

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan konstruksi yang berkelanjutan mendorong pencarian material bangunan yang tidak hanya kuat tetapi juga berkelanjutan secara lingkungan. Mortar merupakan salah satu material penting dalam konstruksi yang berfungsi sebagai pengikat atau pengisi celah antara elemen struktur. Di wilayah Riau, yang merupakan salah satu produsen minyak sawit terbesar di Indonesia, setiap tahun daerah ini dapat menghasilkan ratusan ton limbah abu sawit dari pembakaran serat dan cangkang kelapa sawit setiap tahun. Penggunaan abu sawit sebagai pengikat geopolimer dapat mengurangi dampak lingkungan sekaligus menambah nilai pada produk sampingan industri ini (Tan & Jamellodin, 2022).

Mortar berbasis semen Portland PCC (*Portland Composite Cement*) mendominasi industri konstruksi karena sifatnya yang mudah diaplikasikan dan memiliki kekuatan yang memadai. Namun, produksi semen Portland menyumbang sekitar 8% dari total emisi CO<sub>2</sub> global (Andrew, 2018), sehingga mendorong pencarian alternatif yang lebih berkelanjutan. Salah satu solusi yang berkembang pesat adalah mortar geopolimer, yang memanfaatkan bahan aluminosilikat seperti abu terbang (*fly ash*) atau abu sawit POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) sebagai pengganti semen. Geopolimer tidak hanya mengurangi emisi karbon tetapi juga memanfaatkan limbah industri, sehingga memiliki nilai ekologis dan ekonomis yang tinggi.

Geopolimer sebagai material alternatif menawarkan beberapa keunggulan penting dibanding mortar konvensional. Material ini tidak hanya mampu mengurangi emisi karbon hingga 80% (Davidovits, 2020), tetapi juga memanfaatkan limbah industri yang selama ini menjadi masalah lingkungan. Abu sawit mengandung silika dan alumina tinggi yang merupakan komponen utama dalam pembentukan ikatan geopolimer melalui proses polimerisasi aluminosilikat (Zhang, 2022). Namun, implementasi mortar geopolimer

berbasis POFA dalam konstruksi masih menghadapi beberapa tantangan, terutama dalam hal karakterisasi sifat mekanik dan fisisnya.

Penelitian terkait mortar geopolimer abu sawit menunjukkan bahwa material ini mampu memberikan nilai kuat tekan yang kompetitif, serta porositas yang dapat dikendalikan melalui komposisi dan proses perawatan. Karakteristik porositas sangat penting karena berkaitan langsung dengan daya tahan mortar terhadap air, cuaca, dan serangan kimia. Kuat tekan dan porositas merupakan dua parameter kritis yang menentukan performa mortar dalam aplikasi konstruksi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kedua parameter ini sangat dipengaruhi oleh waktu perawatan (*curing time*) pada mortar geopolimer (Abdullah, 2023). Berbeda dengan mortar PCC yang mengandalkan reaksi hidrasi, mortar geopolimer mengembangkan kekuatannya melalui proses polimerisasi yang membutuhkan waktu lebih lama.

Penelitian ini berfokus untuk memanfaatkan limbah industri sawit secara lebih efisien, tetapi juga untuk mengembangkan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan tahan terhadap kondisi ekstrem. Dengan meningkatnya kebutuhan akan material yang dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang keras, termasuk suhu tinggi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam inovasi material konstruksi, sekaligus mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana nilai kuat tekan dan porositas mortar PCC dan mortar geopolimer POFA pada rentang waktu perawatan 28 hari dan 56 hari?
2. Bagaimana hubungan antara waktu perawatan dan porositas terhadap kuat tekan mortar PCC dan mortar geopolimer POFA?

## **1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai kuat tekan dan porositas mortar PCC dan mortar geopolimer POFA pada rentang waktu perawatan 28 hari dan 56 hari.
2. Mengetahui hubungan antara waktu perawatan dan porositas terhadap kuat tekan mortar PCC dan mortar geopolimer POFA.

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui nilai kuat tekan dan porositas mortar PCC dan mortar geopolimer POFA pada rentang waktu perawatan 28 hari dan 56 hari.
2. Dapat mengetahui hubungan antara waktu perawatan dan porositas terhadap kuat tekan mortar PCC dan mortar geopolimer POFA.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Produksi abu sawit POFA (palm oil fuel ash) berasal dari PT. Rambah Sawit Mandiri Rokan Hulu.
2. Hanya menggunakan mortar PCC sebagai pembanding konvensional
3. Penelitian akan berfokus pada sampel dengan ukuran yang sama yaitu 5x5x5 cm.
4. Mortar geopolimer berfokus pada bahan dasar abu sawit (POFA) lolos saringan no.200
5. Larutan *activator* yang di gunakan adalah gabungan dari larutan Natrium Hidroksida dengan (NaOH) 14M dan larutan Natrium Silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) 2,3 Mol Be (baume) = 58, produksi PT. Sinar Sakti Kimia, Jawa Tengah
6. Hanya menggunakan variasi berdasarkan waktu perawatan, dengan menggunakan rentang waktu perawatan 28 hari 56 hari.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa contoh penelitian terlebih dahulu yang juga melakukan penelitian tentang “Analisis Nilai Kuat Tekan Dan Porositas Mortar *Portland Composite Cement* Dan Mortar Geopolimer Abu Sawit Berdasarkan Waktu Perawatan” tersebut antara lain sebagai berikut:

1. (Simbolon dkk., 2025) dengan judul “Tinjauan Kuat Tekan dan *Microstructure* pada Mortar ECC (*Engineered Cementitious Composites*) dan CR (*Crumb Rubber*) ECC”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:  
“Penambahan abu cangkang sawit hingga 10 % mampu meningkatkan kuat tekan mortar ECC secara signifikan hingga 42,67 MPa, sedangkan kombinasi abu cangkang sawit 10 % dan crumb rubber 2,5 % pada CR-ECC menghasilkan kuat tekan 37,28 MPa. Namun, penambahan crumb rubber dalam jumlah lebih besar menurunkan kekuatan tekan karena sifatnya yang mudah terkompresi. Analisis SEM-EDX menunjukkan bahwa mortar ECC memiliki pori-pori lebih rapat dan jumlah microcrack lebih sedikit dibandingkan CR-ECC, yang menyebabkan mortar ECC lebih padat dan kuat. Kandungan unsur Ca, Si, dan O yang dominan menunjukkan pembentukan Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) sebagai penyumbang utama kekuatan mekanik. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa abu cangkang sawit dapat berfungsi sebagai bahan pengganti semen yang efektif, sementara crumb rubber dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan aspek keberlanjutan, meskipun dengan konsekuensi sedikit penurunan kekuatan tekan”.
2. (Akifa dkk., 2025) dengan judul “Performa Variasi Rasio Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly

Ash”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:

“Peningkatan dosis aktivator dan rasio W/A berpengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan mortar geopolimer. Dosis aktivator 55% dengan rasio W/A = 0,5 menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 24,72 MPa pada umur 28 hari, yang sudah memenuhi kriteria untuk aplikasi struktural. Nilai kuat tekan meningkat seiring kenaikan dosis aktivator hingga batas optimum, namun menurun jika komposisi sodium silikat terlalu tinggi ( $W/A > 0,7$ ) karena meningkatnya viskositas campuran dan menurunnya kepadatan. Sementara itu, penggunaan tunggal NaOH atau  $Na_2SiO_3$  sebagai aktivator tidak menghasilkan kekuatan signifikan, masing-masing hanya mencapai 3,87 MPa dan 1,93 MPa. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi sodium silikat dan sodium hidroksida dengan dosis 40–55% dan rasio W/A 0,3–0,7 merupakan komposisi paling efektif untuk menghasilkan mortar geopolimer fly ash berkinerja baik yang berpotensi digunakan sebagai material struktural ramah lingkungan”.

3. (Azzuhriyah & Taxiway, 2024) dengan judul “Analisis Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Sawit (*Palm Oil Fuel Ash*) dengan Substitusi Semen” Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang dapat disimpulkan bahwa:

“Mortar geopolimer dengan variasi semen 0% menghasilkan kuat tekan sebesar 5,87 MPa, sesuai dengan spesifikasi mortar tipe N, sedangkan penggunaan semen 30% meningkatkan kuat tekan menjadi 15,07 MPa, memenuhi spesifikasi mortar tipe S. Penambahan semen dalam campuran mortar geopolimer berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan; semakin tinggi proporsi semen, semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan. Untuk mencapai kuat tekan optimum, rasio natrium silikat dan NaOH yang digunakan adalah 2,3 dengan rasio alkali aktivator terhadap abu sawit sebesar 1, dan perawatan dilakukan pada suhu ruang

4. (M. Syarif dkk., 2024) dengan judul “Analisis Kekuatan Tekan Mortar Terbarukan setelah Penggantian Semen Portland dengan Abu Limbah”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:

“Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan mortar menurun seiring meningkatnya kadar pengganti semen, dengan nilai tertinggi pada mortar normal (MN) sebesar 11,75 MPa, diikuti MA = 3,23 MPa, MB = 3,09 MPa, dan MC = 2,98 MPa. Meskipun lebih rendah dari mortar normal, seluruh campuran pengganti (MA, MB, dan MC) tetap memenuhi standar SNI 6882-2014 untuk mortar tipe O ( $\geq 2,4$  MPa), sehingga masih layak digunakan untuk pekerjaan plesteran dan dinding non-struktural. Temuan ini membuktikan bahwa pemanfaatan limbah abu ampas tebu dan fly ash sebagai pengganti sebagian semen dapat menjadi alternatif material bangunan ramah lingkungan yang membantu mengurangi dampak lingkungan akibat produksi semen, meskipun penggunaannya terbatas pada bagian konstruksi yang tidak menanggung beban berat”.

5. (Harriad Akbar Syarif, 2023) dengan judul “Analisis Gugus Fungsi Pada Senyawa Mikrostruktur Mortar Geopolimer Abu Sawit Dengan Penambahan *Portland Composite Cement (PCC)*”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:

“Pengujian FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi dengan intensitas band  $1450\text{ cm}^{-1}$ , yang mengindikasikan senyawa natrium karbonat (O-C-O) hasil reaksi antara unsur Na dalam larutan alkali dengan  $\text{CO}_2$ . Selain itu, terdapat peningkatan intensitas band pada  $2351\text{ cm}^{-1}$  seiring meningkatnya rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , yang menunjukkan pembentukan struktur zeolit dalam mortar geopolimer. Penurunan intensitas band di sekitar  $1000\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya vibrasi Si-O dan Al-O, yang merupakan ciri khas dari struktur zeolit yang terbentuk selama proses pengolahan. Hasil penelitian ini mendukung potensi abu sawit sebagai alternatif pengganti semen Portland dalam aplikasi konstruksi, dengan

mempertimbangkan sifat kimia dan mikrostrukturnya yang menguntungkan”

6. (Muhammad, 2023) dengan judul “Kuat Tekan dan Kuat Tarik Mortar sebagai Bahan Graut dengan FAS Optimum”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:  
“Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar nilai faktor air semen, kuat tekan dan kuat tarik mortar cenderung menurun akibat meningkatnya rongga udara dalam campuran. Campuran dengan rasio 1:0,5 (semen : pasir) dan f.a.s 0,5 menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu 34,018 MPa pada umur 7 hari dan 45,518 MPa pada umur 28 hari, sementara campuran 1:2 dengan f.a.s 0,7 menunjukkan kuat tekan terendah, yaitu 28,202 MPa. Untuk kuat tarik, nilai tertinggi diperoleh pada campuran 1:1,5 dengan f.a.s 0,65, sebesar 3,498 MPa pada umur 28 hari. Nilai waktu alir optimum dicapai pada campuran 1:1 (f.a.s 0,55) dengan waktu alir 27,24 detik, masih berada dalam batas yang disyaratkan oleh ASTM dan SNI. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa komposisi graut paling optimum adalah campuran 1 semen : 0,5 pasir dengan faktor air semen 0,5, karena memberikan keseimbangan terbaik antara kelecakan, kuat tekan, dan kuat tarik”.
7. (Musyafa dkk., 2023) dengan judul “Mortar Geopolimer Material Penyusun Mortar Baru Ramah Lingkungan”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:  
“Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio NaOH/Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebesar 2,85 (RUN-8) menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 26,46 MPa serta berat jenis 1.988,1 kg/m<sup>3</sup>, yang termasuk kategori ringan dan efisien. Pada pengujian tarik, nilai maksimum dicapai oleh benda uji T8-2 dengan tegangan tarik 0,981 MPa, sedangkan pengujian lentur menghasilkan tegangan maksimum 0,337 MPa pada posisi berdiri (LB8-3) dan 0,280 MPa pada posisi tidur (LB8-2). Komposisi RUN-8 dinilai paling optimal karena mampu memberikan kombinasi terbaik antara

kekuatan mekanik tinggi, berat jenis ringan, dan kemudahan pengerjaan. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa mortar geopolimer berbasis fly ash dengan rasio  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2,85$  dapat menjadi alternatif material konstruksi ramah lingkungan yang potensial untuk menggantikan sebagian penggunaan semen Portland”.

8. (H. A. Syarif & Rahmi, 2022) dengan judul “Kuat Tekan dan Absorpsi Mortar Geopolimer Abu Sawit *Portland Composite Cement* dengan Variasi Suhu Tinggi”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:

“Mortar geopolimer menunjukkan kuat tekan tertinggi pada variasi suhu  $200^\circ\text{C}$ , yaitu 17,5 MPa, sementara pada suhu  $300^\circ\text{C}$ , kuat tekan terendah tercatat 11,5 MPa. Perubahan ini disebabkan oleh pengaruh suhu tinggi yang mengubah komposisi kimia dan struktur fisik mortar. Absorpsi air tertinggi tercatat pada suhu  $300^\circ\text{C}$  dengan nilai 5,77%, sedangkan nilai terendah pada suhu  $200^\circ\text{C}$  sebesar 2,28%, di mana tingginya nilai absorpsi berkaitan dengan peningkatan porositas mortar. Peningkatan suhu berpengaruh signifikan terhadap reaksi ikatan geopolimer, terkait dengan kandungan Si, Al, dan Ca dalam PCC, di mana kuat tekan meningkat dari  $100^\circ\text{C}$  ke  $200^\circ\text{C}$  (18,24%) tetapi menurun dari  $200^\circ\text{C}$  ke  $300^\circ\text{C}$  (34,28%). Paparan suhu tinggi juga menyebabkan dehidrasi air dalam CSH dan perubahan fisik yang signifikan pada mortar, yang berpotensi mengurangi kekuatan material.”

9. (Chasanah dkk., 2022) dengan judul “Pengujian Kuat Lentur Dan Kuat Tekan Semen Mortar Material Konstruksi (Pengujian Pada Laboratorium Pt. Nusantara Building Industries)” Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa:

“Hasil pengujian laboratorium terhadap tiga jenis mortar, yaitu mortar *thin bed* (CM-100), mortar plesteran (CM-200), dan mortar acian (CM-300), diperoleh bahwa masing-masing jenis memiliki karakteristik kuat lentur dan kuat tekan yang berbeda. Mortar *thin bed* menunjukkan kuat



lentur rata-rata sebesar 5,18 N/mm<sup>2</sup> dan kuat tekan 6,68 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan mortar plesteran memiliki kuat lentur rata-rata 3,72 N/mm<sup>2</sup> dengan kuat tekan tertinggi, yaitu 7,79 N/mm<sup>2</sup>. Sementara itu, mortar acian menghasilkan kuat lentur rata-rata 3,42 N/mm<sup>2</sup> dan kuat tekan 6,77 N/mm<sup>2</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan fungsi dan komposisi tiap jenis mortar memengaruhi kekuatan mekaniknya. Mortar plesteran memiliki daya tekan paling tinggi, sementara mortar *thin bed* unggul dalam daya lentur”.

10. (Yanuari dkk., 2020) dengan judul “Studi Parametrik Mortar Geopolimer Hybrid Abu Sawit (*Palm Oil Fuel Ash/Pofa*)”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dapat disimpulkan bahwa: “Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran optimum terdiri dari NaOH 14M, rasio modulus aktivator (Ms) 2,5, suhu perawatan 100°C, dan rest period selama 5 hari. Pengolahan partikel POFA dilakukan dengan mengeringkan dalam oven dan menyaring menggunakan saringan #200, dengan kandungan PCC sebesar 15%. Mortar geopolimer dengan komposisi tersebut menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 6,6 MPa pada umur 28 hari. Penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan POFA sebagai alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi, yang dapat mengurangi ketergantungan pada semen Portland konvensional dan memberikan solusi untuk pengelolaan limbah kelapa sawit”.

## **2.2 Keaslian Penelitian**

Dari segi keaslian penelitian sebelumnya yang di jadikan perbandingan pada penelitian antara lain:

1. Lokasi penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Pasir Pengaraian.
2. Pengambilan sampel abu boiler di PT. Rambah Sawit Mandiri Rokan Hulu.
3. Rentang waktu perawatan benda uji pada penelitian ini selama 28 hari dan 56 hari.
4. Menggunakan substitusi POFA sebanyak 80% sebagai pengganti semen PCC.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Mortar**

Menurut SNI 03-6882, 2002, mortar merupakan campuran yang tersusun atas agregat halus berupa pasir, air suling, dan semen *Portland* dengan komposisi tertentu. Mortar berfungsi sebagai perekat, pengisi celah, dan pelindung permukaan pada pekerjaan pasangan serta plesteran. Mortar berperan menjaga kekuatan sambungan, meningkatkan ketahanan terhadap retak, serta memberikan lapisan akhir pada dinding sehingga konstruksi memiliki kualitas dan keawetan yang lebih baik.

#### **2.2 Jenis Mortar**

Mortar dalam konstruksi terdiri dari berbagai jenis yang dibedakan berdasarkan bahan pengikat dan tujuan penggunaannya. Setiap jenis memiliki karakteristik kekuatan, dan durabilitas yang berbeda sehingga penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi. Mortar semen banyak digunakan pada pekerjaan pasangan dan plesteran karena memiliki kekuatannya tinggi, sementara itu inovasi terbaru seperti geopolimer turut dikembangkan untuk memenuhi tuntutan konstruksi modern yang memerlukan ketahanan tinggi dan keberlanjutan material (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Berdasarkan ASTM C 270-07, 2007, mortar yang digunakan untuk adukan pasangan dapat dibedakan atas 4 tipe, yaitu:

##### **1. Mortar Tipe M**

Mortar tipe M yaitu campuran yang sangat tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar seperti pada dinding dekat rumah, adukan pipa air kotor, adukan dinding penahan tanah, dan adukan untuk jalan.

##### **2. Mortar Tipe S**

Mortar tipe S direkomendasikan untuk struktur pada atau dibawah tanah karena keawetannya yang tinggi, seperti yang selalu berkaitan dengan tanah yaitu dinding penahan tanah, pondasi, perkerasan, saluran pembuangan dan

mainhole. Mortar tipe ini diperuntukan pada struktur yang cenderung memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa.

### 3. Mortar Tipe N

Tipe N adalah mortar yang umum digunakan pada konstruksi diatas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior dan eksterior. Mortar ini memiliki kekuatan sedang yang memberikan kesesuaian paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, *workability*, dan segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya.

### 4. Mortar Tipe O

Mortar ini merupakan tipe mortar dengan kandungan kapur yang tinggi dan kuat tekannya rendah. Mortar tipe O direkomendasikan untuk dinding interior maupun eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi kaku dalam keadaan lembab dan jenuh. Mortar tipe ini memiliki *workabilitas* yang baik dan biaya yang ekonomis dan sering digunakan unruk pekerjaan setempat.

## 3.2.1 Komponen Utama Mortar

Mortar terdiri dari tiga komponen utama, di mana kualitas dan proporsinya sangat berpengaruh pada performa akhir campuran:

### 1. Bahan Pengikat

Bahan pengikat utama pada mortar adalah semen portland, semen portland berfungsi sebagai komponen paling penting dalam mengikat agregat halus (pasir) dan air menjadi satu massa yang kuat dan padat. Semen bereaksi dengan air melalui proses hidrasi, sehingga menghasilkan pasta yang mampu mengeras dan memberikan kekuatan tekan serta daya rekat pada mortar. Proses ini menghasilkan ikatan yang kuat antara partikel penyusun mortar, sehingga mortar mampu menyalurkan beban dan memberikan kestabilan pada elemen bangunan. Kualitas dan jenis semen

*portland* yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, daya rekat, serta ketahanan mortar terhadap pengaruh lingkungan.

Semen Portland mengandung beberapa senyawa kimia utama yang berperan penting terhadap sifat dan kinerjanya, yaitu kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) sebagai pembentuk kekuatan utama, silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang berpengaruh pada kekuatan jangka panjang, aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang mempercepat waktu ikat awal, serta besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang memberi warna dan membantu proses pembakaran klinker. Selain itu, semen Portland juga mengandung magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ) dalam jumlah terbatas, sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ) untuk mengontrol waktu ikat melalui penambahan gipsum, serta alkali seperti natrium oksida ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) dan kalium oksida ( $\text{K}_2\text{O}$ ) yang kadarnya harus dibatasi agar tidak menimbulkan reaksi merugikan.

## 2. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus atau pasir merupakan komponen dengan proporsi terbesar dalam mortar dan berperan penting sebagai material pengisi yang membentuk volume campuran, mengurangi potensi penyusutan, serta meningkatkan stabilitas dan keterkerjaan (*workability*) mortar.

Menurut SNI-03-2834 2002, kekasaran pasir dibedakan menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir kasar, pasir sedang, pasir agak halus, pasir halus. Batas-batas gradasi untuk agregat halus (pasir) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Batas-Batas Gradasi Untuk Agregat Halus (Pasir)

| Ukuran Saringan |      | % Lolos Saringan/Ayakan |               |                  |               |
|-----------------|------|-------------------------|---------------|------------------|---------------|
| Ayakan          |      | SNI 03-2834-2000        |               |                  |               |
| mm              | SNI  | Pasir Kasar             | Pasir Sedang  | Pasir Agak Halus | Pasir Halus   |
|                 |      | Gradasi No. 1           | Gradasi No. 2 | Gradasi No. 3    | Gradasi No. 4 |
| 9,5             | 9,6  | 100 – 100               | 100 – 100     | 100 – 100        | 100 – 100     |
| 4,75            | 4,8  | 90 – 100                | 90 – 100      | 90 – 100         | 95 – 100      |
| 236             | 2,4  | 60 – 95                 | 75 – 100      | 85 – 100         | 95 – 100      |
| 1,18            | 1,2  | 30 – 70                 | 55 – 90       | 75 – 100         | 90 – 100      |
| 0,6             | 0,6  | 15 – 34                 | 35 – 59       | 60 – 79          | 80 – 100      |
| 0,3             | 0,3  | May-20                  | Aug-30        | Dec-40           | 15 – 50       |
| 0,15            | 0,15 | 0 – 10                  | 0 – 10        | 0 – 10           | 0 – 15        |

Sumber: SNI 03-2834-2000

### 3.2.2 Mortar PCC (*Portland Composite Cement*)

Mortar PCC (*Portland Composite Cement*) merupakan jenis mortar yang menggunakan semen *Portland* komposit sebagai bahan pengikat utama. PCC memberikan keunggulan berupa kemudahan dalam pengerjaan, ketahanan terhadap retak susut, dan durabilitas yang lebih baik melalui reaksi pozzolanik yang membantu membentuk struktur mikro yang lebih padat. Mortar PCC umum digunakan pada pekerjaan pasangan, plesteran, dan acian karena menghasilkan daya ikat yang stabil serta permukaan akhir yang halus (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

### 3.2.3 Bahan Penyusun Mortar PCC (*Portland Composite Cement*)

Bahan yang digunakan dalam komposisi Mortar PCC (*Portland Composite Cement*) pada penelitian ini meliputi:

#### 1. Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen PCC merupakan bahan pengikat utama dalam mortar yang tersusun atas klinker, gipsum, serta bahan tambahan mineral seperti pozzolan dan limestone. Kandungan bahan tambahan ini berfungsi menurunkan porositas, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat, serta menghasilkan struktur mikro yang lebih rapat melalui reaksi pozzolanik. Sebagai pengikat, PCC berperan memulai proses hidrasi ketika bercampur dengan air, sehingga mortar dapat mengeras dan membentuk kekuatan mekanis. Reaksi geopolimerisasi menghasilkan struktur mikro yang lebih padat dan berpotensi memperbaiki kekuatan awal serta mengurangi porositas mortar (Temuujin dkk., 2011).

Pada penelitian ini menggunakan jenis PCC tipe I varian semen padang produksi PT. Semen Padang, sebagai salah satu produsen semen tertua di Indonesia sering menjadi pilihan utama dalam pembuatan mortar PCC karena kualitasnya yang konsisten dan formulasi komposisi bahan baku yang sesuai dengan standar nasional dengan berat jenis 3,10–3,15 gr/cm<sup>3</sup>. Semen Padang PCC mengandung campuran *clinker*, *gypsum*, dan bahan *pozzolan* alami seperti *fly ash*, yang memberikan keseimbangan antara kekuatan awal dan kekuatan jangka panjang. Kandungan *pozzolan* ini berperan penting dalam mengurangi

panas hidrasi, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat, serta memperbaiki densitas mikrostruktur mortar. Pemilihan produk semen ini didasari oleh ketersediaan yang luas di pasaran, reputasi mutu yang terjamin oleh sertifikasi SNI dan ISO, serta performa lapangan yang telah terbukti dalam berbagai proyek konstruksi nasional.

## 2. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus atau pasir merupakan komponen terbesar dalam mortar dan berfungsi sebagai pengisi yang memberikan volume, mengurangi penyusutan, dan meningkatkan stabilitas campuran. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lolos saringan 8 dengan ukuran butiran 2,38 mm. Menurut SNI-03-2847-2002, agregat halus merujuk pada pasir yang terbentuk dari proses penghancuran alami batuan atau pasir yang diproduksi oleh industri penggilingan batu, dengan ukuran butir maksimum 5,0 mm.

Kriteria umum untuk agregat halus adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus terdiri dari partikel-partikel yang tajam dan kokoh. Partikel halus bersifat permanen, yang berarti mereka tidak akan pecah atau rusak akibat pengaruh cuaca. Ketahanan agregat halus dapat diuji dengan menggunakan larutan garam jenuh. Jika menggunakan natrium sulfat, bagian yang rusak maksimum adalah 10% dari berat total.
2. Agregat halus sebaiknya tidak memiliki kandungan lumpur lebih dari 5% dalam keadaan kering, dan jika kadar lumpur melebihi 5%, pasir perlu dicuci.

Berdasarkan ASTM C 33, berikut adalah spesifikasi standar untuk agregat halus:

1. Modulus kehalusan butir harus berada di antara 2,3 dan 3,1.
2. Kadar lumpur atau bahan yang lolos dari saringan No. 200 (0,074mm) harus maksimal 3% untuk beton yang terpapar abrasi, dan 5% untuk jenis beton lainnya.
3. Kandungan arang dan lignit dalam beton tidak boleh lebih dari 0,5%, sedangkan untuk jenis beton lainnya maksimum 1%.
3. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah diuraikan harus tidak lebih dari 3%.

4. Kadar zat organik, yang ditentukan dengan mencampurkan agregat halus ke dalam larutan natrium sulfat ( $\text{NaSO}_4$ ) 3%, tidak boleh menghasilkan warna lebih gelap daripada warna standar.
  5. Harus tidak reaktif terhadap alkali semen pada beton yang terpapar air atau lembap, dengan penggunaan natrium oksida tidak boleh lebih dari 0,6%.
3. Air

Menurut SNI 03-6882-2002, air yang dipakai harus bersih dan tidak terkontaminasi oleh minyak, asam, alkali, garam, zat organik, atau material lain yang dapat merusak mortar serta logam yang ada di dinding. Air yang tercemar dalam campuran mortar dapat mengakibatkan penurunan kualitas beton dan mengubah karakteristik mortar yang dihasilkan. Penggunaan air yang sesuai dalam adukan mortar dapat menghasilkan kualitas yang baik, sehingga perlu dilakukan pengujian terhadap kadar lumpur dan kadar organik.

Air berfungsi sebagai pemicu proses hidrasi semen, memungkinkan campuran menjadi plastis, mudah dibentuk, dan dapat melekat pada permukaan bata atau elemen pasangan.

#### **3.2.4 Mortar Geopolimer**

Mortar geopolimer adalah mortar yang menggunakan binder anorganik non-semen yang dihasilkan melalui proses aktivasi alkali terhadap material aluminosilikat, seperti fly ash, slag, atau POFA (*Palm Oil Fuel Ash*). Mortar ini dikenal sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan karena proses pembuatannya menghasilkan emisi karbon yang jauh lebih rendah dibanding mortar berbasis semen. Mortar geopolimer memiliki banyak keunggulan, termasuk kekuatan tekan tinggi, ketahanan kimia yang baik, stabilitas pada suhu tinggi, serta permeabilitas rendah, sehingga cocok untuk konstruksi yang membutuhkan durabilitas tinggi pada lingkungan ekstrem. Pemanfaatan limbah industri sebagai bahan baku juga menjadikan mortar geopolimer bagian dari praktik konstruksi ramah lingkungan (Davidovits, 2008).



### 3.2.5 Bahan Penyusun Mortar Geopolimer

Bahan yang digunakan dalam komposisi Mortar Geopolimer pada penelitian ini meliputi:

1. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus atau pasir merupakan komponen terbesar dalam mortar dan berfungsi sebagai pengisi yang memberikan volume, mengurangi penyusutan, dan meningkatkan stabilitas campuran. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lolos saringan 8 dengan ukuran butiran 2,38 mm.

2. Abu Sawit (*Palm Oil Fuel Ash*)

Abu Sawit atau *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) merupakan residu yang dihasilkan dari proses pembakaran pada tungku atau boiler industri kelapa sawit. POFA berbentuk serbuk halus berwarna abu-abu kehitaman, dengan kandungan kimia dominan berupa silika amorf ( $\text{SiO}_2$ ), dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Kandungan senyawa silika yang tinggi menjadikan POFA berpotensi sebagai bahan pozzolan dalam campuran mortar dan beton, karena dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk kalsium silikat hidrat (C–S–H) yang meningkatkan kekuatan material (Abdullah, M. A., & Hussin, M. W. (2005).

3. Larutan Alkali

Larutan Alkali merupakan kelompok senyawa kimia yang memiliki sifat basa, yang dipakai pada campuran. Larutan alkali yang digunakan dalam geopolimerisasi pada penelitian ini adalah kombinasi dari Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Superplastisizer. Larutan ini berperan penting dalam pembentukan gel pengikat baru yang memberikan kekuatan pada mortar atau beton berbasis geopolimer.

Campuran Larutan Alkali pada penelitian ini meliputi:

- 1)  $\text{NaOH}$  (Natrium Hidroksida)

Natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) adalah senyawa kimia berbentuk basa kuat dalam bentuk padatan putih dan sangat mudah larut dalam air. Larutan  $\text{NaOH}$  memiliki sifat korosif dan bereaksi menghasilkan panas ketika

dilarutkan yang berfungsi sebagai aktivator alkali untuk melarutkan komponen silika dan alumina dari material abu sawit sehingga memicu proses polimerisasi yang menghasilkan gel pengikat N-A-S-H sebagai struktur penguat mortar (Davidovits, 2015).

2)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Natrium Silikat)

Natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) adalah senyawa anorganik berbentuk larutan kental atau padatan glasial. Dalam geopolimer,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  digunakan sebagai aktivator alkali yang bekerja bersama NaOH untuk mempercepat pelarutan dan polimerisasi komponen silika dan alumina dari material pozzolan pada abu sawit.

3) *Superplastisizer*

*Superplastisizer* merupakan bahan tambahan kimia yang dapat mengurangi air dan meningkatkan kemudahan pekerjaan (*workability*.) *Superplastisizer* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Sikament-NN* yang digunakan sekitar 1%-2% dari berat binder.

4) Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Pada penelitian ini menggunakan jenis PCC tipe I varian semen padang produksi PT. Semen Padang, sebagai salah satu produsen semen tertua di Indonesia sering menjadi pilihan utama dalam pembuatan mortar PCC karena kualitasnya yang konsisten dan formulasi komposisi bahan baku yang sesuai dengan standar nasional. Semen Padang PCC mengandung campuran clinker, gypsum, dan bahan pozzolan alami seperti fly ash, yang memberikan keseimbangan antara kekuatan awal dan kekuatan jangka panjang. Kandungan pozzolan ini berperan penting dalam mengurangi panas hidrasi, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat, serta memperbaiki densitas mikrostruktur mortar. Pemilihan produk semen ini didasari oleh ketersediaan yang luas di pasaran, reputasi mutu yang terjamin oleh sertifikasi SNI dan ISO, serta performa lapangan yang telah terbukti dalam berbagai proyek konstruksi nasional.

Tabel 3.3 Komposisi Abu Sawit dan *Portland Composite Cement*

| Komposisi bahan kimia                         | Abu Sawit (%) | PCC (%) |
|-----------------------------------------------|---------------|---------|
| Silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ )            | 43,0          | 6,00    |
| Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  | 6,58          | 63,00   |
| Feroksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )         | 1,05          | 22,00   |
| Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ )               | 6,50          | 2,50    |
| Potassium Oksida ( $\text{K}_2\text{O}$ )     | 2,72          | -       |
| Fosfor Pentaoksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) | 0,340         | -       |

Sumber: Badan Riset dan Standar Industri dan Nugraha & Antoni, 2007

### 3.3 Waktu Perawatan

Waktu perawatan berpengaruh terhadap kuat tekan dan porositas yang di hasilkan semakin lama perawatan maka kuat tekan semakin tinggi. Pada penelitian ini menggunakan variasi waktu perawatan 28 dan 56 hari. Penelitian ini menggunakan variasi umur 28 dan 56 hari dengan mengacu pada penelitian (Yousry dkk., 2020) dengan mengkombinasikan umur 28 hari sebagai standar mutu rencana dan 56 hari sebagai evaluasi perkembangan kekuatan lanjutan mortar, evaluasi pada umur lebih panjang seperti 56 hari dilakukan untuk melihat stabilitas dan perkembangan struktur jaringan aluminosilikat pada mortar, sehingga pemilihan kedua umur tersebut relevan untuk analisis kekuatan mekanis pada mortar PCC maupun mortar geopolimer.

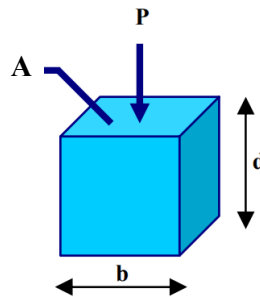
### 3.4 Pengujian Mortar

Tujuan pengujian mortar adalah untuk menilai sifat mekanis dan fisik material sehingga dapat menentukan mutu, kinerja, serta kesesuaiannya untuk digunakan dalam konstruksi. Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh data seperti kuat tekan, dan porositas dari mortar PCC dan mortar geopolimer.

### 3.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan alat *Compression Testing Machine* yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tekan mortar pada umur 28 hari dan 56 hari. Pengujian kuat tekan mortar ini dilakukan dengan mengacu pada (ASTM C 109, 2020), tentang metode pengujian tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil.

Pengujian dilakukan dengan memberi beban tekan pada benda uji hingga hancur atau jarum jam pada alat uji tidak naik lagi dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran (5×5×5 cm) yang diuji pada mesin tekan dengan laju pembebanan konstan hingga hancur. Pengukuran kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Skema Pengujian Kuat tekan

Sumber: Beer & Johnston

$$\text{Kuat Tekann } (F'_c) = \frac{P \text{ maks}}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

$F'_c$  = Kuat Tekan Mortar (MPa)

$P \text{ maks}$  = Beban Maksimum (N)

$A$  = Luas Penampang Tekan Benda Uji (mm<sup>2</sup>)

$b$  dan  $d$  = Dimensi sisi benda uji (mm)

Standar mortar berdasarkan kekuatan untuk sebuah konstruksi disajikan dalam tabel berikut, sesuai ASTM C 270.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tipe Mortar

| <b>Tipe Mortar</b> | <b>Kuat Tekan Minimum</b>       |
|--------------------|---------------------------------|
| Mortar tipe M      | 17,2 MPa<br>(Kuat tekan tinggi) |
| Mortar tipe S      | 12,4 MPa<br>(Kuat tekan sedang) |
| Mortar tipe N      | 5,2 MPa<br>(Kuat tekan rendah)  |
| Mortar tipe O      | 2,5 MPa<br>(Kuat tekan rendah)  |

*Sumber: ASTM C 270*

### 3.4.2 Pengujian Porositas

Porositas mortar adalah ukuran total volume rongga atau pori dalam struktur mortar, yang berpengaruh langsung terhadap kekuatan, ketahanan durabilitas, dan kemampuan mortar menahan penetrasi air maupun zat agresif. Standar acuan pengujian porositas pada penelitian ini menggunakan acuan ASTM C 642-21, 2022. Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar bagian dari volume mortar yang tidak terisi padatan, menggunakan metode pengukuran berat kering, berat jenuh air, dan berat terendam. Porositas tinggi menunjukkan banyaknya ruang kosong dalam material, sehingga air dapat lebih mudah masuk, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan dan mempercepat kerusakan. Sebaliknya, porositas rendah menunjukkan struktur yang lebih padat, ikatan antarpartikel lebih kuat, dan ketahanan mortar lebih baik terhadap retak maupun serapan air. Pengukuran porositas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Porositas (n) = \frac{(W_s - W_d)}{(W_s - W_a)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

$n$  = Porositas (%)

$W_s$  = berat jenuh permukaan kering (SSD) (gr),

$W_d$  = berat kering oven (gr),

$W_a$  = berat benda uji dalam air (gr).