

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Pada variasi beton dengan FAS 0,45, beton dengan 100% *fly ash* mencapai kuat tekan 38,03 MPa, naik 58,7% dari beton normal (23,96 MPa), sedangkan campuran 90% *fly ash* mencapai 29,91 MPa, naik 24,8%. Sebaliknya, campuran 80% *fly ash* menurun 27,59% menjadi 17,35 MPa. Sedangkan, Pada FAS 0,55, beton dengan 100% *fly ash* mencapai kuat tekan tertinggi 28,20 MPa, naik 141% dibanding beton normal (11,70 MPa). Pada campuran 90% *fly ash* meningkat 46,6% menjadi 17,16 MPa, sedangkan campuran 80% *fly ash* naik 24,4% menjadi 14,56 MPa. Peningkatan kuat tekan disebabkan pembentukan gel N-A-S-H yang rapat dan homogen, sedangkan penurunan persentase *fly ash* menurunkan kuat tekan akibat rendahnya stabilitas gel gabungan C-S-H dan N-A-S-H.
2. Penggunaan *fly ash* yang diaktivasi alkali pada beton mempengaruhi sifat fisiknya, seperti *workability*, porositas, *interface*, morfologi dan sebarannya.
  - a. *Workability*

Beton dengan *fly ash* dan aktivator memiliki *slump* lebih tinggi dari beton normal, namun *workability* rendah karena viskositas tinggi membuat campuran berat dan sulit dicetak. *Setting time* yang cepat juga menghambat proses pengerjaan dan pencetakan, sementara terbentuknya gel N-A-S-H membuat beton padat tetapi tanpa pelumas alami  $\text{Ca(OH)}_2$  seperti pada beton normal.

b. Porositas

Pada FAS 0,45, porositas tertinggi terdapat pada campuran 80% *fly ash* diikuti beton normal, kemudian 90% *fly ash*, sedangkan porositas terendah dimiliki oleh beton 100% *fly ash*. Pada FAS 0,55, beton normal menghasilkan porositas tertinggi dan beton 100% *fly ash* terendah dari setiap variasi dengan FAS 0,55. Campuran 90% *fly ash* berada di posisi kedua dengan porositas lebih rendah, diikuti oleh beton 80% *fly ash* pada posisi ketiga dari 4 variasi campuran beton dengan FAS 0,55.

c. *Interface*

Pada zona transisinya (*interface*) variasi beton dengan FAS 0,45, kerapatan antarmuka tertinggi terdapat pada beton 100% *fly ash*, yang membentuk gel N-A-S-H homogen dan menyelimuti partikel secara merata. Posisi berikutnya ditempati oleh campuran 90% *fly ash*, menghasilkan struktur padat walaupun dengan *void*. Posisi ketiga ditempati oleh beton dengan normal menghasilkan gel C-S-H yang cukup padat namun kurang homogen, sedangkan campuran 80% *fly ash* memiliki kerapatan terendah akibat interaksi gel C-S-H dan N-A-S-H yang kurang sinergis. Pada FAS 0,55, kerapatan antarmuka tertinggi terdapat pada beton 100% *fly ash*

dengan aktivator alkali yang menghasilkan gel N-A-S-H merata dan homogen. Selanjutnya, beton 90% *fly ash* memiliki kerapatan yang padat berkat sinergi gel C-S-H dan N-A-S-H. Campuran 80% *fly ash* memiliki antarmuka kurang rapat karena sebagian *fly ash* tidak bereaksi sempurna dan porositas lebih tinggi, sedangkan beton normal menunjukkan kerapatan terendah dengan gel C-S-H yang kurang homogen. Penurunan *proporsi fly ash*, menurunkan kualitas antarmuka (*interface*) akibat berkurangnya dominasi gel N-A-S-H dan interaksi antara gel C-S-H dan N-A-S-H yang kurang serasi.

#### d. Morfologi

Morfologi yang dihasilkan pada variasi beton dengan FAS 0,45 berbeda-beda, morfologi paling padat ditemukan pada campuran 100% *fly ash*, diikuti oleh campuran 90% *fly ash* yang masih memiliki kepadatan baik namun mulai menunjukkan retakan halus. Beton dengan 100% semen menempati urutan berikutnya, ditandai oleh permukaan yang relatif kasar tetapi dengan distribusi gel C-S-H yang merata. Sementara itu, campuran 80% *fly ash* memperlihatkan morfologi paling tidak homogen, dengan permukaan kasar, distribusi partikel yang tidak merata, serta retakan yang lebih jelas terlihat. Pada FAS 0,55, urutan kepadatan dan kehalusan morfologi beton adalah 100% *fly ash* > 90% *fly ash* > 80% *fly ash* > nor. Beton dengan *Fly ash* beraktivator alkali menghasilkan struktur lebih rapat dan halus, sedangkan peningkatan proporsi semen cenderung menambah *void* dan memperkasar permukaan. Pengurangan proporsi *fly ash* pada kedua FAS menurunkan kualitas morfologi beton akibat berkurangnya gel

N-A-S-H, ditandai permukaan kasar, gel tidak merata, dan partikel *fly ash* yang tidak teraktivasi.

e. Sebaran Unsur

Sebaran unsur Pada FAS 0,45, beton 100% semen memiliki kalsium 24,21%, natrium 0,45%, dan silikon 3,54%. Pada *fly ash* 100% menurunkan kalsium menjadi 5,16%, meningkatkan natrium menjadi 11,33% dan silikon menjadi 14,73%. Pada 90% *fly ash*, kalsium 6,37%, natrium 9,41%, silikon 14,45%, sedangkan 80% *fly ash* mencatat kalsium 6,18%, natrium 10,99%, dan silikon 14,31%. Pada FAS 0,55, beton 100% semen mengandung kalsium 23,49%, natrium 0,45%, dan silikon 5,45%. Campuran 100% *fly ash* menurunkan kalsium menjadi 5,48%, menaikkan natrium menjadi 10,36%, dan silikon menjadi 14,40%. Pada 90% *fly ash*, kalsium 8,09%, natrium 4,60%, silikon 15,06%, sedangkan 80% *fly ash* memiliki kalsium 4,23%, natrium 10,72%, dan silikon 19,39%. Peningkatan natrium dan silikon ini dikarenakan penggunaan *fly ash* dan aktivator alkali perbandingan 1:2,5 antara 10 M NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Selain itu, peningkatan natrium dan silikon mengindikasikan terbentuknya struktur alumino silikat yang menjadi ciri khas beton berbasis *fly ash*. Sedangkan, tingginya kandungan senyawa berbasis kalsium pada semen portland, seperti kalsium silikat dan kalsium alumina, yang melalui proses hidrasi membentuk gel C-S-H. Ketika semen digantikan oleh *fly ash*, pasokan utama kalsium berkurang, sehingga kadar kalsium dalam beton menurun.

3. Pada FAS 0,45 dan 0,55 penggunaan *fly ash* menunjukkan bahwa semakin tinggi persentasenya, semakin besar kuat tekan yang dihasilkan. Beton dengan 100% *fly ash* dengan FAS 0,45 mencapai nilai tertinggi 38,03 MPa atau meningkat 58,7% dibanding beton normal. Sementara itu, pada variasi FAS 0,55, beton normal dengan 100% semen hanya mencapai 11,70 MPa, sedangkan pada beton dengan 100% *fly ash* mampu mencapai 28,20 MPa atau meningkat 141%. Campuran beton dengan 100% *fly ash* merupakan komposisi terbaik pada FAS 0,45 dan 0,55, karena memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada masing-masing variasi beton. Hal ini dikarenakan hasil polimerisasi beton dengan *fly ash* yang membentuk N-A-S-H menghasilkan struktur yang lebih padat. Peningkatan persentase semen menambah pembentukan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang bersifat *leaching* sehingga beton yang dihasilkan lebih *porous* dan menurunkan kuat tekannya.

## 5.2 Saran

Adapun saran-saran yang bisa diterapkan untuk penelitian selanjutnya:

1. Diperlukan penelitian yang lebih mendalam terkait reaksi-reaksi kimia yang ditimbulkan.
2. Diperlukan pengujian SEM-EDX + *Mapping* dan benda uji lebih dari 1 sampel untuk memperoleh gambaran mikrostruktur dan distribusi unsur yang lebih detail.
3. Perlu dilakukan dengan penggunaan molaritas NaOH dan rasio aktivator yang berbeda.
4. Pada saat pencampuran, perlu diperhatikan resapan dan kelembaban pada agregat sehingga kebutuhan air disesuaikan.