

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil karakterisasi dari *Fly Ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA) melalui *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), hasil *trial and error* komposisi Alkali Aktivator (AA), hasil uji vicat pasta, dan hasil uji kuat tekan pasta geopolimer untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton geopolimer berbahan baku FA dan BA PLTU Kaltim Teluk.

4.1. Karakterisasi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

4.1.1. Analisis Komposisi

Tahapan penelitian ini diawali dengan melakukan karakterisasi terhadap sampel *Fly Ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA). Karakterisasi yang dilakukan yaitu karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi senyawa-senyawa kimia pada FA dan BA.

Berdasarkan data hasil karakterisasi menggunakan XRF terhadap material FA yang dilampirkan pada Tabel A.1 menunjukkan bahwa terdapat empat senyawa pada FA yang lebih dominan, yaitu Fe_2O_3 (35,8%), CaO (24,7%), SiO_2 (18%), dan Al_2O_3 (7,8%). Dan total kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 61,6%, sehingga FA yang digunakan pada penelitian ini adalah FA kelas C. Hal ini sesuai dengan peraturan ASTM C618 bahwa dengan total kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) kurang dari 70% dan lebih dari 50% serta kadar CaO lebih dari 10%.

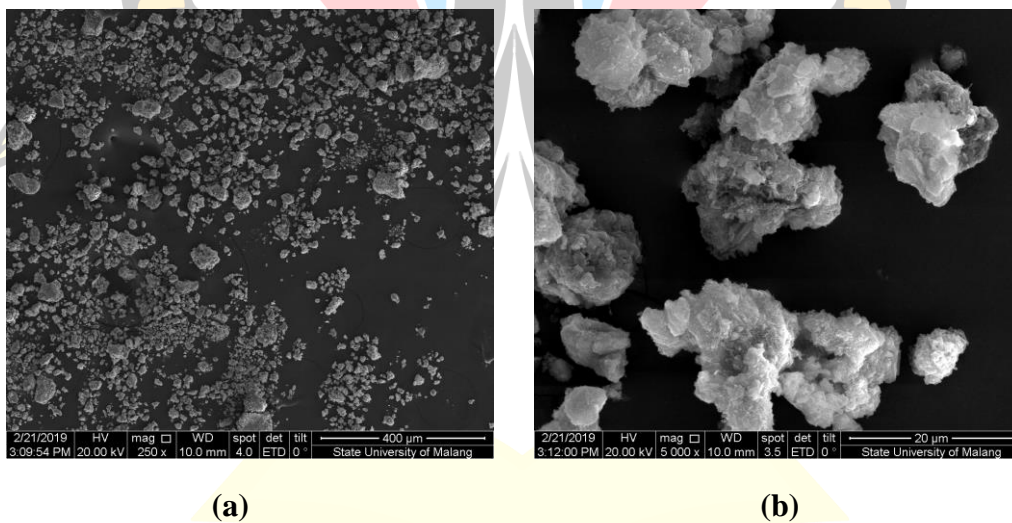
Berdasarkan dari beberapa penelitian terdahulu seperti, Umbroh (2014), Uysal dan Veysel A. (2012), Ahmad dkk (2014), Klarens dkk (2016), dan Guo dkk (2009) dapat disimpulkan bahwa penggunaan FA kelas C sebagai bahan pengganti semen memiliki kelebihan maupun kekurangan, adapun kelebihan dari pemanfaatan FA yaitu, dapat mengurangi penggunaan semen, nilai kuat tekan dapat ditingkatkan dengan *treatment curing* menggunakan pemanasan, sedangkan kekurangan penggunaan FA sebagai substitusi semen yaitu dapat menurunkan kuat tekan beton.

Karakterisasi BA dengan data seperti terlampir pada Tabel A.2 didominasi oleh empat senyawa yang sama seperti pada FA namun dengan persentase yang berbeda, yaitu Fe_2O_3 (37,7%), CaO (31,1%), SiO_2 (17,5%), dan Al_2O_3 (6,1%).

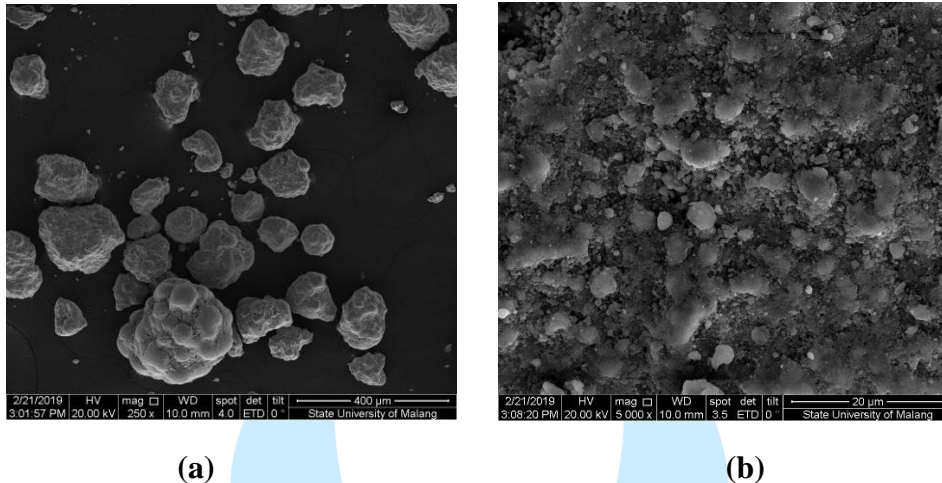
Pada penelitian Xie dan Ozbakkaloglu (2015) yang memanfaatkan BA sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton memiliki kelebihan dan kekurangan, adapun kelebihan dari pemanfaatan BA yaitu dapat mengurangi penggunaan semen dan pasir, sedangkan kekurangan dari pemanfaatan BA ini yaitu perlu melakukan *treatment* terlebih dahulu pada BA sebelum digunakan.

4.1.2. Analisis Morfologi

Karakterisasi material berikutnya yaitu melalui *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil karakterisasi terhadap FA dan juga BA masing-masing ditampilkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Hasil Uji SEM FA (a) Pembesaran 250x, (b) Pembesaran 5000x



Gambar 4.2 Hasil Uji SEM BA (a) Pembesaran 250x, (b) Pembesaran 2500x

Pada hasil karakterisasi menunjukkan bahwa bentuk partikel FA dan BA adalah tidak beraturan (*irregular*) dan kasar. Bentuk serta kehalusan dari partikel FA dan BA sangat mempengaruhi porositas dan kepadatan beton, semakin bulat dan beraturan bentuk partikel FA dan BA maka semakin kecil poros yang terbentuk sehingga beton menjadi lebih padat dan kuat. Menurut Sinsiri dkk (2010) dan Ghosh dkk (2018) penggunaan FA dan BA dengan bentuk partikel yang tidak beraturan dan kasar dapat menimbulkan porositas dan kepadatan beton yang rendah. Hal ini dapat memicu terjadinya penurunan kuat tekan pada beton.

4.2. Penggunaan Alkali Aktivator

4.2.1. Hasil *Trial and Error* Komposisi Alkali Aktivator

Setelah melakukan karakterisasi terhadap FA dan BA, kemudian dilakukan *trial and error* guna mengetahui komposisi alkali aktivator (AA) yang akan digunakan pada pembuatan pasta geopolimer setiap variabel FA:BA. Kemudian komposisi AA tersebut akan diuji vicat sebagai tahap penentuan komposisi akhir AA yang akan digunakan pada pembuatan beton geopolimer. Proses awal *trial and error* dilakukan dengan menggunakan komposisi AA:FABA sebesar 28%:72% seperti yang disebutkan oleh Ilmiah (2017) pada penelitiannya. Hasil *trial and error* seperti terlampir pada Tabel A.3. Berikut ini komposisi AA yang akan digunakan pada pengujian vicat pasta geopolimer.

Tabel 4.1 Komposisi AA

Variabel FA:BA (%:%)	Komposisi AA (%)
100:0	53
75:25	46
50:50	38
25:75	28
0:100	31

4.2.2. Uji Vicat Pasta

Setelah mendapatkan komposisi AA untuk setiap variabel FA:BA, selanjutnya dilakukan uji vicat pasta. Tahapan ini dilakukan guna mengetahui kelayakan komposisi AA yang digunakan pada setiap variabel FA:BA melalui waktu ikat awal dan waktu ikat akhir dari pasta geopolimer, serta membandingkan dengan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang dimiliki oleh pasta semen.

Tabel 4.2 Hasil Uji Vicat Pasta

Variabel FA:BA (%:%)	Komposisi AA (%)	Waktu Ikat Awal (Menit)	Waktu Ikat Akhir (Menit)
0 : 0	0	74	135
100 : 0	53	60	105
75 : 25	46	68	120
50 : 50	38	66	105
25 : 75	28	95	120
0 : 100	31	∞	∞

Hasil yang diperoleh melalui uji vicat pasta didapati bahwa pasta geopolimer dengan variabel FA:BA yaitu 100:0, 75:25, 50:50, dan 25:75 dengan masing-masing komposisi AA memiliki waktu ikat awal yang tidak kurang dari 60 menit dan waktu ikat akhir yang tidak lebih dari 480 menit. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan oleh Fitriyanasari (2018), dimana waktu ikat awal pasta semen tidak kurang dari 60 menit dan waktu ikat akhir semen tidak lebih dari 480 menit. Selain itu didapati bahwa tidak terjadi pengerasan pada pasta geopolimer dengan variabel FA:BA sebesar 0:100, hal ini dikarenakan tidak terjadi reaksi antara BA dan AA. Seperti dapat dilihat pada gambar hasil *trial and error* komposisi AA yang terlampir pada Lampiran A, dimana variabel FA:BA 0:100 terdapat 2 lapisan pada

campuran pasta geopolimer. Sehingga dapat disimpulkan bahwa antara BA dan AA tidak terjadi reaksi yang dapat membuat pasta geopolimer mengeras.

Oleh sebab itu, penggunaan FA:BA dengan komposisi 0:100 tidak dapat digunakan pada pembuatan beton geopolimer. Sedangkan komposisi AA pada masing-masing variabel FA:BA yaitu 100:0, 75:27, 50:50, dan 25:75 dapat digunakan pada pembuatan beton geopolimer.

4.2.3. Uji Kuat Tekan Pasta

Setelah melakukan tahapan uji vicat pasta dilakukan pembuatan serta uji kuat tekan pasta geopolimer untuk menentukan konsentrasi dari larutan KOH yang akan digunakan dalam pembuatan beton geopolimer. Pasta geopolimer yang digunakan pada uji kuat tekan ini merupakan material yang terdiri dari 100% FA dan larutan AA dengan komposisi sebesar 53% dari massa FA. Variabel konsentrasi larutan KOH yang digunakan yaitu 8 M, 9 M, 10 M, 11 M, dan 12 M.

Tabel 4.3 Hasil Uji Kuat Tekan Pasta

Konsentrasi KOH (M)	Kuat Tekan (MPa)	
	3 Hari	14 Hari
8	8,828	9,507
9	7,130	8,149
10	6,112	7,470
11	9,507	10,865
12	7,470	10,545

Berdasarkan hasil uji kuat tekan pada Tabel 4.3 didapati bahwa konsentrasi KOH sebesar 11 M memiliki kuat tekan yang paling tinggi diantara variabel yang lain, yaitu pada usia pasta 3 hari sebesar 6,112 MPa serta usia pasta 14 hari sebesar 10,865 MPa. Konsentrasi larutan KOH yang diperoleh mendekati hasil penelitian yang dilakukan oleh Tippayasam dkk (2016) yang menggunakan larutan KOH sebagai aktivator pada pembuatan geopolimer dengan konsentrasi larutan KOH 6 M, 10 M, 20 M, 30 M, dan 40 M mencapai kuat tekan tertinggi pada konsentrasi larutan KOH 10 M yaitu sebesar 34,75 MPa, serta Khanna dkk (2017) yang menggunakan FA dalam pembuatan beton geopolimer dan larutan KOH sebagai aktivator dengan konsentrasi 8 M, 10 M dan 12 M, menyatakan bahwa kuat tekan tertinggi diperoleh pada konsentrasi larutan 12 M, yaitu sebesar 47,18 MPa. Kuat

tekan tersebut dicapai dengan menggunakan *steam curing* pada suhu 80°C dan usia pasta mencapai 21 hari. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa kuat tekan pasta maksimal terjadi pada konsentrasi larutan KOH antara 10M-12M. Hal ini dikarenakan larutan KOH memiliki konsentrasi optimum untuk menaikkan kuat tekan pasta geopolimer. Sehingga pada pembuatan beton geopolimer akan digunakan variabel konsentrasi larutan KOH sebesar 11 M.

4.3. Beton Geopolimer

4.3.1. Mix Design Beton

Sebelum melakukan tahapan uji kuat tekan beton geopolimer dilakukan perhitungan komposisi material yang akan digunakan melalui *mix design* beton normal dengan mutu beton sebesar 25 MPa. Sesuai dengan perhitungan *mix design* terlampir pada Tabel B.2 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 4.4 *Mix Design* Beton Normal

Proporsi Campuran	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)
tiap m ³	464	226	1582	656
tiap 0,00157 m ³	0,73	0,36	2,49	1,03

Berikut ini *mix design* yang akan digunakan pada pembuatan beton geopolimer setiap variabel komposisi FA:BA. Komposisi material berikut digunakan untuk membuat satu buah silinder beton geopolimer dengan volume silinder sebesar 0,00157 m³.

Tabel 4.5 *Mix Design* Beton Geopolimer

Variabel FA:BA (%:%)	FA (kg)	BA (kg)	AA (kg)	Air (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Persentase FABA : AA (%:%)
100:0	0,512	0	0,578	0,36	2,49	1,03	47:53
75:25	0,441	0,147	0,501	0,36	2,49	1,03	54:46
50:50	0,338	0,338	0,414	0,36	2,49	1,03	62:38
25:75	0,196	0,588	0,305	0,36	2,49	1,03	72:28

4.3.2. Uji Kuat Tekan Beton

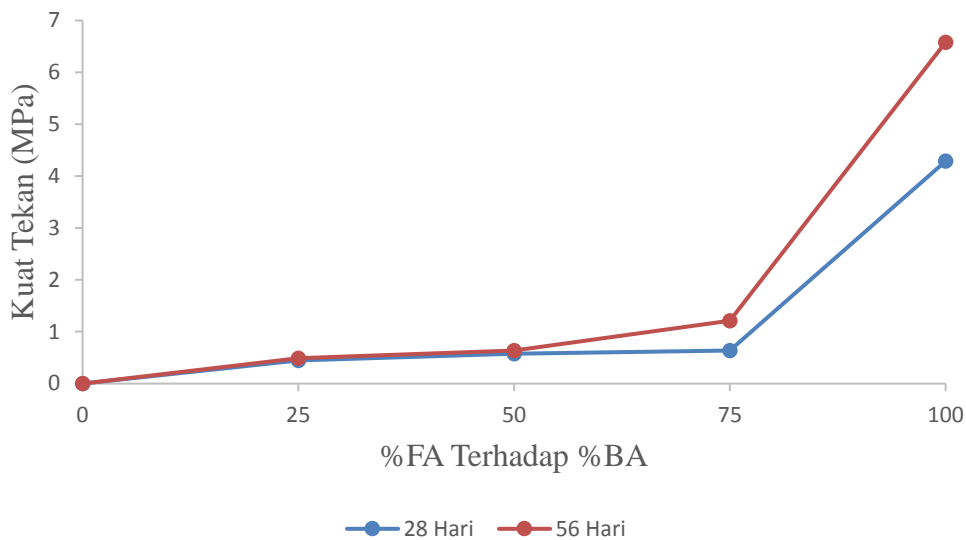
Uji kuat tekan beton dilakukan guna mengetahui besar kekuatan tekan yang dimiliki oleh benda uji (beton geopolimer). Pengujian dilakukan pada beton

geopolimer berbentuk silinder yang berusia 28 dan 56 hari. Berikut ini data hasil uji kuat tekan beton geopolimer.

Tabel 4.6 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

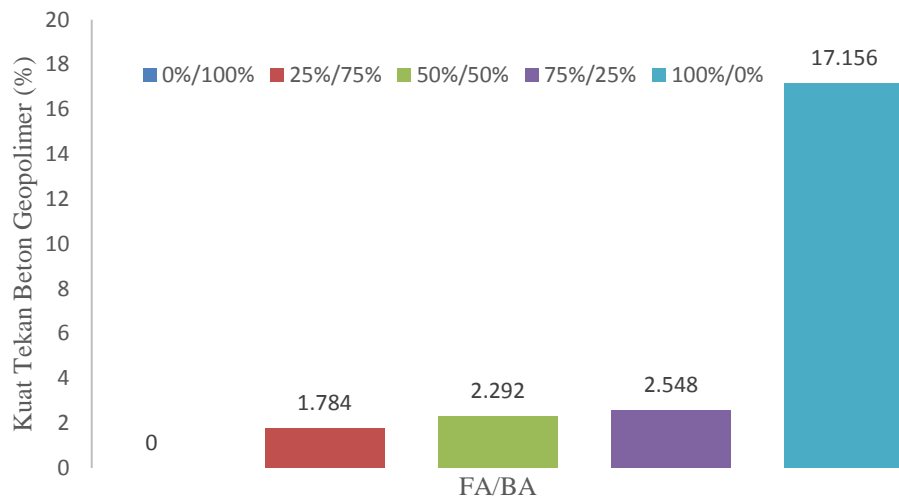
No	Variasi Kadar FA:BA (%:%)	28 Hari		56 Hari	
		Massa (kg)	Kuat Tekan (MPa)	Massa (kg)	Kuat Tekan (MPa)
1	100:0	3,645	4,268	3,667	6,815
		3,645	4,204	3,700	7,198
		3,510	4,395	3,545	5,733
	Rata - rata	3,600	4,289	3,637	6,582
2	75:25	3,240	0,382	3,605	1,847
		3,565	0,764	3,240	0,892
		3,545	0,764	3,215	0,892
	Rata - rata	3,450	0,637	3,353	1,210
3	50:50	3,785	0,573	3,534	0,637
		3,900	0,573	3,585	0,637
		3,870	0,573	3,874	0,637
	Rata - rata	3,852	0,573	3,664	0,637
4	25:75	3,760	0,446	3,589	0,510
		3,690	0,446	3,466	0,446
		3,545	0,446	3,519	0,510
	Rata - rata	3,665	0,446	3,525	0,489
5	0:100	0	0	0	0
		0	0	0	0
		0	0	0	0
	Rata - rata	0	0	0	0

Pada penelitian ini beton geopolimer dibuat berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, serta menggunakan mutu beton sebesar 25 MPa. Dengan komposisi FA:BA yaitu 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100. Pada setiap variabel komposisi FA/BA tersebut dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Kemudian digunakan *curing* dengan *wrapping* pada suhu ruangan, proses *curing* ini dilakukan hingga usia beton mencapai 28 hari dan 56 hari. Setelah usia beton mencapai usia yang diinginkan kemudian dilakukan proses uji kuat tekan untuk melihat besar kuat tekan yang mampu diterima oleh beton tersebut. Melalui pengujian kuat tekan beton geopolimer yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan diperoleh kuat tekan beton geopolimer seperti tertera pada Tabel 4.6.



Gambar 4.3 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer

Berdasarkan grafik hasil uji kuat tekan beton yang disajikan pada Gambar 4.3 didapati kuat tekan beton yang semakin meningkat dengan bertambahnya usia beton. Kuat tekan beton geopolimer tertinggi diperoleh pada usia beton 28 dan 56 hari dengan komposisi FA 100% dan BA 0%, yaitu masing-masing sebesar 4,289 MPa dan 6,582 MPa. Menurut Tjokrodimulyo (dikutip dalam Fitriani, 2010), menyatakan bahwa kuat tekan beton dengan bahan tambah FA mengalami pengikatan yang lambat dan baru dapat mencapai kuat tekan optimal pada umur 90 hari. Hal ini terjadi karena *Calcium Silicat Hidrat* (CSH) yang dihasilkan melalui reaksi pozzolanik akan bertambah keras dan kuat seiring berjalannya waktu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin lama usia beton geopolimer dan juga semakin tinggi kandungan FA yang digunakan akan meningkatkan kuat tekan daripada beton geopolimer tersebut.



Gambar 4.4 Persentase Kuat Tekan Beton Geopolimer Terhadap Beton Normal (Konvensional) pada Usia 28 Hari

Kuat tekan beton yang ingin dicapai pada penelitian ini seperti telah dibahas sebelumnya yaitu sebesar 25 MPa atau setara dengan K-300 yang digolongkan sebagai beton dengan mutu sedang dimana umumnya digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan tinggi, jalan, jembatan, dll. Kuat tekan beton normal (konvensional) pada usia 28 hari yaitu sebesar 25 MPa sesuai dengan mutu beton yang diinginkan. Namun pada Gambar 4.4 didapati bahwa kuat tekan tertinggi yang dicapai beton geopolimer hanya sebesar 17,156% dari kuat tekan beton normal. Kuat tekan beton geopolimer tertinggi dicapai dengan komposisi FA:BA sebesar 100:0. Dan kuat tekan beton geopolimer terendah yaitu sebesar 0% dari kuat tekan beton normal. Kuat tekan beton geopolimer terendah didapati pada komposisi FA:BA sebesar 0:100.

Dengan membandingkan kuat tekan yang dicapai pada usia 28 hari dari beton normal dengan beton geopolimer, didapati penurunan kuat tekan pada beton geopolimer yang menggunakan *mix design* yang sama dengan beton normal yaitu sebesar 25 MPa. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa beton geopolimer memiliki kuat tekan yang jauh dibawah beton normal yang menggunakan semen sebagai material pembentuknya. Beton geopolimer yang semula didesain dengan menggunakan *mix design* sebesar 25 MPa ternyata tidak mencapai bahkan setengah

dari kuat tekan beton normal. Penurunan kuat tekan ini dapat terjadi karena beberapa hal, diantaranya yaitu penggunaan BA dan juga kelas FA.

Besarnya kandungan BA pada beton mengakibatkan semakin rendah pula kuat tekan yang dimiliki oleh beton tersebut. Pada Gambar 4.3 terlihat jelas bahwa beton dengan variasi FA:BA 0:100 dan 100:0 memiliki selisih kuat tekan yang cukup besar, yaitu 4,289 MPa pada usia beton 28 hari dan 6,582 MPa pada beton berusia 56 hari. Seperti yang telah dijelaskan pada subbab uji vicat pasta bahwa antara BA dan AA tidak terjadi reaksi, sehingga BA tidak dapat mengikat agregat secara sempurna dan mengakibatkan beton geopolimer tidak mengeras. Hal lain yang mengakibatkan beton geopolimer dengan 100% BA tidak mengeras yaitu reaksi geopolimer yang tidak berjalan normal dan juga air tambahan yang digunakan mengurangi efisiensi pemadatan sehingga menyebabkan porositas yang tinggi pada beton geopolimer. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Suarnita (2012), Kim dkk (2016), dan Shinde dkk (2018) bahwa semakin tinggi komposisi BA yang digunakan dalam beton maka semakin rendah kuat tekan yang dapat diterima oleh beton tersebut. Selain itu bentuk partikel yang tidak beraturan juga mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer karena akan mempengaruhi porositas dan kepadatan beton tersebut, hal ini seperti yang telah disampaikan pada subbab karakterisasi menggunakan SEM.

Hal lain yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah kelas dari FA yang digunakan. Dimana pada bahasan sebelumnya diketahui bahwa FA yang digunakan untuk penelitian ini adalah FA kelas C yang mengandung senyawa CaO diatas 10%. Penggunaan FA kelas C yang memiliki kandungan kalsium tinggi ini mengakibatkan reaksi *pozzolanik* (reaksi geopolimerisasi) pada beton geopolimer berlangsung tidak sempurna, sehingga proses pengerasan beton geopolimer menjadi terhambat. Didukung oleh pernyataan yang disampaikan Patra dkk (2016) pada penelitiannya yang menggunakan FA kelas F dan juga kelas C pada pembuatan beton geopolimer, menyatakan bahwa kuat tekan beton yang menggunakan FA kelas F memiliki kuat tekan lebih tinggi pada usia beton 10 hari.

Sesuai pula seperti yang dikatakan oleh Jatale dkk (2013) pada penelitiannya yang menggunakan FA kelas C sebagai pengganti sebagian semen untuk pembuatan beton mengakibatkan penurunan kuat tekan beton tersebut. Komposisi

FA yang digunakan yaitu 20%, 40% dan 60%, kuat tekan beton terus menurun seiring dengan penambahan FA dalam beton. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan FA dan BA menyebabkan penurunan kuat tekan beton sehingga tidak mencapai kuat tekan 25 MPa sesuai *mix design* yang digunakan.

