4,24   |
| 0,1%    | 19,18          | 1,68  | 4,48   |
| 0,2%    | 21,23          | 1,95  | 4,92   |
| 0,3%    | 19,52          | 1,99  | 4,16   |

*Sumber : Hasil Analisa*

Tabel 4. 29 Data Regresi Kuat tekan

| No    | X    | Y        | ln y    | x . ln (y) | X <sup>2</sup> |
|-------|------|----------|---------|------------|----------------|
| 1     | 0%   | 17,55    | 2,86519 | 0          | 0              |
| 2     | 0%   | 14,38    | 2,66552 | 0          | 0              |
| 3     | 0,1% | 19,1757  | 2,95364 | 0,00295364 | 0,000001       |
| 4     | 0,2% | 21,23495 | 3,05565 | 0,0061113  | 0,000004       |
| 5     | 0,3% | 19,52124 | 2,9715  | 0,00891451 | 0,000009       |
| Total | 0,6% | 91,86    | 14,5115 | 0,01797945 | 0,000014       |

*Sumber : Hasil Analisa*

Dari tabel 4.29, maka didapat persamaan:

Nilai  $n = 5$

Model awal rumus eksponensial adalah :

$$Y = a \cdot e^{bx}$$

Agar bisa dihitung dengan regresi linear biasa, kedua sisi di log natural-kan menjadi:

$$\ln y = \ln a + bx$$

Dimana:

$\ln y$  kita sebut y

$\ln a$  kita sebut a (intersep)

b adalah koefisien kemiringan (slope)

Sehingga bentuknya:

$$Y = a + bx$$

Rumus mencari nilai b (slope) dan nilai a (intersep)

$$\begin{aligned} b &= \frac{n \sum (x \cdot \ln y) - (\sum x) \cdot (\sum \ln y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \\ &= \frac{5 \cdot (0,017979) - (0,006) \cdot (14,5115)}{5 \cdot (0,000014) - (0,006)^2} \\ &= 83,183144 \\ a &= \frac{\sum \ln y - b \cdot \sum x}{n} \\ &= \frac{14,5115 - (83,183144)(0,006)}{5} \\ &= 2,8024811 \end{aligned}$$

Karena  $a = \ln a$ , maka:

$$a = e^a = e^{3,1346} = 16,485$$

$$Y = 22,986$$

Dimana:

b = Koefisien kemiringan

a = nilai konstanta ( nilai y saat x = 0)

e = bilangan euler : 2,71828182845905

n = Jumlah data

$\sum (x \cdot y)$  = Jumlah hasil kali x dan  $\ln y$  per basis data

$\sum x$  = Jumlah semua nilai x

$\sum Y$  = Jumlah semua nilai x

$\sum x^2$  = Jumlah Kuadrat x

Tabel 4. 30 Data Perhitungan y Estimasi (yi) Kuat Tekan

| No    | x    | yi       | yi estimasi<br>22,986 . e129,74096.x | (yi - y1)2 |
|-------|------|----------|--------------------------------------|------------|
| 1     | 0%   | 21,01027 | 22,98604009                          | 3,90368239 |
| 2     | 0,1% | 28,68416 | 26,17037495                          | 6,31909908 |
| 3     | 0,2% | 32,478   | 29,79584661                          | 7,19393904 |
| 4     | 0,3% | 31,06479 | 33,92356729                          | 8,17259676 |
| Total | 0,6% | 113,237  | 112,8758289                          | 25,589317  |

Sumber : Hasil Analisa

Mengidentifikasi koefisien (R2) :

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

$$\text{Rata - Rata nilai } \bar{y}_i = \frac{91,8597}{5} = 18,371935$$

Mencari nilai SST ( Total Variansi ):

$$SST = \sum (y_i - \bar{y}_i)^2$$

$$SSE = (14,3754 - 18,371935)^2 + (19,1757 - 18,371935)^2 + (21,235 - 18,371935)^2 + (19,52512 - 18,371935)^2$$

$$= 15,9719 + 0,6460 + 8,1969 + 1,3191$$

$$= 26,1357$$

$$R^2 = \sqrt{0,50354}$$

$$R = 0,50354$$

Dimana:

Yi = Nilai rata- rata yi

Yi = Nilai yi estimasi

R = Koefisien Korelasi

R2 = Koefisien determinasi

SST = Total Variansi

SSE = Jumlah Kuadrat Error

Dengan menggunakan metode yang sama, analisis regresi dilakukan terhadap data hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada variasi serat banner sebesar 0%, 0,1%, 0,2%, dan 0,3%. Persamaan regresi yang diperoleh digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variasi serat banner dengan kuat tekan serta kuat tarik belah beton. Selanjutnya, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk menilai tingkat kecocokan model regresi dalam merepresentasikan data hasil pengujian. Hasil analisis regresi beserta nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk masing-masing parameter pengujian disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 31 Data Perhitungan y Estimasi ( $y_i$ ) Kuat Tekan

| No    | x    | $y_i$    | $y_i$ estimasi<br>$16,485 \cdot e^{83,183144 \cdot x}$ | $(y_i - y_1)^2$ |
|-------|------|----------|--------------------------------------------------------|-----------------|
| 1     | 0%   | 17,55    | 16,48549765                                            | 1,13815111      |
| 2     | 0%   | 14,37545 | 16,48549765                                            | 4,45232087      |
| 3     | 0,1% | 19,1757  | 17,91546323                                            | 1,58818671      |
| 4     | 0,2% | 21,23495 | 19,4694652                                             | 3,1169406       |
| 5     | 0,3% | 19,52124 | 21,15826258                                            | 2,679832        |
| Total | 0,6% | 91,86    | 91,5141863                                             | 12,975431       |

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4. 32 Data Perhitungan y Estimasi ( $y_i$ ) Kuat Tarik Belah

| No      | x       | yi       | yi estimasi<br>1,81273 . e <sup>24,3686 . x</sup> |          | (yi - y1)2  |          |
|---------|---------|----------|---------------------------------------------------|----------|-------------|----------|
| 1       | 0%      | 1,93     | 1,812731782                                       |          | 0,012981158 |          |
| 2       | 0,1%    | 1,68     | 1,857448161                                       |          | 0,03328646  |          |
| 3       | 0,2%    | 1,95     | 1,903267602                                       |          | 0,002120887 |          |
| 4       | 0,3%    | 1,99     | 1,950217314                                       |          | 0,001329489 |          |
| Total   | 0,6%    | 7,53767  | 7,523664859                                       |          | 0,049717995 |          |
| a       | b       | y        | SST                                               | SSE      | R2          | R        |
| 0,59483 | 24,3686 | 1,812732 | 0,06031                                           | 0,049718 | √0,17562    | 0,175621 |

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4. 33 Data Perhitungan y Estimasi (yi) Kuat Tarik Lentur

| No      | x       | yi        | yi estimasi<br>$4,4186 \cdot e3,38007 \cdot x$ |           | (yi - y1)2       |           |
|---------|---------|-----------|------------------------------------------------|-----------|------------------|-----------|
| 1       | 0%      | 4,24      | 1,812731782                                    |           | 5,905683399      |           |
| 2       | 0,1%    | 4,48      | 1,819233117                                    |           | 7,080193834      |           |
| 3       | 0,2%    | 4,92      | 1,825757768                                    |           | 9,603913864      |           |
| 4       | 0,3%    | 4,16      | 1,83230582                                     |           | 5,420466985      |           |
| Total   | 0,6%    | 17,808261 | 7,290028487                                    |           | 28,01025808      |           |
| a       | b       | y         | SST                                            | SSE       | R2               | R         |
| 1,48583 | 3,58007 | 4,4186341 | 713,905                                        | 28,010258 | $\sqrt{0,17562}$ | 0,9607647 |

Sumber : Hasil Analisa

#### 4.8 Uji Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui tingkat hubungan antara variasi kadar serat limbah banner dengan sifat mekanis beton. Koefisien korelasi dihitung menggunakan metode Pearson dengan variasi kadar serat banner sebagai variabel bebas (x) dan nilai rata-rata hasil pengujian sifat mekanis beton sebagai variabel terikat (y). Perhitungan koefisien korelasi dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$r : \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n(\sum x) - (\sum x)^2)(n(\sum y) - (\sum y)^2)}}$$

Tabel 4. 34 Data Hasil Uji Kuat Tekan, Tarik Belah dan Tarik Lentur

| n        | x       | y1         | y2          | y3           |
|----------|---------|------------|-------------|--------------|
| No       | Variasi | Kuat Tekan | Tarik Belah | Tarik Lentur |
| 1        | 0%      | 14,38      | 1,93        | 4,24         |
| 2        | 0,1%    | 19,18      | 1,68        | 4,48         |
| 3        | 0,2%    | 21,23      | 1,95        | 4,92         |
| 4        | 0,3%    | 19,52      | 1,99        | 4,16         |
| <b>Σ</b> | 1%      | 74,307     | 7,538       | 17,808       |

Sumber : Hasil Penelitian

Analisis uji korelasi kuat tekan dan tarik belah:

Tabel 4. 35 Data Perhitungan Uji Korelasi Kuat Tekan

| n | x    | y     | x <sup>2</sup> | y <sup>2</sup> | xy        |
|---|------|-------|----------------|----------------|-----------|
| 1 | 0%   | 14,38 | 0              | 206,65         | 0         |
| 2 | 0,1% | 19,18 | 0,000001       | 367,71         | 0,0191757 |
| 3 | 0,2% | 21,23 | 0,000004       | 450,92         | 0,0424699 |
| 4 | 0,3% | 19,52 | 0,000009       | 381,08         | 0,0585637 |
| Σ | 1%   | 74,31 | 0,00           | 1406,36        | 0,12      |

Sumber : Hasil Penelitian

Dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$r : \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n(\sum x) - (\sum x)^2)(n(\sum y) - (\sum y)^2)}}$$

$$r : \frac{0,48 - (0,01) \times (74,31)}{\sqrt{(0,000056 - 0,000036) \times (5625,45 - 5521,58)}} = 0,767754$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada data pengujian kuat tekan, tarik belah dan tarik lentur. Interpretasi tingkat hubungan mengacu pada tabel 4.36:

Tabel 4. 36 Kriteria Korelasi

| Pengujian    | Nilai r          | Keterangan          |
|--------------|------------------|---------------------|
| Kuat Tekan   | 0,76775441255045 | Kuat                |
| Tarik Belah  | 0,41370301937100 | Sedang              |
| Tarik Lentur | 0,07432444333443 | Sangat rendah/lemah |

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.36, nilai koefisien korelasi antara variasi serat banner dan kuat tekan beton sebesar 0,7677, sedangkan nilai koefisien korelasi antara variasi serat banner dan kuat tarik belah beton sebesar 0,4137. Sementara itu, nilai koefisien korelasi antara variasi serat banner dan kuat tarik lentur beton sebesar 0,0743. Berdasarkan kriteria interpretasi koefisien korelasi, hubungan antara variasi serat banner dan kuat tekan beton termasuk

dalam kategori kuat, hubungan antara variasi serat banner dan kuat tarik belah beton termasuk dalam kategori sedang, sedangkan hubungan antara variasi serat banner dan kuat tarik lentur beton termasuk dalam kategori sangat rendah. Nilai koefisien korelasi yang bernilai positif menunjukkan bahwa hubungan antara variasi serat banner dengan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton bersifat searah. Artinya, peningkatan variasi serat banner cenderung diikuti oleh peningkatan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton, meskipun pada kuat tarik lentur hubungan tersebut sangat lemah.

#### **4.9 Pembahasan**

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan serat banner pada campuran beton yang mengandung molase sebesar 0,54% dari berat semen memberikan pengaruh terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton. Nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur meningkat seiring bertambahnya variasi serat hingga kadar 0,2%, kemudian kuat tekan mengalami sedikit penurunan pada variasi 0,3%, meskipun nilainya masih lebih tinggi dibandingkan beton tanpa serat.

Peningkatan kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur hingga variasi 0,2% menunjukkan bahwa serat banner mampu menghambat perkembangan retak serta meningkatkan ikatan antara pasta semen dan agregat. Namun, pada variasi 0,3% jumlah serat yang terlalu banyak menyebabkan distribusi serat menjadi kurang merata dan workability menurun, sehingga terbentuk rongga (*void*) yang mengurangi kekuatan beton.

Hasil analisis regresi eksponensial menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kecocokan yang baik terhadap data pengujian, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Selain itu, analisis korelasi menunjukkan adanya hubungan positif antara variasi serat banner dengan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,767754 menunjukkan hubungan yang kuat antara variasi

serat banner dengan kuat tekan beton, sedangkan nilai 0,4137 menunjukkan hubungan yang sedang dengan kuat tarik belah beton. Sementara itu, nilai koefisien korelasi sebesar 0,0743 menunjukkan hubungan yang sangat rendah antara variasi serat banner dengan kuat tarik lentur beton.