

## Analisa Penggunaan Zeolit Teraktivasi Kimia Sebagai Substitusi Semen Dengan Variasi FAS Pada Beton SCC

Abdul Jalil Hawary<sup>1,\*</sup>, Kristianto Usman<sup>1</sup>, Ika Kustiani<sup>1</sup>

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Lampung, Lampung<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [abduljalilhawry@gmail.com](mailto:abduljalilhawry@gmail.com)

| Info Artikel |                 | Abstract                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diajukan     | 13 Agustus 2026 | <i>This study analyzes the effect of the water-cement ratio (WCR) on the workability and compressive strength of Self-Compacting Concrete (SCC) containing superplasticizers and 1M NaOH-activated zeolite. Utilizing a quantitative experimental approach, WCR variations (0.29, 0.31, 0.33, 0.35, and 0.37) were tested. Fresh concrete workability was evaluated via v-funnel, slump flow, and l-box methods conforming to SNI 7656:2012. Results showed compressive strengths of 42.71, 41.58, 40.82, 40.35, and 40.26 MPa, respectively. Increasing the WCR gradually reduces compressive strength because higher water content increases concrete porosity and lowers density. In contrast, a lower WCR creates a denser pore structure, which optimizes the pozzolanic reaction between the zeolite and cement. Ultimately, this study demonstrates that while a lower WCR maximizes compressive strength, a higher WCR improves the workability of SCC.</i> |
| Diperbaiki   | 19 Agustus 2026 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Disetujui    | 22 Agustus 2026 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Keywords: WCR, Zeolite, Chemical Activation, SCC Concrete, Superplasticizer

### Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh Faktor Air Semen (FAS) terhadap *workability* dan kuat tekan *Self Compacting Concrete* (SCC) yang mengandung superplasticizer dan zeolit teraktivasi NaOH 1M. Melalui pendekatan eksperimental kuantitatif, variasi FAS (0,29; 0,31; 0,33; 0,35; dan 0,37) diuji. Kinerja beton segar dievaluasi melalui uji *v-funnel*, *slump flow*, dan *l-box* sesuai standar SNI 7656:2012. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 42,71, 41,58, 40,82, 40,35, dan 40,26 MPa. Peningkatan FAS menurunkan kuat tekan secara bertahap karena tingginya kadar air akan meningkatkan porositas dan menurunkan densitas beton. Sebaliknya, FAS yang rendah menciptakan struktur pori yang lebih rapat, sehingga mengoptimalkan reaksi pozzolanik antara zeolit dan semen. Kesimpulannya, FAS yang lebih rendah akan memaksimalkan kuat tekan, sedangkan FAS yang lebih tinggi mampu meningkatkan performa *workability* beton SCC.

Kata kunci: FAS, Zeolit, Aktivasi Kimia, Beton SCC, Superplasticizer

### 1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan beton di Indonesia sebagai negara berkembang mendorong berbagai inovasi dalam material konstruksi untuk mendukung pembangunan infrastruktur yang lebih efisien. Salah satu inovasi tersebut adalah penggunaan *Self-Compacting Concrete* (SCC) dan material pengganti semen seperti zeolit alam, yang menawarkan solusi ramah lingkungan sekaligus meningkatkan performa beton [1, 2].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa inovasi SCC, telah berkembang untuk mengatasi kelemahan beton konvensional. SCC dikenal mampu mengalir tanpa pemadatan, cepat kering, dan cocok untuk beton mutu tinggi, dalam hal ini mengacu pada standar ACI 363R-92 beton yang memiliki kekuatan  $\geq 41$  MPa [3, 4, 5]. Penggunaan *superplasticizer* sebagai aditif utama pada SCC terbukti meningkatkan performa beton dengan mengurangi kadar air, mempercepat waktu *setting*, dan meningkatkan kuat tekan [6, 7]. Selain itu, penggunaan zeolit sebagai bahan substitusi

semen menjadi perhatian utama karena mampu menekan dampak lingkungan akibat produksi semen. Zeolit memiliki struktur kristal berpori serta kandungan silika dan alumina yang serupa dengan semen, sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton dan menurunkan permeabilitasnya [8, 9, 10]. Zeolit bisa meningkatkan kekuatan dan menurunkan permeabilitas beton. Penelitian juga menunjukkan bahwa aktivasi kimia zeolit menggunakan NaOH dapat meningkatkan kualitasnya, menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih optimal [11, 12, 13]. Aktivasi ini dapat dilakukan secara fisik melalui pemanasan atau secara kimia menggunakan asam atau basa [14, 15, 16].

Berdasarkan penjelasan tersebut, mungkin inovasi penggunaan zeolit alam sebagai pengganti sebagian semen dalam beton dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak lingkungan akibat produksi semen. Oleh karena itu, proses aktivasi zeolit, baik melalui pemanasan maupun penambahan bahan kimia seperti NaOH, perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas zeolit agar mampu menggantikan

semen secara efektif. Dengan demikian, beton yang dihasilkan berpotensi memiliki kekuatan lebih tinggi, permeabilitas yang lebih rendah, serta karakteristik yang lebih ramah lingkungan dibandingkan beton konvensional.

Tujuan penelitian adalah analisis pengaruh faktor air semen pada *workability* beton *self compacting concrete* (SCC) dan pengaruhnya terhadap kuat tekan beton. Penggunaan zeolit dalam rangka menghasilkan beton yang lebih ramah lingkungan serta memberikan wawasan baru mengenai penerapan zeolit teraktivasi secara kimia pada beton SCC.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Sebanyak 18 sampel beton digunakan dalam penelitian, dengan kuat tekan rencana sebesar 40 MPa. Sampel uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Diagram alir proses penelitian dapat dilihat dalam **Gambar 1**.

### Material

Penelitian ini menggunakan beberapa material utama, yaitu agregat kasar dengan ukuran 4,75 mm hingga 19 mm, agregat kasar yang digunakan memiliki nilai modulus kehalusan (FM) 6,49. Material agregat kasar tidak dilakukan pengujian abrasi. Sedangkan untuk agregat halus berukuran 0,15 mm hingga 4,75 mm, dan memiliki nilai modulus kehalusan (FM) 2,71. Untuk bahan pengikat, digunakan Semen Padang tipe PCC, sedangkan sebagai bahan tambahan digunakan *superplasticizer* jenis Sika Viscocrete 3115N. Selain itu, zeolit yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu disaring menggunakan saringan no. 200, dan hanya partikel yang lolos saringan yang dipakai.

### Uji Karakteristik Beton SCC

Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) harus memenuhi ketahanan terhadap segregasi, mampu mengisi ruang, dan melewati celah sempit. Pengujian beton segar SCC meliputi *slump flow*, *L-Shape Box*, dan *V-Funnel*. Uji *slump flow* memastikan konsistensi beton dengan nilai ideal 550-850 mm [17]. Uji *L-Shape Box* mengukur kemampuan beton mengisi cetakan, dengan rasio tinggi H1/H2 ideal 0,8-1. Uji *V-Funnel* mengevaluasi waktu alir beton, idealnya 6-12 detik, memastikan aliran kontinu.

### Uji Berat Volume Beton

Pengujian berat volume (densitas) beton merupakan salah satu parameter fisik esensial yang dilakukan untuk mengevaluasi kualitas, durabilitas, dan karakteristik mekanik dari suatu spesimen beton. Prosedur pengujian ini diawali dengan melakukan penimbangan massa secara presisi

terhadap benda uji sesaat setelah mencapai umur perawatan (*curing*) tertentu seperti 7, 14, atau 28 hari di mana proses hidrasi matriks semen dianggap telah mencapai fase yang ditargetkan. Penimbangan tersebut idealnya dilakukan menggunakan neraca digital terkalibrasi guna memastikan tingkat akurasi data yang tinggi. Selanjutnya, volume benda uji diukur dan dihitung secara teliti berdasarkan dimensi aktualnya, bukan semata-mata mengandalkan ukuran nominal cetakan.

Pengukuran dimensi aktual (baik pada spesimen silinder maupun kubus) ini sangat penting untuk mengakomodasi potensi penyusutan atau penyimpangan bentuk geometris sekecil apa pun selama masa pengecoran dan perawatan. Nilai berat volume kemudian dikuantifikasi secara empiris melalui perhitungan matematis, yakni dengan membagi total massa benda uji terhadap total volume aktualnya. Hasil kalkulasi dari parameter analitik ini sangat krusial karena secara langsung merepresentasikan tingkat kerapatan (kompaktibilitas) mikrostruktur beton. Melalui komparasi data berat volume ini, peneliti dapat mengidentifikasi besaran porositas atau indikasi rongga udara yang terjebak di dalam spesimen, sekaligus mengevaluasi sejauh mana efektivitas dari masing-masing variasi proporsi campuran bahan penyusunnya dalam menghasilkan struktur beton yang padat, homogen, dan berkinerja tinggi.

### Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin *Compression Testing Machine* (CTM) pada beton berumur 28 hari untuk memastikan kekuatan yang dapat diterima. Sebelum pengujian, sampel uji dikeringkan sampai dengan kondisi SSD dan ditempatkan pada mesin. Mesin diberi tekanan secara konstan hingga beton mencapai titik maksimal daya tahan atau tanda kehancuran visual. Nilai kuat tekan dicatat dari pembacaan tertinggi yang ditunjukkan jarum mesin dalam satuan kN. Pengujian ini mengacu pada standar SNI 1974-2011 [18].

### Rencana Anggaran Biaya

Proses penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam studi ini dilaksanakan secara sistematis dengan merujuk langsung pada instrumen regulasi resmi, yakni dokumen Standar Satuan Harga (SSH) Pemerintah Kota Bandar Lampung Tahun Anggaran 2023. Penggunaan landasan acuan ini merupakan langkah krusial untuk menjamin validitas dan keandalan estimasi pembiayaan yang dihasilkan. Dokumen SSH tersebut memuat kompilasi komprehensif mengenai daftar harga satuan dasar terkini, yang mencakup spesifikasi material, upah pekerja, hingga standar harga pekerjaan yang lazim diaplikasikan dalam

berbagai proyek konstruksi di wilayah tersebut. Dengan menjadikan ketetapan harga lokal ini sebagai basis perhitungan primer, proses estimasi diharapkan dapat mencerminkan kondisi riil fluktuasi pasar, sehingga akumulasi total biaya pemodelan yang diperoleh menjadi jauh lebih presisi, realistis, dan terkalibrasi secara penuh dengan standar pembiayaan infrastruktur daerah yang berlaku.

Meskipun demikian, demi menjaga spesifisitas dan kedalaman analisis ruang lingkup penelitian, penyusunan RAB pada tinjauan ini dibatasi secara eksklusif hanya pada komponen pengadaan dan pembelian material saja. Pembatasan (*limitation*) ini merupakan strategi analitis yang diterapkan dengan tujuan utama untuk mengisolasi variabel, sehingga observasi dapat difokuskan murni pada seberapa signifikan sensitivitas penggunaan variasi alternatif material terhadap perubahan atau eskalasi biaya keseluruhan struktur. Melalui eliminasi komponen biaya di luar material seperti upah tenaga kerja maupun biaya operasional alat penelitian

ini diharapkan mampu menyajikan komparasi efisiensi anggaran yang lebih tajam, objektif, dan tidak terdistorsi oleh variabel-variabel pembentuk harga lainnya.

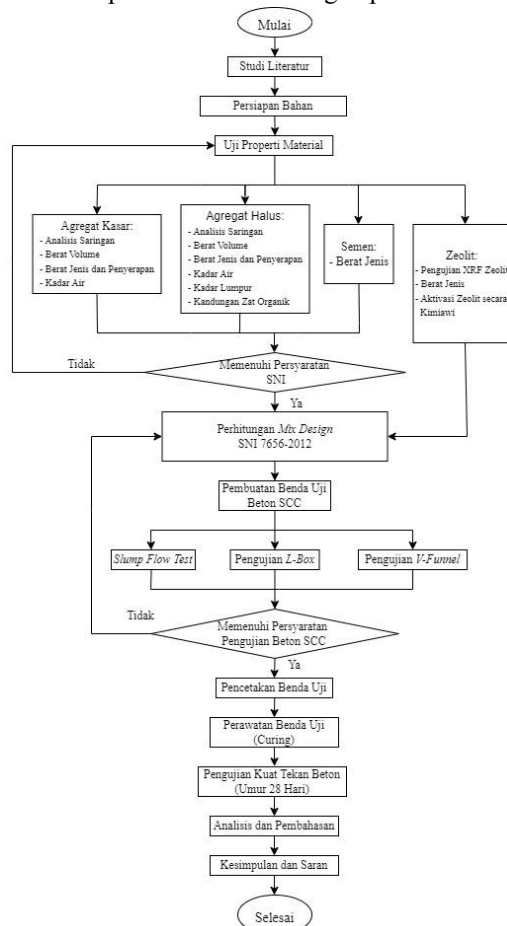
### 3. Hasil dan Pembahasan

Bahan yang akan dipergunakan dalam campuran beton lebih dahulu diuji untuk mengetahui apakah material tersebut sudah memenuhi standar atau belum.

#### Pengujian Agregat Kasar

- Hasil berat volume agregat kasar yang diperoleh yaitu  $1457,51 \text{ kg/m}^3$ .
- Hasil berat jenis kering 2,60 ; berat jenis SSD 2,63 ; berat jenis semu 2,69.
- Hasil uji penyerapan air yang diperoleh yaitu 1,35%.
- Hasil kadar air agregat kasar yang diperoleh yaitu 1,49%.
- Hasil modulus kehalusan agregat kasar yang diperoleh yaitu 6,49.

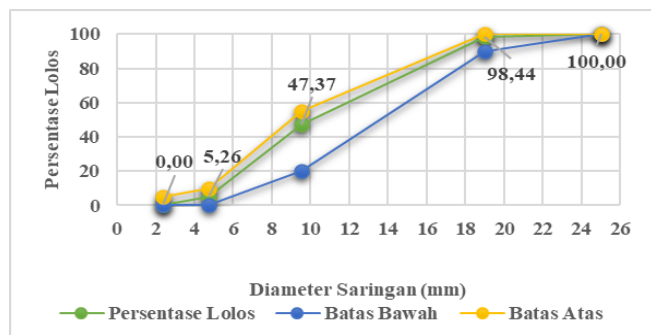
Berikut disajikan grafik gradasi dan tabel analisis saringan pada **Gambar 2** dan **Tabel 1**.



**Gambar 1.** Diagram Alir

**Tabel 1.** Analisis Saringan Agregat Kasar

| No. Saringan      | Ukuran (mm) | Berat Tertahan (gr) | Akumulasi Tertahan | % Tertahan | % Kumulatif | % Lolos |
|-------------------|-------------|---------------------|--------------------|------------|-------------|---------|
| No. 1             | 25          | 0                   | 0                  | 0          | 0           | 100     |
| 3/4 in            | 19          | 74                  | 74                 | 1,56       | 1,56        | 98,4    |
| 3/8 in            | 9,5         | 2426                | 2500               | 51,07      | 52,63       | 47,3    |
| No. 4             | 4,75        | 2000                | 4500               | 42,11      | 94,74       | 5,26    |
| No. 8             | 2,36        | 250                 | 4750               | 5,26       | 100         | 0       |
| No. 16            | 1,18        | 0                   | 4750               | 0          | 100         | 0       |
| No. 30            | 0,6         | 0                   | 4750               | 0          | 100         | 0       |
| No. 50            | 0,3         | 0                   | 4750               | 0          | 100         | 0       |
| No. 100           | 0,15        | 0                   | 4750               | 0          | 100         | 0       |
| Total             |             | 4750                |                    | 100        | 648,93      |         |
| Modulus Kehalusan |             |                     |                    |            | 6,49        |         |

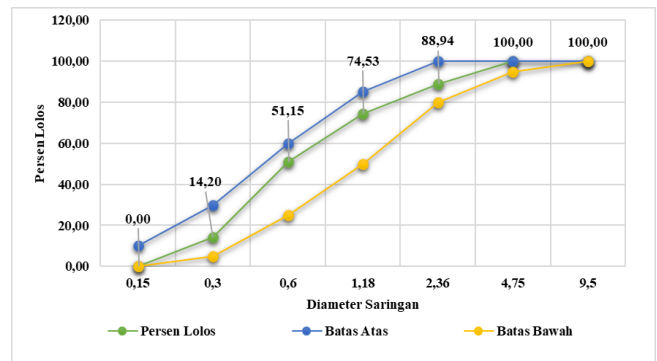
**Gambar 2.** Grafik Gradasi Agregat Kasar**Pengujian Agregat Halus**

- Hasil berat volume agregat halus yang diperoleh yaitu 1414,14 kg/m<sup>3</sup>.
- Hasil berat jenis kering 2,49 ; berat jenis SSD 2,54 ; berat jenis semu 2,61.
- Hasil uji penyerapan air yang diperoleh yaitu 1,83%.
- Hasil kadar air agregat halus yang diperoleh yaitu 3,09%.
- Hasil kadar lumpur agregat halus yang diperoleh yaitu 1,25%.
- Hasil kandungan zat organik agregat halus yang diperoleh yaitu nomor 3 pada alat *hellige tester*.
- Hasil modulus kehalusan agregat halus yang diperoleh yaitu 2,71.

Berikut disajikan grafik gradasi agregat halus dan tabel analisis saringan tertera pada **Gambar 3** dan **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Analisis Saringan Agregat Halus

| No. Saringan      | Ukuran (mm) | Berat Tertahan (gr) | Akumulasi Tertahan | % Tertahan | % Kumulatif | % Lolos |
|-------------------|-------------|---------------------|--------------------|------------|-------------|---------|
| 3/8 in            | 9,50        | 0,00                | 0,00               | 0,00       | 0,00        | 100     |
| No. 4             | 4,75        | 0,00                | 0,00               | 0,00       | 0,00        | 100     |
| No. 8             | 2,36        | 53,00               | 53,00              | 11,06      | 11,06       | 88,94   |
| No. 16            | 1,18        | 69,00               | 122,00             | 14,41      | 25,47       | 74,53   |
| No. 30            | 0,60        | 112,00              | 234,00             | 23,38      | 48,86       | 51,15   |
| No.50             | 0,30        | 177,00              | 411,00             | 36,95      | 85,80       | 14,2    |
| No. 100           | 0,15        | 68,00               | 479,00             | 14,20      | 100,00      |         |
| Total             |             | 479,00              |                    | 100,00     | 271,19      |         |
| Modulus kehalusan |             |                     |                    |            | 2,71        |         |

**Gambar 3.** Grafik Gradasi Agregat Halus

**Gambar 3** menggambarkan distribusi ukuran partikel suatu material yang semakin mudah melewati saringan berdiameter lebih besar, dengan batas atas dan batas bawah memberikan rentang toleransi yang menggambarkan batas maksimal dan minimal untuk persen lolos material tersebut.

**Pengujian Zeolit**

- Zeolit yang digunakan pada penelitian ini berasal dari CV Mina Tama, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.
- Hasil berat jenis untuk zeolit yang diperoleh yaitu 2,19.
- Tujuan dari aktivasi zeolit bertujuan untuk melarutkan oksida logam yang menutupi permukaan zeolit [15].

Berikut disajikan tabel kandungan zeolit hasil uji XRF yang dilaksanakan di Laboratorium Karakteristik Lanjut Lampung – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) tertera di **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian XRF

| Compound                       | Conc             |      |                  |      |
|--------------------------------|------------------|------|------------------|------|
|                                | Sebelum Aktivasi | Unit | Setelah Aktivasi | Unit |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11,569           | %    | 13,081           | %    |
| SiO <sub>2</sub>               | 72,751           | %    | 70,907           | %    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,843            | %    | 0,776            | %    |
| K <sub>2</sub> O               | 5,147            | %    | 5,298            | %    |
| CaO                            | 4,724            | %    | 4,785            | %    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,322            | %    | 0,375            | %    |
| MnO                            | 661,2            | ppm  | 656,1            | ppm  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,275            | %    | 4,27             | %    |
| ZnO                            | 116,4            | %    | 0,104            | %    |
| Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 46,4             | ppm  | 49,8             | ppm  |
| Rb <sub>2</sub> O              | 295              | ppm  | 315,2            | ppm  |
| SrO                            | 920,8            | ppm  | 899              | ppm  |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 49,2             | ppm  | 58               | ppm  |
| ZrO <sub>2</sub>               | 416              | ppm  | 513,1            | ppm  |
| SnO <sub>2</sub>               | 212,1            | ppm  | 250,7            | ppm  |
| TeO <sub>2</sub>               | 80,3             | ppm  | 88               | ppm  |
| BaO                            | 518              | ppm  | 585,3            | ppm  |
| CeO <sub>2</sub>               | 91,7             | ppm  | 113,6            | ppm  |
| Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 180,9            | ppm  | 220,3            | ppm  |
| PbO                            | 35,5             | ppm  | 63               | ppm  |
| ThO <sub>2</sub>               | 52,3             | ppm  | 51               | ppm  |

Berdasarkan **Tabel 3**, kandungan senyawa dalam zeolit mengalami sedikit perubahan setelah aktivasi, terutama terlihat pada senyawa seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{CaO}$ . Kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang signifikan dalam zeolit sangat penting karena senyawa ini berperan dalam reaksi pozzolanik ketika zeolit digunakan sebagai bahan tambahan dalam semen. Reaksi pozzolanik antara senyawa silika dan aluminat dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) yang dihasilkan dari hidrasi semen akan membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang berperan penting dalam meningkatkan kekuatan beton. Perubahan komposisi oksida tersebut menunjukkan bahwa proses aktivasi memberikan pengaruh terhadap karakteristik kimia zeolit yang berkaitan dengan interaksi material di dalam sistem pengikatan semen.

### Pengujian Semen

Pengujian terhadap semen dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis sebagai salah satu parameter dasar dalam perancangan campuran beton. Berdasarkan hasil pengukuran, semen memiliki berat jenis sebesar 3,15. Nilai tersebut sudah berada di dalam rentang standar untuk semen *portland* menurut SNI 15-2531-1991. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semen yang digunakan berada pada kondisi fisik yang sesuai untuk proses perancangan campuran beton. Dengan demikian, data berat jenis ini dapat digunakan sebagai dasar perhitungan *mix design* tanpa memerlukan penyesuaian tambahan.

### Pengujian Karakteristik Beton SCC

**Tabel 4** menunjukkan pengaruh variasi penggunaan zeolit 10% dengan berbagai Faktor Air Semen (FAS) terhadap *workability* beton *Self Compacting Concrete* (SCC) yang diukur dengan tiga parameter: *Slump Flow*, *V-Funnel*, dan *L-Box*. Beton SCC normal dengan FAS 0,33 memiliki nilai *Slump Flow* 575 mm, *V-Funnel* 10,35 detik, dan *L-Box* 0,86.

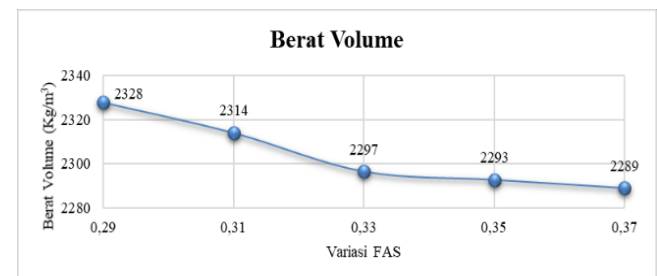
Dengan penambahan zeolit 10%, terlihat bahwa semakin tinggi nilai FAS, nilai *Slump Flow* meningkat dari 552 mm (FAS 0,29) menjadi 595 mm (FAS 0,37), yang menunjukkan peningkatan kemampuan beton untuk mengalir. Nilai *V-Funnel* juga mengalami penurunan seiring peningkatan FAS, dari 11,85 detik (FAS 0,29) menjadi 8,46 detik (FAS 0,37), yang menunjukkan pengurangan waktu alir dan peningkatan fluiditas beton. Selain itu, nilai *L-Box* meningkat dari 0,81 menjadi 0,97, yang mencerminkan perbaikan kemampuan beton dalam mengisi ruang dan melewati tulangan dengan baik.

**Tabel 4.** Hasil Uji Karakteristik SCC

| Variasi              | Nilai Slump Flow (mm) | Nilai V-Found (detik) | Nilai L-Box (H2/H1) |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Normal SCC FAS 0,33  | 575                   | 10,35                 | 0,86                |
| Zeolit 10%+ FAS 0,29 | 552                   | 11,85                 | 0,81                |
| Zeolit 10%+ FAS 0,31 | 558                   | 11,39                 | 0,84                |
| Zeolit 10%+ FAS 0,33 | 567                   | 10,97                 | 0,87                |
| Zeolit 10%+ FAS 0,35 | 585                   | 9,82                  | 0,94                |
| Zeolit 10%+ FAS 0,37 | 595                   | 8,46                  | 0,97                |

Berdasarkan **Tabel 4**, hasil uji karakteristik SCC menunjukkan bahwa setiap variasi FAS memberikan respon yang berbeda terhadap nilai *slump flow*, waktu *v-funnel*, dan rasio *l-box*. Secara umum, nilai *slump flow* cenderung meningkat pada FAS 0,29 hingga 0,37. Sedangkan waktu *v-funnel* menunjukkan pola yang tidak sepenuhnya linier terhadap perubahan FAS. Pada nilai *l-box*, seluruh variasi masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk SCC, meskipun terdapat fluktuasi kecil antar variasi. Perbedaan nilai yang muncul mengindikasikan bahwa variasi FAS berpengaruh terhadap kemampuan alir, kemampuan mengisi, dan kemampuan melewati celah, namun pengaruh tersebut tidak menunjukkan kecenderungan tunggal dan harus ditinjau berdasarkan setiap parameter pengujian secara individual.

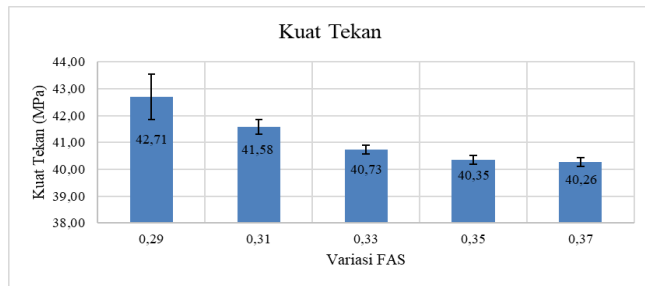
### Pengujian Berat Volume Beton



**Gambar 4.** Grafik Berat Volume Beton

**Gambar 4** menunjukkan hubungan antara variasi FAS (faktor air semen) dan berat volume ( $\text{kg/m}^3$ ). Berdasarkan **Gambar 4**, di atas bahwa FAS yang digunakan pada campuran beton akan mempengaruhi berat volume beton yang dihasilkan. Pada FAS 0,29, berat volume mencapai  $2328 \text{ kg/m}^3$  dan terus menurun menjadi  $2314 \text{ kg/m}^3$  pada FAS 0,31. Penurunan ini berlanjut pada FAS 0,33 dengan berat volume  $2297 \text{ kg/m}^3$ , kemudian mencapai  $2293 \text{ kg/m}^3$  pada FAS 0,35, hingga akhirnya menyentuh nilai  $2289 \text{ kg/m}^3$  pada FAS 0,37. Meningkatnya FAS yang digunakan, maka akan semakin ringan berat volume beton yang dihasilkan [19]. Hal ini disebabkan karena beton yang menggunakan FAS tinggi akan menghasilkan lebih banyak rongga jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan FAS rendah. Semakin banyak rongga pada beton maka berat volume yang dihasilkan akan semakin rendah [20].

### Pengujian Kuat Tekan Beton



**Gambar 5.** Grafik Kuat Tekan Beton

Berdasarkan pada **Gambar 5.**, kuat tekan paling optimum yaitu pada variasi FAS 0,29 dengan nilai kuat tekan sebesar 42,71 MPa. Dari grafik bisa dilihat bahwa kuat tekan yang didapatkan cenderung mengalami penurunan sesuai dengan meningkatnya FAS yang digunakan. Hal tersebut disebabkan oleh jumlah semen, zeolit, dan *superplasticizer* yang digunakan dalam campuran. Semakin rendah FAS yang digunakan, maka kandungan material tersebut lebih besar persentasenya jika dibandingkan dengan kandungan air yang digunakan, begitu pula sebaliknya [21]. Selain itu, jumlah pori pada beton juga menentukan kuat tekan yang dihasilkan [22]. Beton yang menggunakan FAS rendah akan memiliki lebih sedikit pori dibandingkan dengan beton yang menggunakan faktor air semen tinggi [21]. Pada penelitian ini, dapat diketahui hubungan kuat tekan beton akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya FAS yang digunakan [23]. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [24], pada penelitian tersebut diketahui bahwa jika suatu campuran beton terlalu banyak kandungan airnya, maka kuat tekan beton yang didapatkan akan menurun.

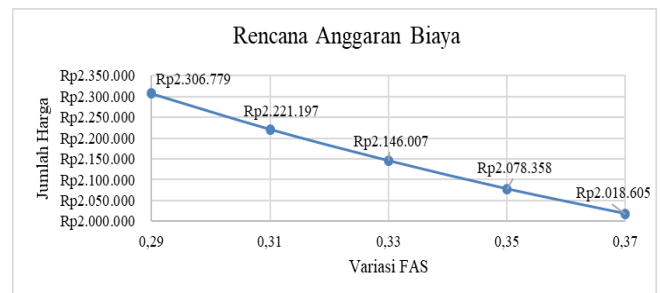
### Pembuatan Rencana Anggaran Biaya

**Tabel 5.** Rencana Anggaran Biaya

| No | No. Variasi          | Volume (m <sup>3</sup> ) | Jumlah Harga |
|----|----------------------|--------------------------|--------------|
| 1  | Normal SCC FAS 0,33  | 1                        | Rp 2.001.925 |
| 2  | Zeolit 10%+ FAS 0,29 | 1                        | Rp 2.306.779 |
| 3  | Zeolit 10%+ FAS 0,31 | 1                        | Rp 2.221.197 |
| 4  | Zeolit 10%+ FAS 0,33 | 1                        | Rp 2.146.007 |
| 5  | Zeolit 10%+ FAS 0,35 | 1                        | Rp 2.078.358 |
| 6  | Zeolit 10%+ FAS 0,37 | 1                        | Rp 2.018.605 |

**Tabel 5** dan **Gambar 6** menyajikan hubungan antara variasi faktor air semen (FAS) dengan rencana anggaran biaya. FAS memengaruhi jumlah semen dalam campuran beton, yang berdampak langsung pada total biaya material. Melalui grafik dan tabel ini, dapat dianalisis bagaimana perubahan FAS memengaruhi biaya pembelian material, terutama semen, agregat, dan air yang digunakan dalam campuran beton. Penyajian ini memberikan gambaran yang

lebih jelas mengenai efisiensi biaya dalam merancang campuran beton yang optimal.



**Gambar 6.** Grafik Hubungan RAB dan FAS

**Gambar 6** menunjukkan hubungan antara variasi Faktor Air Semen (FAS) dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam pembuatan beton. Dari grafik, terlihat bahwa semakin besar nilai FAS, maka jumlah biaya yang diperlukan cenderung menurun. Pada FAS 0,29, biaya mencapai titik tertinggi sebesar Rp2.306.779, sedangkan pada FAS 0,37 biaya turun hingga Rp2.018.605. Berdasarkan **Tabel 5.** dan **Gambar 6.** bahwa pada variasi faktor air semen rendah membutuhkan biaya yang lebih banyak dibandingkan dengan variasi faktor air semen yang tinggi. Hal ini dikarenakan oleh jumlah material dalam campuran beton tiap variasi. Terutama pada material semen, zeolit, dan juga *superplasticizer* yang memiliki harga jual lumayan tinggi. Semakin banyak jumlah material tersebut dalam campuran beton, maka biaya yang dibutuhkan juga akan semakin mahal. Jika dilakukan perbandingan harga antara beton normal SCC dengan seluruh variasi, maka dapat diketahui terdapat peningkatan biaya pada variasi FAS 0,29; 0,31; 0,33; 0,35; dan 0,37 secara berurutan sebesar 15,23%; 10,95%; 7,20%; 3,82%; dan 0,83%.

### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa Faktor Air Semen (FAS) berpengaruh jelas terhadap perilaku beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan substitusi zeolit 10% yang diaktivasi menggunakan NaOH 1M. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada FAS 0,29 sebesar 42,71 MPa dan menurun seiring peningkatan FAS akibat meningkatnya porositas beton. Sebaliknya, nilai *slump flow*, waktu alir *v-funnel*, dan rasio *l-box* membaik pada FAS yang lebih tinggi, sehingga *workability* meningkat. Seluruh variasi FAS yang diuji memenuhi kriteria SCC berdasarkan EFNARC 2005. Dengan demikian, FAS rendah menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, sedangkan FAS tinggi memberikan karakteristik alir dan pengisian yang lebih baik.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Magister Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Susanto, S. H., Bayuseno, A. P., & Soegijono, S. (2015). Pengaruh Penggunaan Mineral Lokal Zeolit Alam terhadap Karakteristik *Self Compacting Concrete*. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(1), 47-55. <https://doi.org/10.14710/mkts.v23i1.15973>
- [2] Kusuma, I. G. B. N., & Sudana, I. M. (2014). Perancangan Beton *Self Compacting Concrete* (Beton Memadat Sendiri) dengan Bahan Tambah Zeolit Alam. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 39-45. <https://doi.org/10.24843/JTS.2014.v18.i01.p05>
- [3] Agus, I., & Riska, R. (2023). Analisis Pengaruh Perawatan Terhadap Nilai Kuat Tekan Pada Beton Self-Compacting Concrete (SCC). *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan*, 12(2), 49-57. doi:10.55340/jmi.v12i2.1436
- [4] Singh, S., & Siddique, R. (2012). Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on workability and strength properties of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112(1), 620-630. doi:10.1016/j.jclepro.2015.07.049
- [5] Kavas, T., & Olgun, A. (2008). Properties of cement and mortar incorporating natural zeolite as pozzolan. *Cement and Concrete Research*, 38(6), 879-886. doi:10.1016/j.cemconres.2007.10.010
- [6] Alsadey, S., & Omran, A. (2022). Effect of Superplasticizers to Enhance the Properties of Concrete. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(13), 91-96. doi:10.37394/232022.2022.2.13
- [7] Okamura, H., & Ouchi, M. (2013). Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5-15. doi:10.3151/jact.1.5
- [8] Irawan, E. R., & Sari, D. P. (2024). Pemanfaatan Zeolit dengan Aktivasi Fisik sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton Poros. *Jurnal Material dan Teknik Sipil*, 22(2), 90-97. <https://doi.org/10.22219/jmts.v22i2.34686>
- [9] Pasapan, R. M., & Suryanto, E. (2024). Pengaruh Penggunaan Zeolite Alam sebagai Pengganti Mineral Filler pada Campuran Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 22(2), 90-97. <https://doi.org/10.1234/jts.v22i2.8377>
- [10] Wolo, D., Ngapa, Y. D., & Carvallo, L. (2019). Potensi Zeolit Alam Ende Sebagai Bahan Aditif Semen untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Dinamika Sains*, 3(1), 34-39. <https://doi.org/10.24815/jds.v3i1.1710101>
- [11] Widyawati, D., & Haqqi, M. (2023). Pengaruh Penggunaan Zeolit dan Serat Agave Sisalana Terhadap Kuat Tekan Beton Self Compacting Concrete. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 30(1), 135-143. <https://doi.org/10.14710/mkts.30.1.135-143>
- [12] Zacob, A., & Poerwadi, M. (2017). *Charateristic of Self Compacting Concrete with Zeolit as Cement Partially Replacement*. *Jurnal Teknik Universitas Jember*, 5(1), 99-106. <https://doi.org/10.19184/jtuj.v5i1.320864403>
- [13] Fynnisa, A., Sari, D. P., & Sari, D. P. (2024). Pemanfaatan Zeolit dengan Aktivasi Fisik sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton Poros. *Media Teknik Sipil*, 22(2), 90-97. <https://doi.org/10.21776/ub.jmts.2024.022.02.10>
- [14] Al Muttaqii, M., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Yamin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., & Dewangga, D. P. (2019). Pengaruh Aktivasi secara Kimia menggunakan Larutan Asam dan Basa terhadap Karakteristik Zeolit Alam. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13(2), 266. doi:10.26578/jrti.v13i2.5577
- [15] Ngapa, Y. D. (2017). Kajian Pengaruh Asam-Basa pada Aktivasi Zeolit dan Karakterisasinya sebagai Adsorben Pewarna Biru Metilena. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(2), 90. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i2.11904>
- [16] Janotka, I., & Krajči, L. (2014). Utilization of natural zeolite in Portland cement of increased chemical resistance. *Cement and Concrete Research*, 35(2), 285-294. doi:10.1016/j.cemconres.2014.05.007
- [17] EFNARC. (2005). Specification and guidelines for self-compacting concrete. *European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*. Retrieved from <https://www.efnarc.org>
- [18] Badan Standarisasi Nasional, 2011. SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.
- [19] Yusuf, M., & Sumantri, A. (2022). Pengaruh Variasi Faktor Air Semen terhadap Berat Volume Beton. *Jurnal Teknik Sipil Atma Jaya*, 10(2), 45-52. <https://doi.org/10.1234/jtsaj.v10i2.12345>
- [20] Panjaitan, R. (2015). Pengaruh Faktor Air Semen (FAS) Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Serat Tebu. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 1-8. <https://doi.org/10.25170/jts.v1i1.1>
- [21] Ginting, A., & Siahaan, R. (2015). Pengaruh rasio agregat semen dan faktor air semen terhadap kuat tekan dan porositas beton porous. *Jurnal Teknik Universitas*

- Jember*, 5(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.19184/jtuj.v5i1.320864403>
- [22] Nugroho, A. (2013). Pengaruh Perbedaan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Agregat Breksi Batu Apung. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.25170/jts.v1i1.1>
- [23] Wesli, W., Akbar, S. J., & Burhanuddin, B. (2011). Studi Korelasi Faktor Air Semen (Water Cement Ratio) Dengan Kuat Tekan Beton Struktural. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 58–69. <https://doi.org/10.29103/tj.v1i1.64>
- [24] Hermansyah, H., P. Laja, L. A., & Annisa, S. (2022). Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Abu Bonggol Jagung. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(1), 83. <https://doi.org/10.31602/jk.v5i1.7392>