

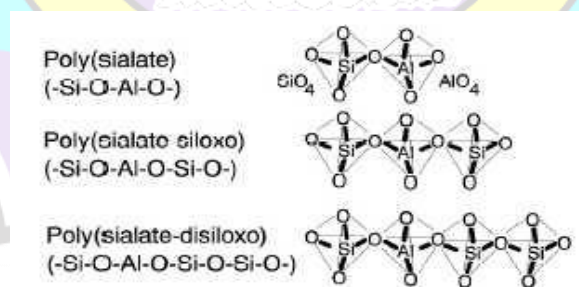
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolymer

2.1.1 Pengertian Beton Geopolymer

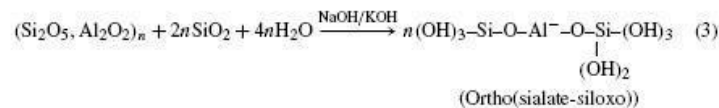
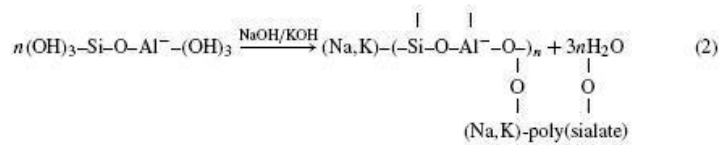
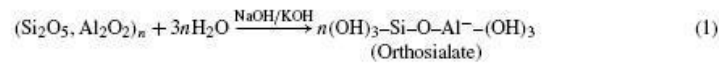
Pada tahun 1978 Joseph Davidovits memperkenalkan sebuah material baru yang bernama geopolimer. Menurutny geopolimer ialah suatu polimer alumina-silika anorganik yang terdiri dari silika (Si) dan Alumunium (Al). Beton *geopolymer* merupakan jenis beton yang sama sekali tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat namun menggunakan bahan yang mengandung silika oksida dan alumina, seperti *fly ash* (abu terbang) Joseph Davidovits (dalam Januarti Jaya Ekaputri et al, 2013). Untuk penggunaan *fly ash* (abu terbang) pada *geopolymer* diperlukan alkali aktivator sebagai pereaksi kandungan silika dan alumina yang terkandung pada material tersebut, natrium hidroksida dan sodium silikat merupakan alkali aktivator yang umumnya digunakan. Dalam beton geopolimer terjadi reaksi polimerisasi yang dimana dalam proses ini alumunium (Al) dan silika (Si) memiliki peranan penting dalam ikatan polimerisasi karena reaksi aluminium dan silika dengan *alkaline* (basa) akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 . Seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Struktur Kimia *PoliSiliate*
(Sumber: Davidovits, 1994)

Gambar di atas menunjukkan proses polimerisasi yang menghasilkan rantai *polymeric* tiga dimensi yang tetap. Dari hal tersebut muncullah istilah “poly(sialate)” untuk beton geopolimer dengan bahan dasar silika dan alumina. Menurut Joseph Davidovits (dalam Januarti Jaya Ekaputri, 2013) polysialate terbagi menjadi beberapa tipe diantaranya: *Poly (sialate)* tipe (-Si-O-Al-O), *poly*

(*sialate-siloxo*) tipe (-Si-O-Al-O-Si-O) dan *poly (sialate-disiloxo)* tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O). Proses geopolimerisasi adalah suatu reaksi kimia antara aluminosilika oksida (SiO_2 , Al_2O_3) dengan alkali *polysialate*. *Polysialate* merupakan suatu natrium atau kalium silikat seperti NaOH atau KOH. Berikut ini skema proses geopolimerisasi.



Gambar 2.2 Skema Proses Geopolimerisasi
(Sumber: Davidovits, 1999)

Weng et. al, 2007 (dalam Fadhil Muhammad Fajri et al, 2017) menyebutkan bahwa proses geopolimer menggunakan dua jenis aktivator akan menghasilkan struktur geopolimer berupa *polysialate-siloxo* dan *polysialate-disiloxo* yang dimana larutan alkali tersebut berupa natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3). Natrium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk pereaksi unsur silika dan alumina yang terdapat pada sehingga menghasilkan ikatan polimer yang kuat sedangkan sodium silikat (Na_2SiO_3) berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

2.1.2 Sifat-sifat Beton Geopolymer

Beton *geopolymer* memiliki beberapa sifat yaitu pada saat beton segar (*fresh concrete*) dan saat beton keras (*hardened concrete*). Berikut ini pemaparannya menurut (Teguh Utomo, 2017) :

- 1 Sifat beton *geopolymer* pada saat beton segar (*fresh concrete*)
 - a) Mengalami penyusutan selama waktu *setting*.
 - b) Cenderung memiliki waktu *setting* yang lama pada suhu -20°C sedangkan pada suhu 20°C memiliki waktu *setting* yang cepat.
 - c) Mengalami kehilangan massa dari beton basah.
- 2 Sifat beton *geopolymer* pada saat beton kering (*hardened concrete*)

- a) Cenderung memiliki kuat tekan yang tinggi saat umur beton 28 hari.
- b) Mempunyai *water absorption* kurang dari 3%.
- c) Memiliki kuat tarik sebesar 10-15 Mpa saat umur beton 28 hari.

2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton *Geopolymer*

Beton *geopolymer* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Berikut ini kelebihan dari beton *geopolymer* menurut (Teguh Utomo, 2017).

1. Ramah lingkungan karena mampu mereduksi CO₂ (karbon dioksida).
2. Mampu mengurangi polusi udara.
3. Memiliki nilai susut yang kecil.
4. Lebih tahan akan reaksi senyawa kimia.
5. Tahan terhadap api.

Sedangkan untuk kekurangan beton *geopolymer* adalah sebagai berikut:

1. Proses pembuatannya cenderung sedikit lebih rumit.
2. Belum adanya perhitungan *mix design* yang pasti.

2.2 *Fly Ash* (Abu Terbang)

Fly ash merupakan salah satu material penyusun beton *geopolymer*. Menurut ASTM C618-03 *fly ash* ialah butiran hasil residu pembakaran batu bara. *Fly ash* memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 0,075 mm dengan kerapatan antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifikasi antara 170 sampai 1000 m²/kg (Saufi, 2018). Menurut SNI 2460:2014 *Fly ash* (abu terbang) dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Tipe C ialah *fly ash* (abu terbang) yang berasal dari proses pembakaran sub *bitumen* atau *lignit* dengan kadar SiO₂ (silikon dioksida), Al₂O₃ (aluminium oksida), Fe₂O₃ (besi oksida) lebih dari 50%.
2. Tipe F ialah *fly ash* (abu terbang) yang dihasilkan dari proses pembakaran *bitumen* atau *anthracite* dengan kadar SiO₂ (silikon dioksida), Al₂O₃ (aluminium oksida), Fe₂O₃ (besi oksida) lebih dari 70%
3. Tipe N ialah pozzoland alam yang kemudian digolongkan menjadi tanah *diatomic*, *shales*, *tuff*, *opaline chertz* dan abu vulkanik

Berikut ini gambar masing-masing tipe *fly ash* (abu terbang) berdasarkan uraian diatas:



Gambar 2.3 Tipe-Tipe *Fly Ash* (Sumber: Internet)
(Sumber: SNI 2460:2014)

Untuk mengetahui tipe *Fly ash* (abu terbang) perlu dilakukan proses pemeriksaan kandungan senyawa kimia di Laboratorium menggunakan alat XRF (*X-Ray Fluorescence*).

Fly ash memiliki beberapa keunggulan saat digunakan pada beton geopolimer, hal ini diungkapkan oleh (Dian Zulkafli & Hilman Arief Ramadhan 2014) dalam skripsinya yang berjudul Sifat Fisik dan Mekanik Beton Geopolimer. Adapun keunggulanya ialah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan alternatif pengganti semen yang paling baik.
2. Dapat mengurangi korosi pada besi beton.
3. Cenderung lebih awet dan kuat dan ramah terhadap lingkungan.
4. Penggunaan fly ash cenderung lebih ekonomis dibandingkan semen .
5. Memiliki daya tahan yang lama dan tidak mudah rusak oleh pengaruh cuaca.
6. Tahan terhadap rembesan air dan tidak menimbulkan retak halus di permukaan beton dan plesteran.

Dalam penelitian ini *fly ash* terlebih dahulu dilakukan pengujian tipe di Laboratorium Sentral Mineral & Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang sehingga bisa mengetahui dan memastikan tipe dari *fly ash* tersebut. Namun *fly ash* yang pada umumnya digunakan ialah *fly ash* tipe F dan tipe C. Untuk *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PLTU Paiton yang di peroleh dari PT. Merak Jaya Beton Pakisaji, Malang.

2.3 Agregat

Agregat memiliki fungsi sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, menjadikan agregat memiliki peranan yang penting. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan. Agregat menempati 70% sampai dengan 75% dari volume beton sehingga karakteristik dan sifat dari agregat memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas dan sifat-sifat beton (Nugraha, 2007:43). Pada campuran beton, agregat yang diperhitungkan ialah agregat dalam keadaan permukaan tidak ada air namun bagian dalamnya berisi air atau jenuh kering muka (*Saturated Surface Dry*).

Agregat pada umumnya terbagi atas agregat kasar dan agregat halus. Untuk agregat halus terdiri pasir sedangkan agregat kasar ialah agregat yang berupa batuan dengan diameter butiran lebih dari 5 mm. Berikut ini pemaparan mengenai agregat halus dan agregat kasar.

2.3.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang berupa pasir alami yang diperoleh dari sungai, pemecahan batu dan tanah galian. Menurut ASTM C-33 agregat halus ialah agregat yang memiliki besar butiran maksimum 4,75 mm dengan syarat-syarat sebagai berikut:

1. Tahan terhadap cuaca dan memiliki butiran-butiran tajam dan keras.
2. Tidak mengandung lumpur dengan kadar lebih dari 5%.
3. Tidak mengandung bahan-bahan anorganik.

Agregat halus memiliki susunan ukuran butiran agregat yang diatur pada ASTM C-33 seperti dibawah ini:

Tabel 2.1 Susunan Ukuran Butiran Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	Presentase Lolos Saringan
38,1	100
19,2	100
9,5	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,60	25-60
0,30	10-30
0,15	2-10

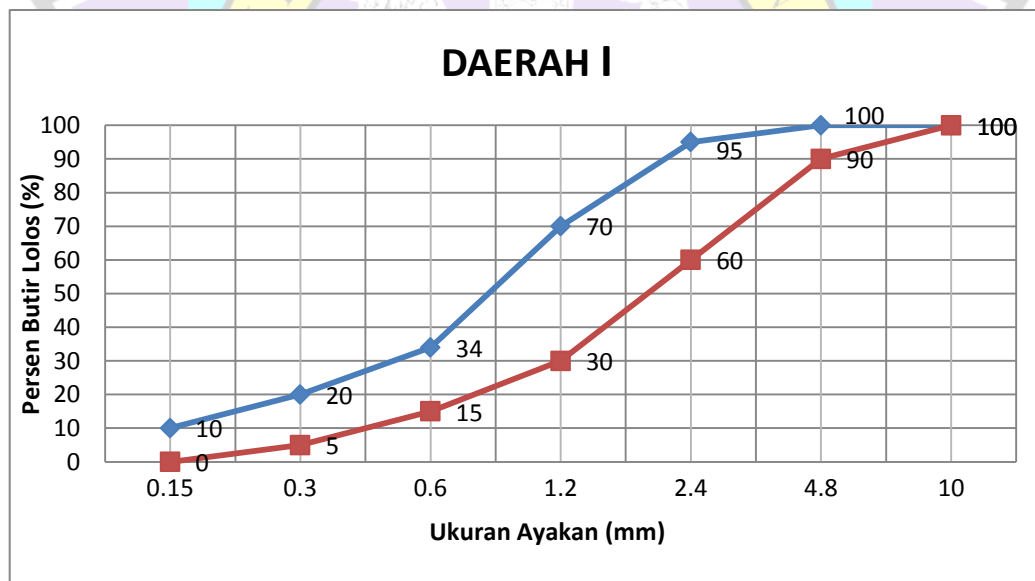
(Sumber: ASTM C-33)

Selain syarat-syarat dan susunan ukuran butiran diatas, agregat halus juga memiliki syarat batasan gradasi halus untuk agregat menurut SK SNI T-15-1990-03 yang diadopsi dari *British Standart*. Untuk mempermudah pemahaman maka agregat halus dikelompokkan menjadi beberapa zone seperti tabel dan gambar dibawah ini :

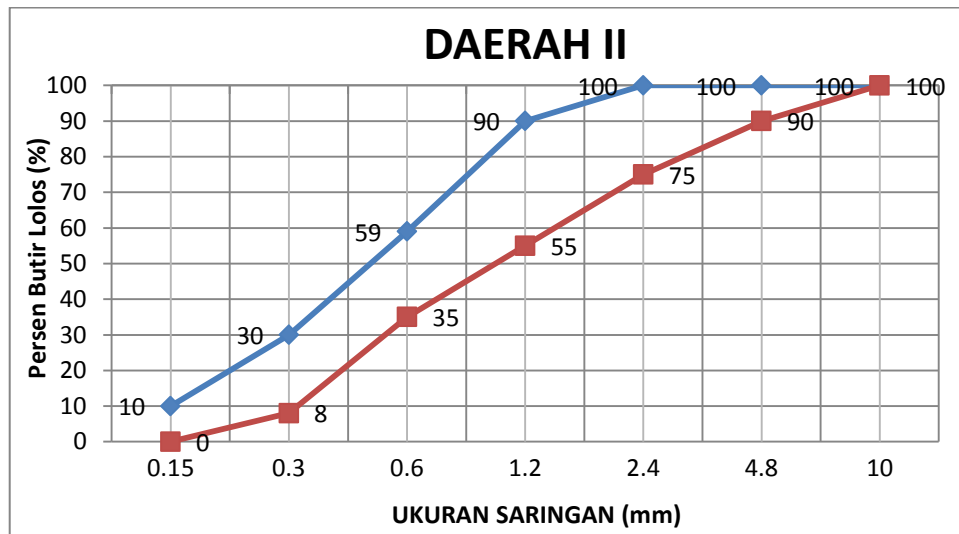
Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persentase Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Zone I Pasir Kasar	Zone II Pasir Agak Kasar	Zone III Pasir Halus	Zone IV Pasir Agak Halus
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

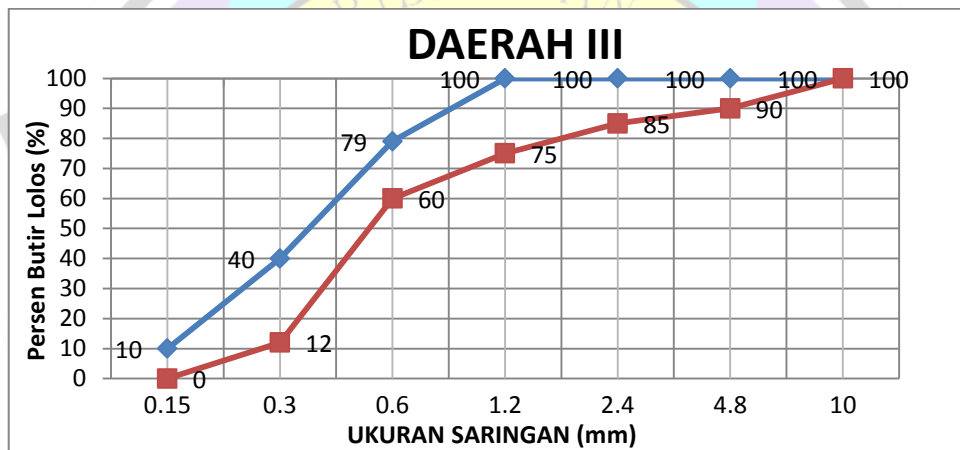
(Sumber: SK SNI T-15-1990-03)



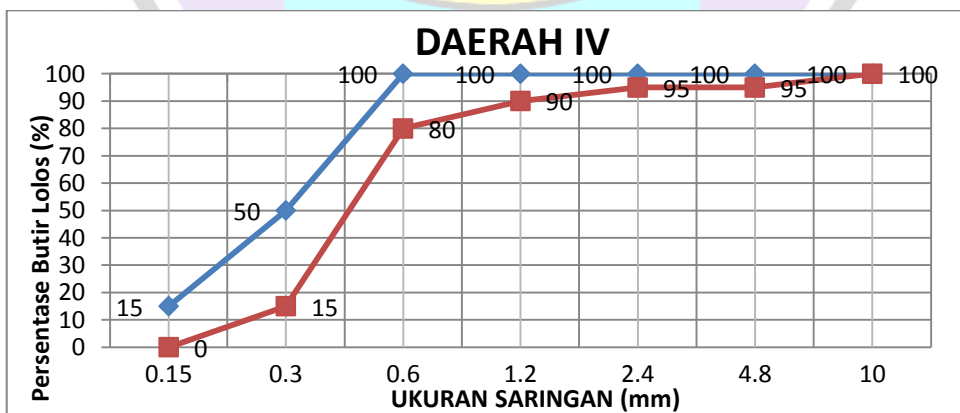
Gambar 2.4 Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Kasar
(Sumber: Buku Pratikum Teknologi Beton, Hal. 65)



Gambar 2.5 Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Agak Kasar
(Sumber: Buku Pratikum Teknologi Beton, Hal. 65)



Gambar 2.6 Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Agak Halus
(Sumber: Buku Pratikum Teknologi Beton, Hal. 66)



Gambar 2.7 Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Agak Halus
(Sumber: Buku Pratikum Teknologi Beton, Hal. 66)

2.3.2 Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang berupa batuan dengan ukuran butir lebih dari 4,76 mm. Menurut ASTM C 33-03 agregat kasar memiliki ketentuan sebagai berikut:

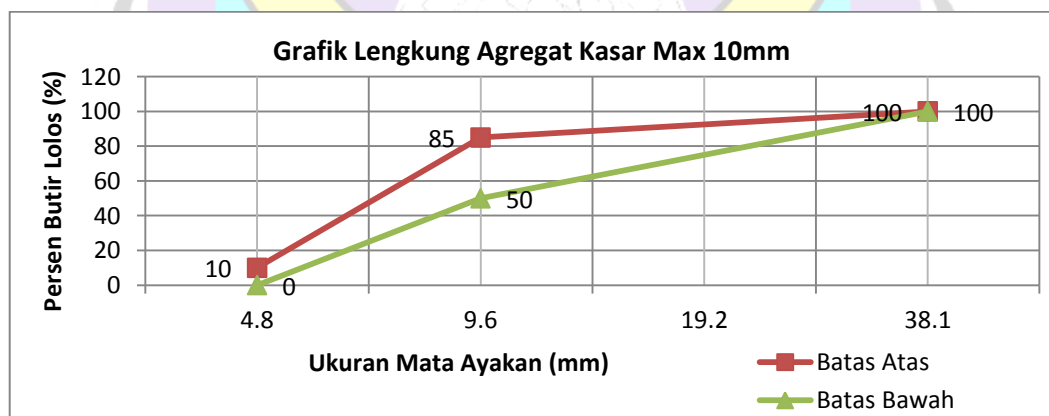
1. Memiliki butiran-butiran yang keras dan tidak berpori.
2. Mempunyai sifat yang tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Tidak mengandung zat yang dapat merusak beton.
4. Tidak mengandung lumpur lebih dari 1%. Dan jika kadar lumpur lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci.

Berdasarkan *British Standart* agregat kasar memiliki syarat gradasi yang sebaiknya tercantum pada tabel dan gambar dibawah ini:

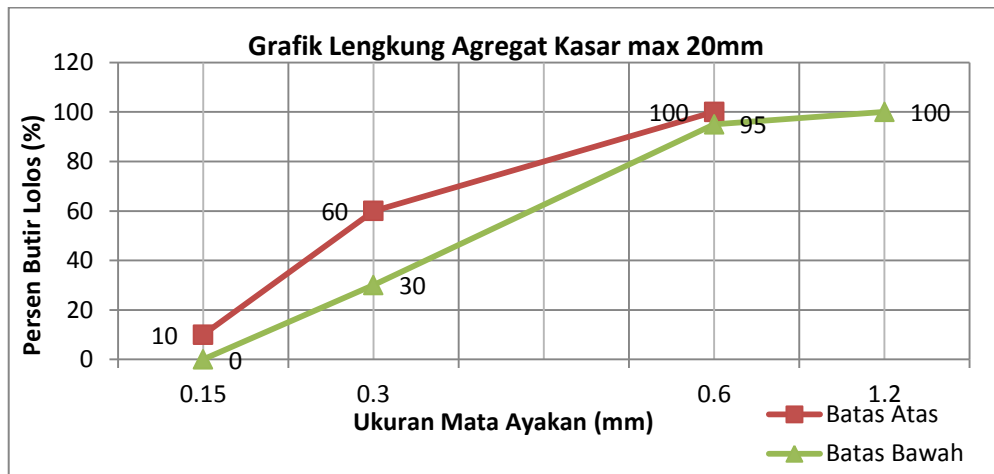
Tabel 2.3 Syarat Agregat Kasar (Kerikil)

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan Ukuran nominal agregat (mm)		
	40 mm	20 mm	10 mm
38,1	95-100	100	-
19,0	35-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

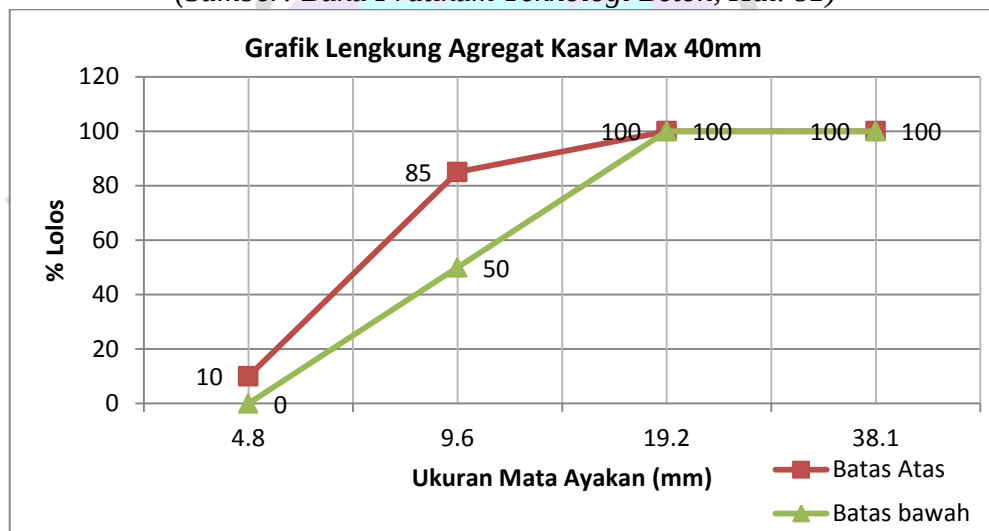
(Sumber: PUBI-1982)



Gambar 2.8 Grafik Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 40 mm
(Sumber: Buku Pratikum Teknologi Beton, Hal. 81)



Gambar 2.9 Grafik Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 20 mm
(Sumber: Buku Pratikum Teknologi Beton, Hal. 81)



Gambar 2.10 Grafik Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 10 mm
(Sumber: Buku Pratikum Teknologi Beton, Hal. 80)

2.4 Alkali Aktivator

Selain agregat dan *fly ash* (abu terbang) diperlukan pula larutan senyawa sebagai alkali aktivator. Adapun fungsi dari alkali aktivator ialah sebagai pereaksi kandungan senyawa silika dan alumina yang terkandung pada *fly ash* (abu terbang). Menurut Joseph Davidovits (dalam Mochammad Qomarudin, 2019:56) larutan aktivator yang umumnya digunakan ialah natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) karena natrium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk pereaksi unsur silika dan alumina yang terdapat pada *fly ash* (abu terbang) sehingga menghasilkan ikatan polimer yang kuat sedangkan sodium silikat

(Na_2SiO_3) berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Natrium hidroksida (NaOH) adalah basa logam kaustik yang terbuat dari oksida basa natrium oksida yang dilarutkan ke dalam air sedangkan sodium silikat adalah suatu senyawa yang umumnya berupa padatan transparan tak berwarna atau bubuk putih yang bisa larut dalam air (Teguh Utomo, 2017). Sebelum alkali aktivator dicampurkan dalam pembuatan beton *geopolymer* perlu adanya proses pelarutan alkali aktivator dengan air sehingga larutan tersebut menjadi sesuai dengan Molaritas yang ditentukan. Berikut rumus Molaritas menurut John Dalton dalam (Januarti Jaya Ekaputri, 2014):

$$M = \frac{n}{v} \dots \dots \dots (2.14)$$

atau

$$M = \frac{g}{Mr} + \frac{1000}{v} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

M = Molaritas (M)

n = jumlah mol zat (mol)

v = volume dalam larutan (liter)

g = massa zat terlarut (gr)

Mr = massa relatif zat terlarut (g)

2.5 Air

Air yang akan digunakan dalam campuran alkali aktivator harus bersih dan bebas dari bahan yang mengandung oli, asam alkali, garam dan bahan organik lainnya. Air merupakan ikatan kimia yang terdiri dari dua atom hidrogen dan satu oksigen. Pada beton *geopolymer* air digunakan untuk melarutkan alkali aktivator sehingga menjadi larutan dengan konsentrasi molaritas tertentu. Untuk air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sistem jaringan air bersih di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang.

2.6 Pengujian Pendahuluan

Dilaksanakannya pengujian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui mutu dan kualitas bahan perencanaan pada beton. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan meliputi: pengujian gradasi agregat halus dan kasar, pengujian kadar air agregat, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, serta pengujian kandungan senyawa kimia pada *fly ash* yang dilaksanakan di Laboratorium Sentral Mineral & Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang. Berikut ini peralatan dan bahan yang digunakan:

2.6.1 Pengujian Gradasi Agregat Halus dan Kasar

1. Bahan
Pasir alam dan kerikil.
2. Peralatan
 - a) Timbangan.
 - b) Satu set saringan ayakan untuk agregat halus.
 - c) Satu set saringan ayakan untuk agregat kasar.
 - d) Oven dengan kapasitas pengatur suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - e) Mesin pengguncang saringan.
 - f) Talam dan kuas

2.6.2 Pemeriksaan Kadar Air Agregat

1. Bahan
Agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil).
2. Peralatan
 - a) Timbangan dengan ketelitian 0,1%.
 - b) Oven dengan kapasitas pengatur suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - c) Talam.
 - d) Cawan.

2.6.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

1. Bahan
 - a) Pasir alam dengan berat 500 gram dalam beberapa benda uji.
 - b) Pasir lolos oleh saringan no.4 (4,75 mm).
2. Peralatan

- a. Timbangan dengan kapasitas lebih dari 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram.
- b. Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
- c. Kerucut terpancung dengan diameter atas (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm yang terbuat dari logam dengan ketebalan 0,8 mm.
- d. Batang penumbuk memiliki bidang penumbuk rata dengan berat (340 ± 15) gram dan diameter (25 ± 3) mm.
- e. Saringan no.4 (4,75 mm).
- f. Oven dengan pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- g. Desikator.

2.6.4 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

1. Bahan
 - a) Kerikil atau batu pecah.
 - b) Kerikil tertahan oleh saringan no.4 (4,75 mm).
2. Peralatan
 - a) Keranjang kawat berukuran 3,35 mm (no.6) atau 2,36 mm (no.8) dengan kapasitas ± 5 kg.
 - b) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai. Tempat tersebut harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air tetap selalu ada.
 - c) Timbangan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 % yang dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
 - d) Oven pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - e) Alat pemisah contoh.
 - f) Saringan no.4 (4,75 mm).

2.6.5 Pemeriksaan Berat Isi Agregat

1. Bahan

Pasir alam dan kerikil.
2. Peralatan
 - a) Timbangan kapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram.

b) Tongkat penusuk baja dengan panjang ± 600 mm dan diameter ± 16 mm.

c) Kotak takar.

2.6.6 Pengujian Fly Ash (Abu Terbang)

Penggunaan alat XRF (*X-Ray Fluorescence*) bertujuan untuk menentukan tipe *fly ash* berdasarkan kandungan senyawa pada *fly ash*. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian fly ash di Laboratorium Sentral Mineral & Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang.

2.7 Slump Test

Slump merupakan suatu penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur pada saat cetakan uji diangkat. Namun slump tidak berpengaruh pada jumlah bahan pengikat. Pengujian dilakukan dengan alat seperti: cetakan kerucut Abram yang terbuat dari logam dengan tinggi 300 mm diameter atas 100 mm dan diameter bawah 200 mm, batang baja penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm, alas pengujian yang terbuat dari besi atau kayu dan harus kedap air, mistar pengukur, sekop kecil atau cetok, dan wadah tempat material. Berikut ini gambar alat-alat tersebut.



Gambar 2.11 Alat-Alat yang digunakan dalam *Slump Test*
(Sumber: Internet)

Untuk pelaksanaan pengujian slump test harus melalui beberapa tahapan sebagai berikut (SNI 1972:2008):

1. Basahi cetakan dan letakan pada permukaan datar, lembab, tidak menyerap air dan kaku.

2. Isi cetakan dengan beton segar, dalam satu cetakan dibagi menjadi tiga lapis dengan setiap lapis berisi kira-kira $\frac{1}{3}$ isi cetakan. Selanjutnya tusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata setiap lapis. Pada saat penusukan tongkat harus masuk sampai lapisan paling bawah, sedangkan untuk lapisan pertama penusukan lapisan tepi tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan cetakan.
3. Ketika pengisian dan penusukan lapisan atas selesai maka ratakan permukaan benda uji dengan tongkat jika ada sisa kelebihan beton segar yang jatuh maka harus disingkirkan. Cetakan dilepaskan dengan perlahan tegak lurus ke atas. Seluruh pengujian harus dilakukan dalam waktu tidak lebih dari 2,5 menit.
4. Setelah beton dilepaskan dari cetakan maka beton menunjukkan penurunan pada permukaan yang kemudian diukur nilai slump beton dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Berdasarkan uraian di atas untuk lebih memahami cara pengujiannya slump test maka dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

2.8 Pengujian Kuat Tekan

Menurut SNI 1974:2011 kuat tekan adalah kemampuan beton menerima beban per satuan luas yang menyebabkan beton menjadi hancur ketika dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh *compression Testing Machine*. Untuk nilai kuat tekan beton didapatkan melalui standar tata cara pengujian menurut ASTM C 39 yaitu dengan memasukan bahan yang akan di uji ke dalam benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 cm dan tinggi 300 cm yang kemudian diberikan beban tekan tertentu dengan menggunakan mesin uji. Jika benda uji yang ditekan sampai pecah maka kita bisa mengetahui kuat tekan desak beton tersebut dengan cara melihat beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah yang selanjutnya dibagi luas penampang benda uji sehingga didapatkan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam satuan Mpa atau Kg/cm^2 . Untuk tata cara pengujian yang umumnya digunakan adalah standar ASTM C 39 dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.24)$$

Keterangan:

f_c' = Kuat tekan beton (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas Penampang benda uji (mm²)

Perencanaan komponen struktur beton diasumsikan hanya menerima beban tekan. Dengan demikian mutu beton selalu dikaitkan dengan kuat beton sendiri. Untuk menentukan kuat tekan dari beton bisa diperoleh dengan cara melakukan pengujian kuat tekan di laboratorium. Benda uji yang umumnya digunakan ialah berupa benda uji berbentuk silinder dan kubus. Dalam pengujian ini benda uji yang digunakan berbentuk silinder.

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Ada empat bagian utama yang mempengaruhi mutu dari suatu beton, yaitu:

1. Proporsi bahan-bahan penyusunnya.
2. Metode perancangan.
3. Perawatan.
4. Keadaan lingkungan setempat pada saat pengecoran dilaksanakan .

2.9 Pengujian Kuat Tarik Belah

Beton ialah material yang lemah terhadap tegangan tarik. Kekuatan tarik beton relatif rendah, sekitar 10% - 15% dari kekuatan tekan beton. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tarik belah untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton dengan agregat ringan (SNI 03-2491-2002). Untuk benda uji yang akan di ujikan berbentuk silinder yang di berikan beban tekan secara merata arah tegak lurus dari atas, apabila benda uji tersebut terbelah menjadi dua bagian maka benda uji tersebut melampaui kuat tarik. Untuk menghitung kuat tarik belah bisa menggunakan rumus dibawah ini berdasarkan SNI 2491:2014.

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

f_t = Kuat tarik belah beton (Mpa)

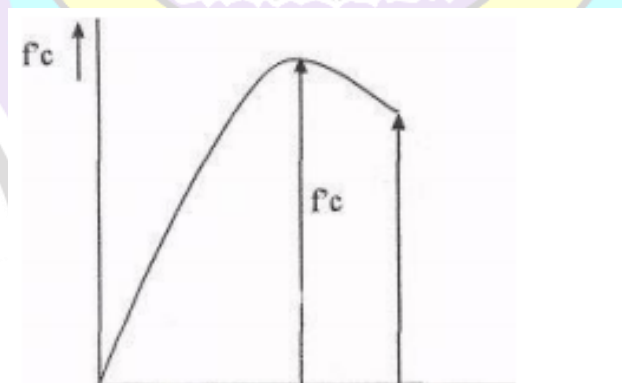
P = Beban pada waktu belah (N)

L = Panjang benda uji silinder (mm)

D = Diameter benda uji silinder (mm)

2.10 Pengujian Modulus Elastisitas

Umumnya bahan termasuk beton mempunyai daerah awal pada diagram tegangan-regangan yang dimana bahan berkelakuan secara elastis dan linier. Kemiringan diagram tegangan-regangan dalam daerah elastis linier itulah yang dinamakan Modulus Elastisitas (E) atau *Modulus Young*. Kajian tentang hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan perencanaan suatu bagian struktur. Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk yang terjadi pada bahan tergantung pada sifat tegangan dan regangan tersebut. Beton berubah bentuk mengikuti regangan elastis dan sebagian mengalami regangan plastis, seperti pada gambar dibawah ini yang memperlihatkan kurva tegangan-regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan benda uji silinder beton yang diberikan beban tekan.



Gambar 2.12 Kurva Tegangan-Regangan Beton yang diberikan Tekanan
(Sumber: Nawy, 1990:44)

Bagian kurva ini (sampai sekitar 40% PC) pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linier. Setelah mendekati 70% tegangan hancur, material banyak kehilangan kekakuannya sehingga kurva tidak linier lagi. Modulus

elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil artinya beton tersebut memiliki kemampuan menahan regangan (kemungkinan terjadi retak) yang kecil. Tolak ukur yang umum dari sifat elastisitas suatu bahan adalah modulus elastisitas yang merupakan perbandingan dari desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang akibat dari desakan yang diberikan. Untuk mengetahui modulus elastisitas dari suatu beton maka dapat dihitung dengan rumus di bawah ini (Murdock dan Brook, 1991):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana:

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots (2.28)$$

Keterangan:

- E = Modulus elastisitas (N/mm²)
- P = Beban yang diberikan (ton)
- A = Luas penampang melintang (mm²)
- Δl = Penurunan arah longitudinal (mm)
- Lo = Panjang mula-mula (mm)

Berdasarkan ASTM C 469-94 perhitungan modulus elastisitas beton yang digunakan ialah *modulus chord* dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,000050} \dots \dots \dots (2.29)$$

Keterangan:

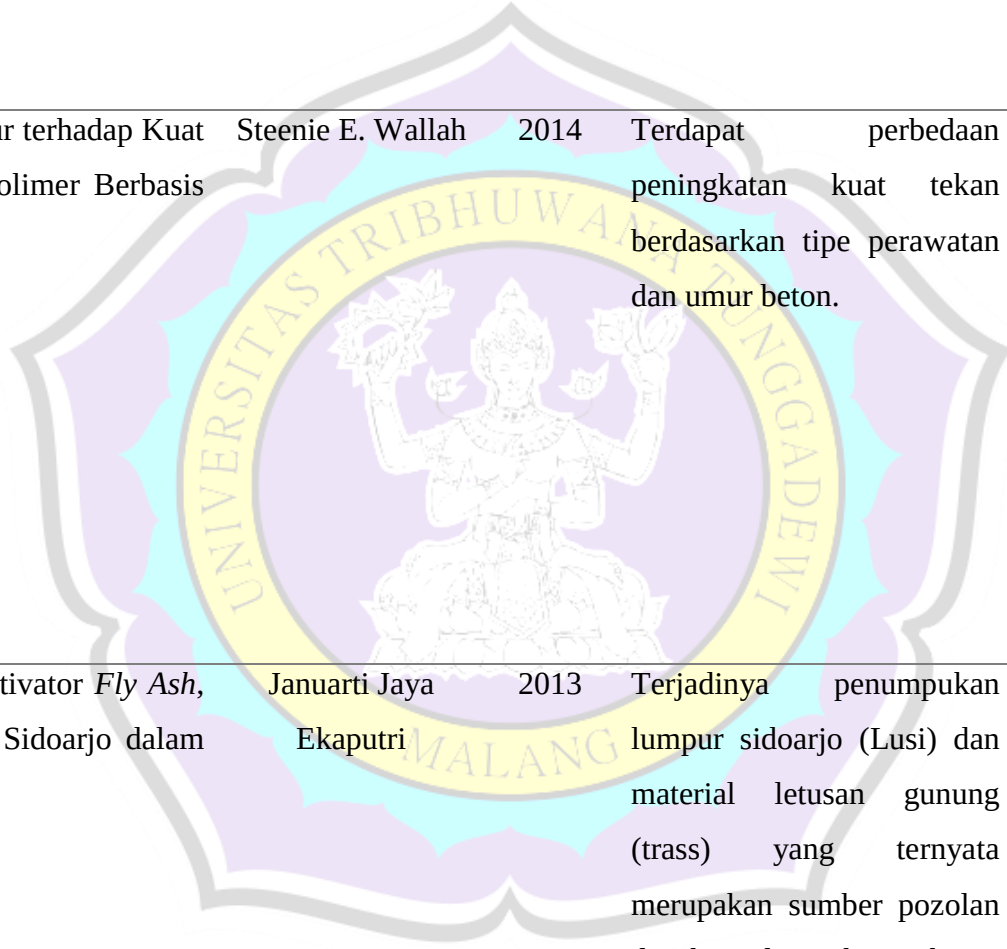
- E_c = Modulus elastisitas (MPa)
- S₂ = Tegangan pada 40% x f_c' (MPa)
- S₁ = Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal akibat tegangan sebesar 0,00005 (MPa)
- ε₂ = Regangan longitudinal akibat regangan S₂

2.11 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis	Tahun	Masalah	Hasil Penelitian
1.	Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Beton <i>Geopolymer</i> dengan Pengikat Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i> PLTU Mpanau.	Evin Hariska, Kasman, Syahrul Ulum	2019	Perlu adanya pengembangan yang mengarah pada pengembangan produk beton <i>geopolymer</i> dengan memanfaatkan <i>fly ash</i> sebagai bahan dasar dalam pembuatan beton sederhana untuk aplikasi material non-struktural.	Beton <i>geopolymer</i> dengan binder berbahan dasar <i>fly ash</i> menghasilkan sifat fisik yang baik dan peningkatan kuat tekan dengan cara meningkatkan komposisi agregat atau menurunkan komposisi dari binder.
2.	Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton <i>Geopolymer</i> Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i> .	Darma Adi S, Farizka Rahman N, Han Ay Lie, Purwanto	2018	Beton geopolimer belum memiliki <i>mix design</i> yang pasti maka dalam penelitian ini digunakan <i>mix design</i> untuk beton normal.	Dalam penelitian ini menggunakan alkali aktivator dengan konsentrasi 6 Molar, 8 Molar, dan 10 Molar dengan umur beton 7, 14, dan 28 hari yang kemudian didapatkan hasil bahwa kuat tekan beton dan berat jenis beton <i>geopolymer</i> larutan alkali mengalami peningkatan

					dibandingkan dengan beton konvensional sedangkan untuk <i>setting time</i> dan <i>final setting</i> beton <i>geopolymer</i> lebih lama dibandingkan beton konvensional.
3.	Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Berat Agregat dan Binder pada umur Beton 21 dan 28 Hari	Andi Yunanto	2017	Harga material yang tinggi menjadikan pemakaian campuran harus sesuai sehingga didapatkan kualitas yang baik.	Nilai kuat tekan beton geopolimer tertinggi terdapat pada umur beton 28 hari dengan variasi bahan penyusun 35%:65% selain itu dari penelitian ini bisa disimpulkan bahwa beton geopolimer memerlukan proses yang agak lambat dalam penambahan kekuatannya.
4.	Tinjauan Kuat Tekan Beton <i>Geopolymer</i> dengan <i>Fly Ash</i> sebagai Bahan Pengganti Semen	Ginjar Bagus Prasetyo	2015	Penggunaan semen yang semakin tinggi membuat kerusakan lingkungan. untuk mengurangnya maka perlu adanya material sebagai bahan pengganti semen yang dimana	Nilai kuat tekan beton <i>geopolymer</i> tertinggi terdapat pada perbandingan rasio aktifator Na ₂ SiO ₃ : NaOH yaitu 5:2. Selain itu nilai slump dalam penelitian ini menghasilkan nilai slump tertinggi yaitu sebesar 25 cm, hal tersebutlah yag mempermudah proses

				merupakan <i>fly as</i> . <i>Fly ash</i> pengadukan namun kuat tekannya dipilih karena banyak mengalami penurunan. Menurutnya nilai mengandung alumina dan slump yang baik ialah sekitar 11,5 cm karena nilai tersebut menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi dan masih <i>workability</i> .	
5.	Pengaruh Variasi Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan menggunakan Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	As'at Pujiyanto, Mandiyo Priyo, Yoehanes, Surya	2014	Umur beton berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer.	Nilai kuat tekan optimum diperoleh pada umur beton 21 hari sedangkan untuk kuat tekan minimum terjadi pada umur beton 3 hari.
6.	Pengaruh Molaritas Aktifator Alkalin Terhadap Kuat Mekanik Beton Geopolimer dengan Tras sebagai Pengisi	Puput Risdanareni, Triwulan dan Januarti Jaya Ekaputri	2014	Banyaknya material trass yang berasal dari lava gunung berapi yang merupakan material pozoanik menjadikan penelitian melakukan percobaan trass sebagai bahan alternatif selain <i>fly ash</i> .	Naoh sangat berpengaruh pada kuat mekanik binder maupun beton geopolimer. Semakin tinggi molaritas NaOH maka semakin tinggi kuat mekanik yang dihasilkan. Namun sebaliknya pada perbandingan rasio yang tinggi tidak mesti menghasilkan kuat mekanik yang tinggi. Maka disarankan untuk beton geopolimer menggunakan



				molaritas 10 M dengan rasio perbandingan 2 dan 2,5 karena sudah bisa digunakan sebagai beton struktural.	
7.	Perawatan dan Umur terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang.	Steenie E. Wallah	2014	Terdapat perbedaan peningkatan kuat tekan berdasarkan tipe perawatan dan umur beton.	Cara perawatan mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu terbang yang dimana perawatan pada temperatur ruang dengan lama umur beton yaitu 6 bulan meningkatkan kuat tekan sekitar 60%. Sedangkan perawatan pada <i>elevated temperature</i> selama 24 jam tidak memberikan peningkatan kuat tekan termasuk jika mendapat perawatan dengan perendaman dalam air.
8.	Sodium sebagai Aktivator <i>Fly Ash</i> , Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer	Januarti Jaya Ekaputri	2013	Terjadinya penumpukan lumpur sidoarjo (Lusi) dan material letusan gunung (trass) yang ternyata merupakan sumber pozolan dan bisa digunakan sebagai	Beton geopolimer yang menggunakan konsentrasi 14 Molar menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang lebih besar dari pada beton geopolimer dengan konsentrasi molaritas yang rendah. Sedangkan untuk hasil tes porositas

			bahan pengisi pada beton geopolimer.	didapatkan bahwa beton geopolimer dengan konsentrasi molaritas lebih tinggi memiliki jumlah pori tertutup yang banyak.
9.	Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i> Jawa Paiton Sebagai Material Alternatif	Januarti Jaya 2007 Ekaputri, Triwulan, Oktavina Damayanti	Belum adanya komposisi campuran yang tepat untuk menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang tinggi sehingga dilakukanlah penelitian ini.	Tingginya perbandingan larutan sodium silikat dan sodium hidroksida tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi. Untuk rasio perbandingan yang paling optimum dalam penelitian ini ialah sebesar 1,5. Sedangkan untuk molaritas yang menghasilkan kuat tekan dan kuat belah yang lebih besar terdapat pada molaritas 10 M.
10.	Analisis Sifat Mekanik Beton <i>Geopolymer</i> Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i> dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi	Triwulan, Januarti 2007 Jaya Ekaputri, Tami Adiningtyas.	Lumpur porong memberikan berbagai dampak buruk pada kehidupan sosial, ekonomi dan kesehatan masyarakat	Penambahan molaritas aktivator yang besar menjadikan <i>finish setting time</i> semakin cepat namun penambahan kadar air yang besar terhadap lumpur menjadikan <i>finish setting time</i> semakin

						sidoarjo. Maka di buatlah usaha meminimalisasi dengan memanfaatkannya sebagai bahan pengisi beton geopolimer	lama. Untuk kuat tekan yang dihasilkan mengalami peningkatan karena molaritas aktivator yang semakin besar namun kadar air yang ditambahkan pada campuran semakin sedikit, sedangkan kuat tarik yang dihasilkan dalam penelitian ini sangat kecil.
11.	Pengaruh Umur Terhadap Sifat Mekanik Beton Berbahan Dasar Fly Ash (Abu Terbang)	Geopolymer (Abu Terbang)	Elisabeth Van	2021	Terjadinya peningkatan emisi gas CO ₂ (karbon dioksida) akibat industri semen.	Hasul penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh umur terhadap sifat mekanik beton geopolymer yang dimana hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan kekuatan beton geopolymer seiring dengan bertambahnya umur beton, hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya umur beton, maka proses pengerasan semakin baik, sehingga kekuatannya semakin meningkat.	