

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Fly Ash

*Fly ash* merupakan salah satu limbah yang dihasilkan oleh industri akibat proses pembakaran batubara. *Fly ash* memiliki sifat sebagai *pozzolan*, yaitu bahan yang mengandung silika atau alumina, tetapi *fly ash* tidak mempunyai sifat perekat (sementasi) seperti semen. Tetapi butiran *fly ash* yang sangat kecil, membuat *fly ash* dapat bereaksi dengan kapur dan air untuk membentuk bahan perekat pada temperatur normal (Williams et al., 2002).

Menurut ASTM C618 (2014) tentang spesifikasi standar untuk abu terbang batubara dan *pozzolan* alami atau kalsinasi sebagai bahan campuran beton, *fly ash* digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu: tipe N, tipe C dan tipe F. *Fly ash* tipe F dan C memiliki perbedaan utama, yaitu pada kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . *Fly ash* tipe F memiliki total kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  lebih dari 70%, sedangkan *fly ash* tipe C memiliki kandungan kurang dari 70%. Selain itu, *fly ash* tipe C bersifat *high calcium fly ash* yang terlihat dari kandungan CaO yang lebih dari 10%, sebaliknya *fly ash* tipe F memiliki kandungan CaO yang kurang dari 10%. Perbedaan kandungan tersebut dipengaruhi oleh asal batuan batubara sebagai sumber *fly ash* tersebut.

Sifat fisik *fly ash* menurut ACI committee 226 (1998) berbentuk butiran halus, yang lolos ayakan No. 325 (45 milimikron) sebanyak 5-27 persen. *Fly ash* juga berbentuk bola berongga dan berwarna abu-abu kehitaman, serta memiliki *specific gravity* antara 2.15-2.6. *Fly ash* memiliki luas area permukaan antara 170-1000  $\text{m}^2/\text{kg}$  (Nugraha & Antoni, 2007).

Selain sifat fisik, *fly ash* juga memiliki sifat kimia yang dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan penanganannya. Komponen utama *fly ash* hasil pembakaran batubara adalah oksida-oksida silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah yang rendah. *Fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti semen, namun dengan kehadiran air dan ukuran butirannya yang halus, serta kandungan oksida silika mengakibatkan *fly ash* dapat bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (Hardjito, 2002).

### 2.2. Aktivasi Fly Ash secara Kimiawi dengan Sodium Hidroksida (NaOH)

Kebanyakan penelitian tentang aktivasi *fly ash* dilakukan terhadap *low calcium fly ash*. Penelitian oleh Chindaprasirt et al. (2021) menunjukkan bahwa *high calcium fly ash* juga dapat menjadi *binder* yang

baik setelah melalui proses aktivasi. Larutan NaOH merupakan larutan yang sesuai untuk aktivasi *high calcium fly ash*. Kadar kalsium yang tinggi yang dimiliki *high calcium fly ash* membantu pembentukan C-S-H dan C-A-S-H dalam campuran, yang mengakibatkan peningkatan kekuatan. Kandungan kalsium yang tinggi mempercepat *setting* dan *hardening* dari campuran pada suhu ruangan, serta *curing* temperatur dengan suhu 40-90 derajat dapat meningkatkan kuat tekan campuran (Chindaprasirt et al.,2021).

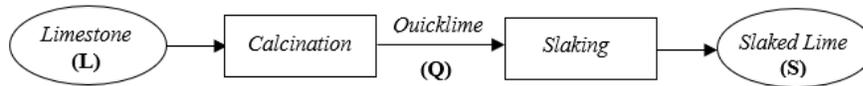
Aktivasi kimia yang dapat meningkatkan pH *fly ash* mampu menyebabkan proses pelarutan butiran *fly ash* menjadi lebih cepat, sehingga aktivasi kimia dapat meningkatkan reaktivitas *fly ash*. Namun aktivator dengan kadar yang tinggi dapat menghambat reaksi hidrasi semen, yang mengakibatkan penurunan kuat tekan awal. Aktivasi kimia dapat membentuk berbagai produk tergantung dari jenis aktivator dan kondisi dari reaksi kimianya (Wilińska & Pacewska, 2018).

*Fly ash* yang diaktivasi dengan NaOH 0.08 M, dengan rasio OPC : *fly ash* sebesar 80 : 20 menghasilkan kuat tekan pasta yang lebih tinggi daripada campuran pasta 100% OPC, pada umur 1 hari dan 28 hari. Sampel yang diaktifkan oleh konsentrasi NaOH 0.8 M, menghasilkan kekuatan 1 dan 28 hari yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran pasta 100% OPC. Melalui penelitian ini didapatkan bahwa aktivasi NaOH pada konsentrasi rendah dapat mengimbangi kekuatan OPC 100% (Arjunan et al., 2001).

Sedangkan *treatment* aktivasi *fly ash* dengan larutan NaOH 0.03M pada campuran 20% OPC, 77% *fly ash*, dan 3% CaCO<sub>3</sub> memberikan peningkatan reaksi *pozzolan* tanpa mengganggu reaksi hidrasi semen secara signifikan. Hal ini terlihat dari peningkatan kekuatan dan *setting time* yang lebih cepat sebagai akibat dari peningkatan reaksi *pozzolan*. Permukaan *fly ash* yang teraktivasi merupakan tempat pembentukan nukleus dan gel, terlihat dari adhesi antara C-S-H dengan permukaan *fly ash* (Pratiwi et al., 2020).

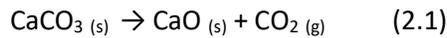
### **2.3. Kalsium Hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>)**

Kalsium hidroksida adalah senyawa kimia berupa Ca(OH)<sub>2</sub> yang berbentuk bubuk putih. Kalsium Hidroksida berasal dari reaksi CaO (*quicklime*) dengan air. CaO sendiri didapat dari pembakaran batu gamping (*limestone*) dengan suhu 825°C, dimana proses ini disebut *calcination*. Proses pembuatan Ca(OH)<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 2.1 dengan perumusan kimianya seperti pada Persamaan (2.1) dan (2.2) (Moropoulou et al., 2001).



Gambar 2.1 Prosedur Produksi Slaked Lime

Sumber: Moropoulou, Bakolas, & Aggelakopoulou (2001, p.634)



## 2.4. Penelitian yang Sudah Dilakukan

### 2.4.1 Pengaruh Penggantian Kadar $\text{Ca(OH)}_2$ pada Mortar 100% *Fly Ash*

Penelitian mengenai peningkatan mutu beton dengan abu terbang sebagai pengikat utama telah dilakukan oleh Kurniawan & Liman (2019). Pada penelitian ini *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* Tipe C dan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang digunakan bersumber dari batu gamping dan limbah karbit. Hasil yang didapat menunjukkan penggantian sebagian *fly ash* dengan kalsium hidroksida dapat meningkatkan kuat tekan mortar dengan kadar optimum kalsium hidroksida sebesar 35% dari total jumlah *fly ash*. Dari hasil yang didapatkan, pada umur 28 hari terlihat bahwa mortar dengan campuran kalsium hidroksida yang berasal dari olahan batu gamping memiliki kuat tekan mencapai 37 MPa, sedangkan hasil kuat tekan mortar dengan campuran kalsium hidroksida yang dihasilkan dari limbah karbit hanya mencapai 24 MPa.

Christiono & Setiono (2019) melakukan penelitian mengenai pengaruh penggantian sebagian *fly ash* dengan berbagai kalsium hidroksida terhadap karakteristik mortar 100% *fly ash*. Pada penelitian ini, digunakan *fly ash* tipe C dan *fly ash* tipe F dengan komposisi w/c ditetapkan sebesar 0.25. Perbandingan massa material *cementitious* dengan pasir pada setiap campuran 1:2. Selain itu, *superplasticizer* (SP) ditambahkan agar kelecakan mencapai diameter *flow*  $15 \pm 1$  cm. Adapun kadar kalsium yang digunakan untuk menggantikan *fly ash* tipe C adalah 5, 10, 15, 20, 30, 40, dan 50% sedangkan untuk *fly ash* tipe F adalah 10, 20, 30, 40, dan 50%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggantian sebagian kadar *fly ash* dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  terbukti dapat meningkatkan kuat tekan mortar, baik *fly ash* tipe C maupun *fly ash* tipe F. Selain itu, penelitian tersebut menunjukkan bahwa kadar optimum penggantian *fly ash* tipe C dengan kalsium hidroksida adalah 40%, menghasilkan kuat tekan mortar sebesar 41.03 MPa pada umur 28 hari. Namun, untuk *fly ash* tipe C, *initial setting time* campuran mortar tersebut semakin cepat dan berbanding lurus dengan jumlah *fly ash* yang digantikan dengan kalsium hidroksida.

Sedangkan penggunaan *fly ash* tipe F dengan kadar kalsium hidroksida sebesar 50% dapat mencapai kuat tekan mortar hingga 36.8 MPa pada umur 28 hari, namun perubahan *initial setting time* campuran mortar ini tidak terlalu berarti, meskipun kadar yang disubstitusikan juga semakin besar.

#### **2.4.2 Pengaruh Penggunaan Kalsium Karbonat dan Larutan Alkali terhadap Pasta HVFA**

Pengaruh dari penggunaan kalsium karbonat dan alkali encer pada pasta *High Volume Fly Ash* (HVFA) telah diteliti oleh Pratiwi et al. (2020). Pada penelitian ini digunakan *fly ash* tipe F yang diambil dari PLTU Suralaya. Penelitian ini menunjukkan metode baru untuk mengaktivasi HVFA dengan endapan kalsium karbonat untuk meningkatkan hidrasi semen dan reaksi pozzolan *fly ash*. Karakteristik pasta yang dianalisa adalah kuat tekan dan *setting time*, serta dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) *spectroscopy*. Analisis FTIR berfokus untuk mempelajari ikatan Si-O.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian sebagian *fly ash* (FA) dengan 3% PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*) dalam HVFA dengan campuran 20%-OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan 80%-FA mampu meningkatkan hidrasi semen. Mekanisme penguatannya terjadi karena efek *filler*, efek nukleasi, dan reaksi kimia. Efek *filler* dan efek nukleasi diakibatkan oleh kecilnya partikel PCC membuat jarak antar partikel semakin pendek, sehingga meningkatkan jumlah nukleus atau memperluas area pengendapan, yang kemudian mempercepat laju hidrasi. Kemiripan kimiawi kalsium karbonat dan C-S-H (kalsium silikat hidrat) meningkatkan jumlah C-S-H pada permukaan PCC. Selain itu, mencampurkan PCC ke dalam sistem OPC-FA juga meningkatkan produk hidrasi dari reaksi karbonat dan aluminat. Peningkatan kuat tekan dan waktu pengerasan sampel sejalan dengan percepatan hidrasi dari substitusi PCC 3%.

Sedangkan, penggunaan campuran larutan alkali-FA berupa larutan NaOH 0.03M dalam campuran 20% OPC-77% FA-3% PCC memiliki efek meningkatkan reaksi pozzolan tanpa mengganggu reaksi hidrasi semen secara signifikan. Peningkatan kekuatan dan penurunan *setting time* berbanding lurus dengan peningkatan reaksi pozzolan. Permukaan FA yang teraktivasi dapat berfungsi sebagai tempat untuk pembentukan nukleus dan pertumbuhan gel, yang terlihat dari *interfacial adhesion* yang erat antara C-S-H dan permukaan FA. Namun, studi yang lebih detail harus dilakukan. Selain itu, kombinasi perlakuan alkali encer-FA dan substitusi PCC mempercepat reaksi hidrasi semen dan reaksi pozzolan *fly ash* secara bersamaan (Pratiwi et al., 2020).

#### **2.4.3 Aktivasi secara Mekanik untuk meningkatkan Kereaktifan Fly Ash**

Antoni et al. (2018) telah melakukan penelitian untuk menganalisa pengaruh dari ukuran partikel *High Calcium Fly Ash* pada mortar HVFA. Penelitian ini dilakukan dengan mengaktivasi *fly ash* secara mekanik untuk meningkatkan reaktivitas *fly ash*. Aktivasi dilakukan dengan menghaluskan butiran dari *fly ash* dengan penggilingan. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat kesimpulan bahwa partikel *fly ash* yang lebih halus dalam campuran mortar dapat meningkatkan kuat tekan mortar, hal ini terjadi karena beberapa faktor, seperti *specific gravity fly ash* yang lebih tinggi, partikel *fly ash* yang terdistribusi secara *uniform* pada fase *cementitious*, dan reaksi *pozzolan* yang meningkatkan soliditas matriks. Berdasarkan penelitian tersebut, kuat tekan mortar yang paling optimum didapatkan pada mortar HVFA yang menggunakan *fly ash* dengan ukuran partikel 45  $\mu\text{m}$ .