

## Analisis SEM-EDS Beton Normal yang Menggunakan Superplasticizer

Yulisya Zuriatni\*<sup>1</sup>, Muhammad Sofyan\*<sup>2</sup>, Pratiwi Setyaning Putri<sup>3</sup>, Abdul Rokhman<sup>4</sup>, Irma Wirantina Kustanrika<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Sipil, FTIK, Institut Teknologi PLN, Jakarta  
e-mail: \*<sup>1</sup> [yulisya.zuriatni@itpln.ac.id](mailto:yulisya.zuriatni@itpln.ac.id), \*<sup>2</sup> [m.sofyan@itpln.ac.id](mailto:m.sofyan@itpln.ac.id)

### Abstract

Scientists have investigated the utilization of superplasticizers and C-S-H gel to enhance the quality of concrete. A superplasticizer is a chemical addition that enhances the fluidity of a concrete mixture while preserving its strength. This study thoroughly examined the impact of C-S-H gel formation on the strength and durability of concrete through the use of SEM EDS photo testing. The SEM/EDS testing procedure employs hand crafted gold mounting disks (Au stubs) to provide support for the sample. The sample is affixed to the Au rod either by using a cost-effective glue (Loctite Super\_Bonder) or by placing it directly on the Au rod. The SEM-EDS test findings indicate that the elements Ca, Al, and Si are the predominant compounds. Compressive strength is exhibited by material having a lower SiO<sub>2</sub>/CaO ratio. The one that is situated at a lower position. The sample comprises eight elements, with Ca, Al, and Si being the predominant compound elements. A higher ratio of SiO<sub>2</sub> to CaO in the oxide enhances the compressive strength, whereas the creation of a dense C-S-H gel results in voids that are smaller than 20 microns.

**Key words:** Concrete, Superplasticizer, SEM-EDS, C-S-H Gel, Compressive Strength.

### Abstrak

Para peneliti telah mengeksplorasi penggunaan superplasticizer dan gel C-S-H untuk meningkatkan kualitas beton. Superplasticizer adalah bahan tambahan kimia yang dapat ditambahkan ke campuran beton untuk meningkatkan fluiditas sekaligus menjaga kekuatan. Formasi gel C-S-H pada kekuatan dan daya tahan beton diselidiki secara cermat dalam studi ini dengan melakukan pengujian foto SEM EDS. Teknik pengujian SEM/EDS menggunakan disk pemasangan emas yang dibuat secara manual (Au stubs) sebagai sarana untuk mendukung sampel. Sampel ditempelkan pada batang Au dengan menggunakan pelekat yang terjangkau (Loctite Super\_Bonder) atau ditempatkan langsung di atas batang Au. Hasil Uji SEM-EDS menunjukkan Unsur senyawa Ca, Al dan Si mendominasi. Material dengan rasio SiO<sub>2</sub>/CaO yang lebih rendah menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah. Sampel terdiri dari delapan elemen, dengan Ca, Al, dan Si menjadi elemen senyawa yang dominan. Rasio oksida SiO<sub>2</sub>/CaO yang tinggi meningkatkan kekuatan tekanan, sedangkan pembentukan gel C-S-H yang ketat memiliki kekosongan di bawah 20 mikron.

**Kata kunci:** Beton, Superplasticizer, SEM-EDS, C-S-H Gel, Kuat Tekan

## 1. Pendahuluan

Semen pada beton terdiri dari empat fase utama: alite (C3S tidak murni), belite (C2S), aluminat (C3A), dan ferit. Mereka bereaksi dengan air pada kecepatan yang bervariasi, memadatkan pasta semen menjadi zat pengikat yang berguna dan murah yang biasa digunakan dalam konstruksi. Kalsium silikat hidrat (C-S-H) adalah produk utama hidrasi semen Portland polos (PC), yang menyumbang sekitar 50% volume akhir pasta dan bertanggung jawab atas kekuatan dan daya tahannya. (Rossen et al, 2017)

C-S-H (I) merupakan hasil reaksi antara silika hidrous dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  pada suhu normal, dengan rasio C/S berkisar antara 0,8 hingga 1,5. C-S-H(II) terbentuk dari reaksi trikalsium silikat ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) dengan air, dengan rasio C/S berkisar antara 1,5 hingga 2,0. Meskipun demikian, C-S-H (II) terdeteksi dalam sistem yang mencakup  $\text{Ca(OH)}_2$ , asap silika, dan air. Guindy dkk, 2003 menggunakan difraksi sinar-X dan analisis termal untuk menetapkan bahwa C-S-H (I) adalah produk utama dalam kombinasi dengan rasio C/S awal yang rendah. Namun, ketika rasionya meningkat, C-S-H (II) juga teramati sebagai hasilnya. Abo-El-Enein et al, 1996 dan El-Shimy et al, 2000 menemukan hasil yang sebanding dalam penelitian mereka.

Superplasticizer, juga dikenal sebagai pengurang air tingkat tinggi, adalah campuran yang digunakan pada material semen untuk menghasilkan campuran dengan rasio w/c rendah dan kemampuan kerja yang baik. Penambahan superplasticizer meningkatkan tingkat hidrasi dalam pasta C3S dan tingkat polimerisasi dalam tetrahedron silikon-oksigen dari gel C-S-H. Selain itu, disebutkan bahwa penggunaan superplasticizer yang berasal dari sulfonat naphthalene formaldehida mengurangi kebutuhan untuk air dan menyebabkan peningkatan daya tahan dalam mortir semen. Oleh karena itu, superplasticizer berfungsi untuk meningkatkan penciptaan gel C-S-H dan meningkatkan karakteristik mekanis beton (Alessandra et al, 2015; Ding et al, 2012). Campuran ini juga terbukti membantu mengurangi porositas produk jadi (dengan mengurangi rasio w/c). Superplasticizer adalah polimer yang larut dalam air yang memiliki gugus anionik yang mungkin memiliki berat molekul rendah atau tinggi. Namun, superplasticizer yang dipasok ke konsumen sering kali merupakan komposisi yang mencakup dua atau lebih jenis polimer. Perlu dicatat bahwa semakin rendah berat molekul polimer tersebut, semakin banyak udara yang terperangkap selama pencampuran. Superplasticizer juga telah terbukti membubarkan partikel semen yang seharusnya menggumpal dengan mengurangi interaksi tarik-menarik di antara partikel-partikel tersebut dan gaya yang menyebabkan buruknya aliran dalam campuran. Hambatan sterik juga menjadi komponen penting dalam mekanisme plastisasi dengan diperkenalkannya kopolimer berbentuk sisir seperti polikarboksilat (PC). Polikarboksilat adalah molekul dengan struktur rumit yang terwujud dalam aksi superplasticizer. PC dengan gugus karboksilat memiliki adsorpsi awal yang signifikan pada partikel semen namun retensi slump rendah. Namun, perilaku gugus sulfonat dan fosfonat bervariasi bergantung pada beberapa variabel. PC yang lebih bercabang meningkatkan dispersi semen dan mengurangi keterbelakangan hidrasi. Demikian pula, tulang punggung PC yang lebih panjang mengurangi keterbelakangan dan meningkatkan kemampuan mengalir. (Gelardi, 2016 ; Flatt et al, 2012; Sha et al, 2020; Nadiger et al, 2019; Li et al, 2015).

SEM adalah pendekatan yang sangat baik untuk memeriksa bahan organik dan anorganik pada skala mikrometer hingga skala nano, serta mengevaluasi struktur mikro dan morfologi suatu bahan (S.A Sayid et al, 2020). SEM-EDS, yang merupakan singkatan dari Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, dapat mendeteksi keberadaan C-S-H (kalsium-silikat-hidrat) dalam beton dengan menganalisis komponennya. Mikroskop elektron pemindaian (SEM)

menawarkan visualisasi rinci dari mikrostruktur beton, memungkinkan untuk membedakan fase yang berbeda. EDS, bagaimanapun, menggunakan deteksi sinar-X untuk mengidentifikasi unsur-unsur dalam suatu zat, sehingga mengungkapkan komposisinya. Rasio elemen khusus sering digunakan untuk mengidentifikasi C-S-H. Misalnya, plot Si/Ca (silikon-kalsium ratio) dan Al/ Ca (aluminum-calcium ratio), efektif dalam membedakan C-S-H dari fase lain. Peta ini dapat membantu dalam memvisualisasikan dispersi dan konstitusi C-S-H dalam beton. Selain itu, penggunaan plot 3D memungkinkan pemeriksaan berbagai rasio elemental, memfasilitasi pemahaman yang lebih luas tentang komposisi C-S-H. Persamaan simultan linear dapat digunakan untuk memeriksa dan mengukur hipotesis yang terkait dengan fase yang berkontribusi pada mikroanalisis spesifik (Famy et al, 2023; Georget et al, 2022). Gagasan inti SEM adalah memindai permukaan sampel material. Berkas elektron dipancarkan ke permukaan material selama pemindaian sampel. Ketika elektron bertabrakan, foton dan elektron dipancarkan ke seluruh permukaan sampel material (A.A. Bogno, 2015). Dari berbagai isu yang ada, maka dalam penelitian ini akan diinvestigasi bagaimana ukuran butir partikel dan bentuk partikel yang berperan dalam pembentuk C-S-H pada beton yang menggunakan superplasticizer berdasarkan Analisa foto SEM, Selain itu senyawa Oksida yang dominan terbentuk akan dikorelasikan dengan properti mekanis beton.

## 2. Material dan Metode Penelitian

### 2.1 Material

Pada penelitian ini sampel beton normal akan diinvestigasi dengan variasi Faktor Air Semen adalah 0.45 dan 0.5. Terdapat 3 varian subjek uji berlabel BN-0.45 dan BN-0.5. Sampel akan dipreparasi terlebih dahulu dengan ukuran partikel maksimum 80x50 mm. Beton yang digunakan menggunakan superplasticizer dengan dosis 1.2 % dari berat semen. Bahan tambahan yang digunakan adalah bahan sejenis plasticizer produk SIKA yang digunakan dalam campuran beton segar, yaitu Bahan Aditif Beton Sikacim. Bahan ini digolongkan sebagai aditif pereduksi air tingkat tinggi yang khusus dibuat untuk industri beton, dengan Modified Naphthalene Formaldehyde Sulfonate sebagai unsur kimia dasarnya. Keuntungan yang diperoleh memungkinkan pembukaan bekisting lebih cepat sekaligus mencapai kekuatan tekan awal yang lebih besar. Bekerja secara efektif di seluruh rentang dosis yang disarankan. plasticizer memiliki massa jenis  $1,17 \pm 0,01$  kg/L (pada  $+20$  °C) dalam bentuk cair dan berwarna coklat tua.

Bahan Binder utama adalah Semen Portland Tipe 2 merk Tonasa. Sifat fisik dari semen dilaporkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Sifat fisis Semen Portland Tonasa**

| Parameter kualitas<br>Satuan | Unit | SNI 7064-<br>2014  | Typical<br>product | Range     |
|------------------------------|------|--------------------|--------------------|-----------|
| Properti fisis               |      |                    |                    |           |
| Kuat tekan                   |      |                    |                    |           |
| • 3 hari                     | Min  | kg/cm <sup>2</sup> | 130                | 180 ± 20  |
| • 7 hari                     | Min  | kg/cm <sup>2</sup> | 200                | 240 ± 20  |
| • 28 hari                    | Min  | kg/cm <sup>2</sup> | 280                | 310 ± 20  |
| • Blaine                     | Min  | m <sup>2</sup> /g  | 280                | 450 ± 20  |
| • Air content                | Max  | %                  | 12                 | 6.8 ± 2.2 |
| Chemical Properties          |      |                    |                    |           |
| • SO <sub>3</sub>            | Max  | %                  | 4                  | 2 ± 0.5   |

Sumber : PT Semen Tonasa

Agregat kasar alami yang digunakan adalah batu pecah lokal dengan ukuran agregat maksimum sebesar 19 mm (didefinisikan memiliki 82% dari agregat melewati antara 13,2 mm dan 19 mm dan sesuai dengan ASTM C136-01. Agregat halus bersumber dari toko material lokal untuk dimanfaatkan dalam campuran, kemudian diuji berdasarkan standar ASTM C136-01. Tabel 2 menyajikan properti dari agregat yang digunakan dalam campuran beton

**Tabel 2. Properti fisis Agregat**

| Uraian pengujian   | Satuan | Hasil Pengujian |         |
|--------------------|--------|-----------------|---------|
|                    |        | Pasir           | Kerikil |
| Modulus kehalusan  | %      | 2,47            | 5,94    |
| Berat jenis semu   | -      | 2,46            | 2,74    |
| Berat jenis kering | -      | 2,22            | 2,52    |
| Berat jenis SSD    | -      | 2,36            | 2,65    |
| Penyerapan Air     | %      | 3,2             | 2,44    |
| Kadar Air          | %      | 3,43            | 1,74    |
| Kadar Lumpur       | %      | 1,54            | 4,36    |
| Keausan Agregat    | %      | -               | 26,75   |
| Berat Volume Padat | kg/ltr | 1,36            | 1,24    |

Kuat tekan merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul sampel per satuan luas. Kuat tekan dipengaruhi oleh beberapa faktor. faktor air semen (*water cement ratio* = w/c), sifat dan jenis agregat, jenis campuran, kelecakan (*workability*), perawatan (*curing*) dan umur sampel. Faktor air semen (*water cement ratio* = w/c) sangat mempengaruhi kuat tekan sampel. Semakin kecil nilai w/c nya maka jumlah airnya sedikit yang akan menghasilkan kuat tekan yang besar.

Kuat tekan beton dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana :

$f'c$  = kuat tekan mortar (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang yang menerima beban (cm<sup>2</sup>)

Dalam penelitian ini, kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum  $f'c$  dengan satuan N/mm<sup>2</sup> atau MPa (mega pascal).

## 2.2 Metode

Setelah dilakukan preparasi, sampel akan dicoating terlebih dahulu sebelum diamati dengan metode pemeriksaan citra SEM-EDS dengan perbesaran antara 100x hingga 1000x. Set up pengujian foto SEM disajikan pada gambar 1.



**Gambar 1. Set Up dan Preparasi pengujian Foto SEM-EDS**

Pencitraan elektron hamburan balik (BSE) dilakukan untuk mendeteksi dengan rentang tegangan akselerasi rendah dari 5 hingga 15 kV h. Sampel dipasang pada cakram logam untuk diamati. rentang pembesaran yang dapat dijangkau mulai dari 10X hingga 100.000X. Propertis Sampel yang diuji dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3. Propertis Sampel**

| <b>Id Sampel</b> | <b>w/c ratio</b> | <b>Kekuatan tekan 28 hari (MPa)</b> |
|------------------|------------------|-------------------------------------|
| BN-0.45          | 0.45             | 39.18                               |
| BN-0.5           | 0.5              | 33.13                               |

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Foto SEM dan Senyawa Oksida

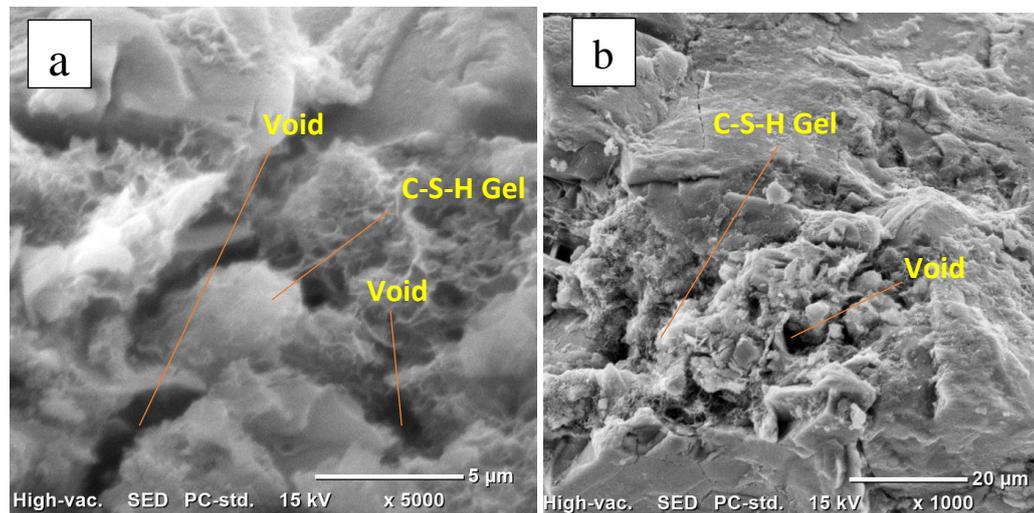
##### 1) BN-0.45

Uji SEM-EDS memungkinkan untuk mengidentifikasi gel C-S-H yang terbentuk yang berperan sebagai pengikat pada beton. Reaktivitas pozzolan yang tinggi pada bahan/semen memungkinkan terbentuknya gel C-S-H yang lebih padat oleh produk hidrasi. Kontribusi plasticizer membuat senyawa oksida pada semen bereaksi dengan baik untuk membentuk gel padat. Senyawa oksida yang terbentuk memberikan gambaran kuantitatif mengenai senyawa yang berperan dalam pembentukan bahan pengikat. Tabel 4 menunjukkan senyawa oksida pada sampel BN-0.45. Senyawa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CaO}$  mempunyai massa yang signifikan.

**Tabel 4. Senyawa Oksida BN-0.45**

| <b>No</b> | <b>Element</b> | <b>Ec Tegangan Emisi Minimum (keV)</b> | <b>Massa %</b> | <b>Senyawa</b>          |
|-----------|----------------|--|----------------|-------------------------|
| 1         | C K            | 0.277                                  | ND             | C                       |
| 2         | O K            | 0.525                                  | 30.02          | -                       |
| 3         | Na K           | 1.041                                  | 0.59           | $\text{Na}_2\text{O}$   |
| 4         | Mg K           | 1.253                                  | 0.18           | $\text{MgO}$            |
| 5         | Al K           | 1.486                                  | 22.88          | $\text{Al}_2\text{O}_3$ |
| 6         | Si K           | 1.739                                  | 22.26          | $\text{SiO}_2$          |

| No           | Element | Ec Tegangan Emisi Minimum (keV) | Massa %    | Senyawa |
|--------------|---------|---------------------------------|------------|---------|
| 7            | P K     | 2.013                           | 0.02       | P2O5    |
| 8            | K K     | 3.312                           | 1.20       | K2O     |
| 9            | Ca K    | 3.690                           | 22.86      | CaO     |
| <b>TOTAL</b> |         | <b>15.336</b>                   | <b>100</b> |         |



**Gambar 2. a) Foto SEM BN-0.45 pembesaran 5000X, b) Foto SEM SPP0-0.45 pembesaran 1000X**

Gambar 2 menyajikan gambar SEM sampel BN-0.45. Perbesaran struktur mikro sampel terdiri dari butiran berskala mikrometer yang diikat menjadi satu oleh produk hidrasi semen portland. Struktur mikro ini menunjukkan bahwa pada magnifikasi 5000x gel C-S-H terlihat dengan tampilan yang lebih cerah dan beberapa void di area tertentu. Area void ditunjukkan pada area yang lebih gelap. Pada magnifikasi 1000x micro crack mulai terlihat. Diameter void yang tertangkap citra foto SEM bisa diestimasi pada magnifikasi 5000x. Diameter void yang terlihat sekitar 2.5 mikron meter.

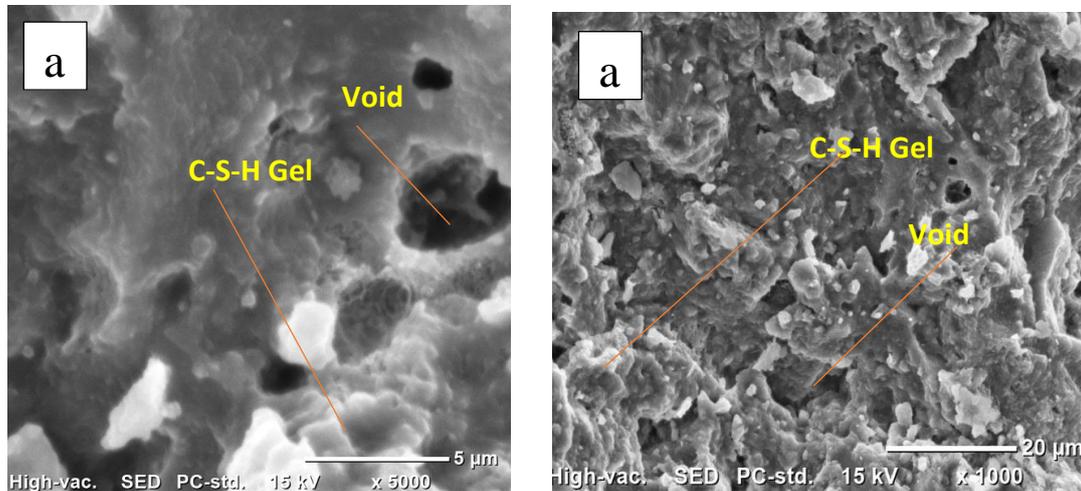
## 2) BN-0.5

Analisis EDS sampel BN-0.5 yang disajikan pada tabel 5 mengandung delapan unsur berikut O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca. Dimana di antaranya unsur utama (persentase berat) adalah O (22.3%), Ca (28%), Si (20.3%), dan Ca (28%).

**Tabel 5. Senyawa Oksida BN-0.5**

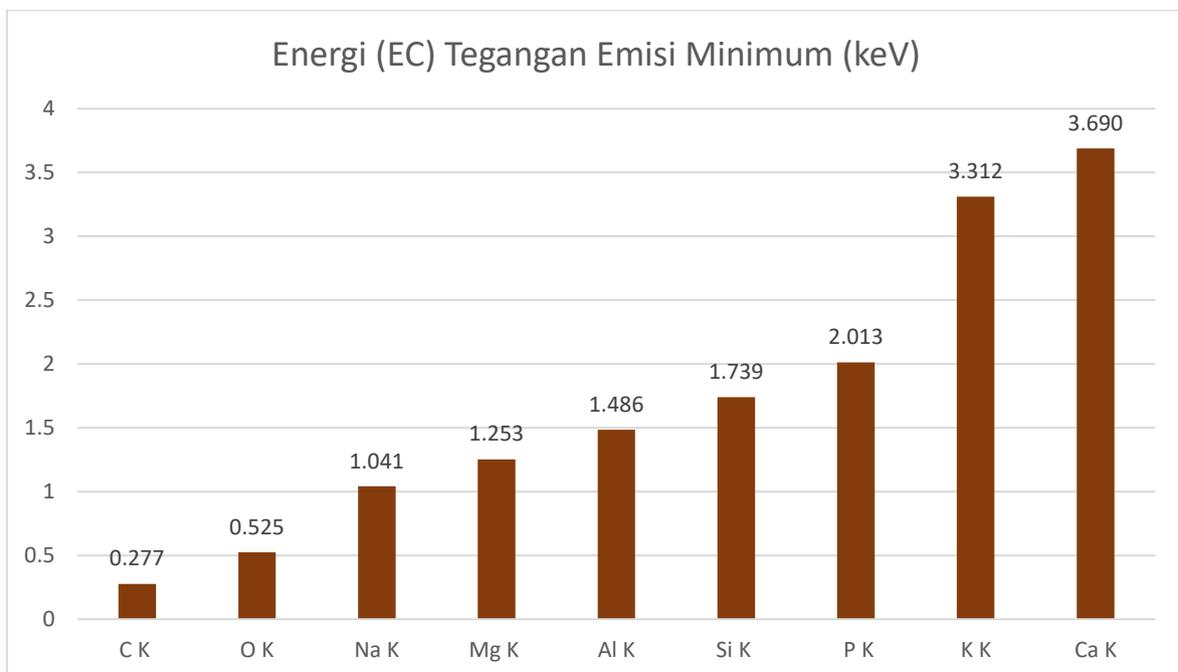
| No | Element | Ec Tegangan Emisi Minimum (keV) | Massa (%) | Senyawa |
|----|---------|---------------------------------|-----------|---------|
| 1  | C K     | 0.277                           | ND        | C       |
| 2  | O K     | 0.525                           | 22.33     | -       |
| 3  | Na K    | 1.041                           | 0.37      | Na2O    |
| 4  | Mg K    | 1.253                           | 0.57      | MgO     |
| 5  | Al K    | 1.486                           | 27.5      | Al2O3   |
| 6  | Si K    | 1.739                           | 20.3      | SiO2    |
| 7  | P K     | 2.013                           | 0.14      | P2O5    |

|              |      |               |            |                  |
|--------------|------|---------------|------------|------------------|
| 8            | K K  | 3.312         | 0.36       | K <sub>2</sub> O |
| 9            | Ca K | 3.690         | 28         | CaO              |
| <b>TOTAL</b> |      | <b>15.336</b> | <b>100</b> |                  |



**Gambar 3. a) Foto SEM BN-0.5 pembesaran 5000X, b) Foto SEM BN-0.5 pembesaran 1000X**

Pada pemebesaran 1000x formasi binder (C-S-H gel) masih cukup rapat meskipun terdapat beberapa void. Ukuan void kurang-lebih masih dibawah 20 μm. Namun Massa SiO<sub>2</sub> sebesar 20.3% menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan sample BN 0.45.



**Gambar 4. Energi tegangan emisi minimum**

Penentuan tegangan emisi minimum dalam pemindaian mikroskop elektron sangat penting untuk memperoleh spektrum sinar-X dispersif energi berkualitas tinggi dan memastikan analisis unsur yang akurat. Ambang tegangan ini memastikan bahwa berkas elektron memiliki energi yang cukup untuk menginduksi pembangkitan sinar-X dari sampel, sehingga memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi unsur-unsur yang ada dalam spesimen secara tepat. Gambar 4 menunjukkan besarnya tegangan emisi minimum terbesar diperoleh oleh senyawa CaO sebesar 3.69 keV. Namun angka tersebut tidak berbanding lurus terhadap massa dari senyawa yang terapat pada sampel.

### 3.2. SiO<sub>2</sub>/CaO terhadap Kekuatan Tekan (Compressive Strength)

Rasio SiO<sub>2</sub>/CaO dapat memberikan informasi hubungan antara komposisi kimia suatu bahan dengan properti mekanis beton seperti kuat tekan. Namun, untuk memberikan gambaran yang lebih akurat, diperlukan lebih banyak informasi termasuk kandungan oksida pada saat beton mengeras. Tabel 6. menyajikan Rasio Massa SiO<sub>2</sub>/CaO dan Kekuatan Tekan.

**Tabel 6. Rasio Massa SiO<sub>2</sub>/CaO dan Kekuatan Tekan**

| Id Sampel | SiO <sub>2</sub> | CaO   | SiO <sub>2</sub> /CaO | Kekuatan tekan 28 hari (MPa) |
|-----------|------------------|-------|-----------------------|------------------------------|
| BN-0.45   | 22.26            | 22.86 | 0.97375328            | 39.18                        |
| BN-0.5    | 20.3             | 28    | 0.725                 | 33.13                        |

Tabel menunjukkan rasio SiO<sub>2</sub>/CaO mempengaruhi besarnya kuat tekan sampel beton. Reaktivitas silikon dioksida sangat kuat dan stabil, rasio oksida SiO<sub>2</sub>/CaO yang tinggi dalam sampel cenderung meningkatkan kuat tekan. Sebaliknya, material dengan rasio SiO<sub>2</sub>/CaO yang rendah memiliki kuat tekan yang rendah. Namun perlu diperhatikan bahwa kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti struktur kristal, ukuran butir, dan proses perawatan setelah beton mengeras.

## 4. Kesimpulan

Sampel mengandung delapan unsur berikut C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca. Unsur senyawa Ca, Al dan Si mendominasi. Rasio Oksida SiO<sub>2</sub>/CaO yang tinggi pada sampel cenderung memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. Sebaliknya, material dengan rasio SiO<sub>2</sub>/CaO yang lebih rendah menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah. Meski menunjukkan formasi C-S-H gel yang cukup rapat masih terdapat beberapa void namun dengan ukuran masih dibawah 20 mikron meter. Pada kasus yang lain, Tegangan emisi minimum tidak merepresentasikan besarnya massa senyawa yang terdapat pada specimen.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya secara khusus kami ucapkan kepada Institut Teknologi PLN dan YPK-PLN yang mendanai secara penuh mulai dari survei, pengadaan material, pengambilan data dan publikasi serta pihak-pihak yang ikut terlibat dan mensupport secara moril dan materil..

## Daftar Pustaka

- A. A. Bogno, J. E. Spinelli, C. R. M. Afonso, and H. Henein (2015) “Microstructural and mechanical properties analysis of extruded Sn–0.7Cu solder alloy,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 84–92, doi: 10.1016/J.JMRT.2014.12.005.
- Abo-El-Enein, S. A.; Abou-Gamra, Z. M.; El-Hosiny, F. I.; El Gamal, S. M. A.; J. Therm. Anal. Calorim. 1996, 46, 275.
- Alessandra, Danilo, Roberto, Maria, & Rafael. (2015). *Impact of superplasticizer on the hardening of slag Portland cement blended with red mud*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815304785>
- ASTM Internasional (2001), ASTM C 136 – 01. *Standard test method for sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. United States : ASTM Internasional.
- ASTM C 39, (2005). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C 39-05)*. USA: ASTM International.
- Ding, Q., Zhu, Y., Wnag, Y., Huang, X., & Zi-Cheng, G. (2012, July 14). *Effects of molecular structure of polycarboxylate-type superplasticizer on the hydration properties of C3S*. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. <https://doi.org/10.1007/s11595-012-05459>
- El-Shimy, E.; Abo-El-Enein, S. A.; El-Didamony, H.; Osman, T. A.; J. Therm. Anal. Calorim. 2000, 60, 549
- Famy, C., Brough, A. R., & Taylor, H. F. W. (2003, September 1). *The C-S-H gel of Portland cement mortars: Part I. The interpretation of energy-dispersive X-ray microanalyses from scanning electron microscopy, with some observations on C-S-H, AFm and AFt phase compositions*. Cement and Concrete Research. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(03\)00064-4](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(03)00064-4)
- Flatt, R.; Schober, I. (2012). Superplasticizers and the Rheology of Concrete. In *Understanding the Rheology of Concrete*; Woodhead Publishing: Sawston, UK, pp. 144–208. [CrossRef]
- Gelardi, G.; Flatt, R.J. (2016). Working Mechanisms of Water Reducers and Superplasticizers. In *Science and Technology of Concrete Admixtures*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 257–278.
- Georget, F., Bénier, C., Wilson, W., & Scrivener, K. (2022, February 1). *Chloride sorption by C-S-H quantified by SEM-EDX image analysis*. Cement and Concrete Research. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106656>
- Guindy, N. M.; Abo El Enein, S.A.; El Hosiny, F. I.; El Gamal, S. M. A.; J. Therm. Anal. Calorim. 1993, 40, 151.
- Li, L.G.; Kwan, A.K.H. (2015). Effects of Superplasticizer Type on Packing Density, Water Film Thickness and Flowability of Cementitious Paste. *Constr. Build. Mater.* 2015, 86, 113–119.
- Nadiger, A.; Madhavan, M.K. (2019). Influence of Mineral Admixtures and Fibers on Workability and Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete. *J. Mater. Civ. Eng.* 2019, 31, 04018394.
- Rossen J,E ;Scrivener, K. L. (2017). *Optimization of SEM-EDS to determine the C – A – S – H composition in matured cement paste samples*. November 2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2016.11.041>
- S. A. Sayid, A. Dadan-Garba, D. E. Enenche, and B. A. Ikyo (2020) “Scanning Electron Microscopy (SEM) of the Bug Eye and Sand Coral,” *undefined*, vol. 08, no. 01, pp. 1–7, doi: 10.4236/MR.2020.81001.
- Sha, S.; Wang, M.; Shi, C.; Xiao, Y. (2020) Influence of the Structures of Polycarboxylate Superplasticizer on Its Performance in Cement-Based Materials-A Review. *Constr. Build. Mater.*, 233, 117257.