

TEKNOLOGI BETON LANJUT

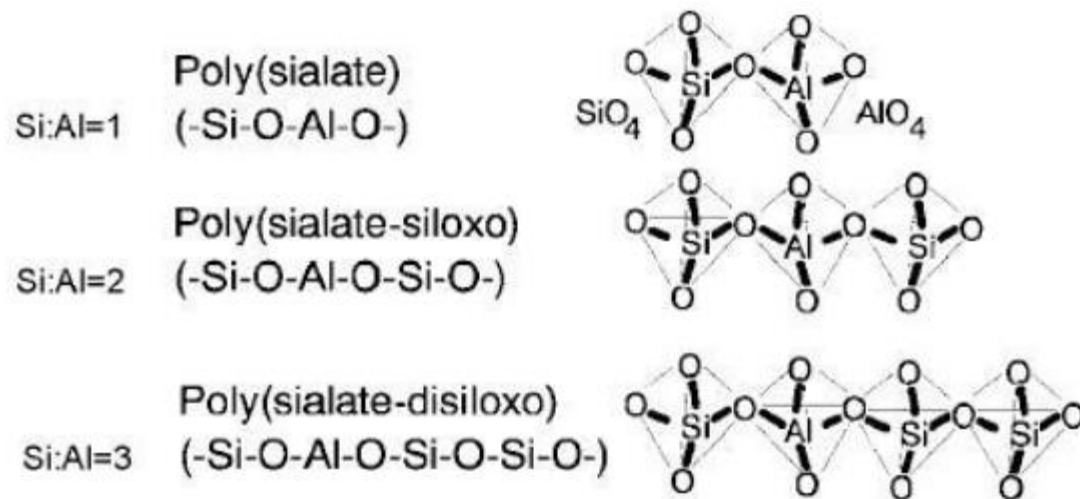
BETON GEOPOLIMER

DR. FIRDAUS, ST, MT

Beton Geopolimer

- Joseph Davidovits menciptakan istilah geopolimer pada tahun 1978 untuk mewakili luasnya berbagai material yang ditandai dengan rantai atau jaringan molekul anorganik (Geopolymer Institute 2010). Beton geopolimer menggunakan bahan alami dengan kandungan silikon dan aluminium yang tinggi yang bereaksi dengan larutan alkaline activator untuk berpolimerisasi menjadi rantai molekul dan jaringan. Proses polimerisasi melibatkan reaksi kimia cepat yang secara substansial dalam kondisi alkali pada mineral silikon –aluminium yang menghasilkan rantai polimer tiga dimensi dan struktur cincin yang terdiri dari ikatan Si-O-Al-O. Beton geopolimer mempunyai 3 struktur dasar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1., yaitu

- 1. Poly (Sialate) Si:Al =1 yang memiliki [-Si -O -AlO] sebagai unit berulang.
- 2. Poly (Sialate-Siloxo) Si:Al = 2 yang memiliki [-SiO -Al -O -Si -O] sebagai unit berulang.
- 3. Poly (Sialate -Disiloxo) Si:Al = 3 yang memiliki [-Si -O -Al -O -Si -O -Si -O -] sebagai unit berulang.



Gambar 2.1. Tiga Bentuk Dasar Geopolimer.

Sumber : Davidovits 1999

- Reaksi geopolimer berbeda dengan reaksi pada semen, hal ini dapat dilihat pada penggunaan air saat akan mereaksikan bahan dasar. Air pada proses pencampuran dengan semen menghasilkan produk hidrasi semen berupa kalsium silikat hidrat dan kalsium hidroksida. Sedangkan pada proses geopolimerisasi, air hanya digunakan untuk memfasilitasi lebih mudahnya pekerjaan dan akan dihilangkan pada saat dilakukan curing. Oleh karena itu kedua proses ini memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat mekanik dan kimia dari beton geopolimer yang dihasilkan menjadi lebih tahan terhadap panas, masuknya air, reaksi alkali-agregat, dan terhadap berbagai jenis serangan kimia (Davidovits, 2008; Lloyd & Rangan, 2009)

Material Penyusun Beton Geopolimer

- Bahan dasar untuk pembuatan beton geopolimer adalah mineral alami yang kaya akan Si dan Al, contohnya adalah tanah liat, fly ash tipe C dan F. Untuk beton geopolimer dengan bahan dasar fly ash unsur kalsium perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan flash setting pada beton geopolimer (Lloyd & Rangan, 2009)
- Dalam pembuatan beton geopolimer dibutuhkan larutan alkaline activator untuk mengikat agregat menjadi beton geopolimer. Activator yang banyak digunakan adalah campuran antara Na_2SiO_3 dan NaOH dengan konsentrasi antara 8M hingga 14M dan ratio Na_2SiO_3 dan NaOH antara 0.4 sampai 2.5. (Hardjito et al, 2004a). NaOH berperan dalam pembentukan formasi zeolit, sedang Na_2SiO_3 dalam larutan aktivator berperan dalam meningkatkan kuat tekan karena mempercepat terjadinya reaksi pada proses polimerisasi.

- Selain itu larutan alkaline activator juga mempengaruhi workability beton pada saat pengecoran, semakin pekat larutan alkaline activator semakin rendah workability yang didapatkan karena jumlah air yang ada pada campuran lebih sedikit. Dengan semakin sedikitnya jumlah air yang ada pada campuran, maka kuat tekan pada beton tersebut menjadi lebih tinggi. Teori yang sama juga terjadi dengan beton konvensional, dimana jumlah air yang digunakan pada proses pencampuran semakin sedikit maka kuat tekan yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.
- Selain itu dengan semakin pekatnya larutan yang dipakai pada alkaline activator, maka proses pengikatan awal akan berlangsung semakin cepat pula (Ekaputri & Triwulan, 2007).

Mix Design Beton Geopolimer

- Perbedaan utama antara beton geopolimer dan beton konvensional adalah unsur pengikatnya (Lloyd & Rangan, 2009). Silikon dan aluminium oksida dalam fly ash rendah kalsium bereaksi dengan alkaline liquid untuk membentuk pasta geopolimer yang mengikat agregat kasar, halus dan bahan lain untuk membentuk beton geopolimer. Kekuatan tekan dan workability (kemudahan pekerjaan) dipengaruhi oleh material penyusun dan yang membentuk pasta geopolimer. Dari penelitian yang dilakukan oleh Hardjito & Rangan, 2005 didapatkan hasil sebagai berikut :
 - - Sebuah konsentrasi molar yang lebih tinggi dari sodium hidroksida menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang lebih tinggi.
 - - Semakin tinggi rasio larutan sodium silikat pada massa larutan sodium hidroksida, semakin tinggi kuat tekan beton geopolimer.
 - - Nilai slump beton geopolimer segar meningkat ketika kadar air dalam campuran meningkat.
 - - Apabila nilai molar rasio H_2O/Na_2O meningkat, kekuatan tekan beton geopolimer menurun.
 - - Pengaruh rasio molar Na_2O/Si_2O pada kekuatan tekan beton geopolimer tidak signifikan.

- Beton geopolimer berbasis fly ash rendah kalsium (ASTM kelas F) lebih disukai bila dibandingkan dengan fly ash dengan kadar kalsium tinggi ASTM kelas C), karena dengan adanya jumlah kalsium yang tinggi dapat mengganggu proses polimerisasi dan mengubah struktur mikro). Interaksi dari berbagai parameter pada kuat tekan dan pengerjaan beton geopolimer kompleks, sehingga untuk membantu desain geopolimer beton berbasis low calcium fly ash dibuatlah satu parameter yaitu water to geopolymer solid ratio dimana massa total air adalah jumlah massa air yang terkandung dalam larutan sodium silikat, massa air yang digunakan dalam membuat larutan sodium hidroksida, dan massa air tambahan yang ada dalam campuran.
- Sedangkan massa geopolimer adalah jumlah massa fly ash, massa sodium hidroksida padat yang digunakan untuk membuat larutan sodium hidroksida, dan massa padat di larutan sodium silikat (massa Na_2O dan SiO_2). Dari hasil penelitian ini disimpulkan apabila water / geopolymer solid ratio meningkat, maka kuat tekan beton geopolimer akan menurun (Hardjito & Rangan, 2005).
- Kriteria kinerja campuran beton geopolimer tergantung pada aplikasinya. Sebagai acuan dalam membuat desain beton geopolimer (dengan criteria workability dan kuat tekan), digunakan parameter alkaline liquid / fly ash by mass, water / geopolymer solids ratio by mass, mixing time, and heat curing temperature (Hardjito & Rangan, 2005)

Komposisi Kimia

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Abu Cangkang Sawit [17]

No	Senyawa Kimia	Abu Cangkang Sawit (% berat)
1	SiO ₂	15,27
2	Fe ₂ O ₃	4,71
3	CaO	38,28
4	K ₂ O	5,04
5	MgO	4,34
6	Al ₂ O ₃	2,67
7	P ₂ O ₅	2,88
8	SO ₃	2,15
9	Na ₂ O	20,68
10	Cl	1,42
11	Senyawa lain	2,56

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Abu Serabut Kelapa[19]

Senyawa Kimia	Abu Serabut Kelapa (% berat)
Al ₂ O ₃	2,990
SiO ₂	43,990
MgO	4,350
Na ₂ O	11,470
K ₂ O	21,690
CaO	6,720
SO ₃	2,300
Fe ₂ O ₃	2,110

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Abu Sekam Padi[16]

Senyawa Kimia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
H.Than le, et al (2014)	86,81	0,5	0,87	1,04	0,85	-	0,69	3,16	4,6
H.Chou Lung, et al	91,00	0,35	0,41	-	0,81	1,21	0,08	3,21	8,5
R.Zerbino (2011)	95,04	0,3	0,44	1,25	0,45	0,01	0,09	1,04	0,51

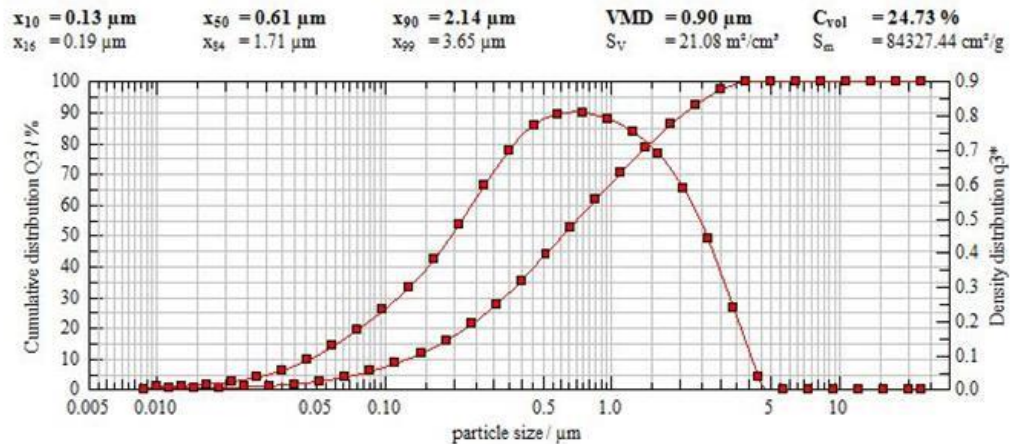
Tabel 3.1 Komposisi *Fly Ash* Kelas F Berdasarkan Tes XRF

Komponen	Persen (%)
SiO ₂	52,2
Al ₂ O ₃	38,6
Fe ₂ O ₃	2,9
CaO	0,7
Na ₂ O	0,5
K ₂ O	0,4
Mgo	0,5
SO ₃	1,2
SO ₂	-
LOI	1,4

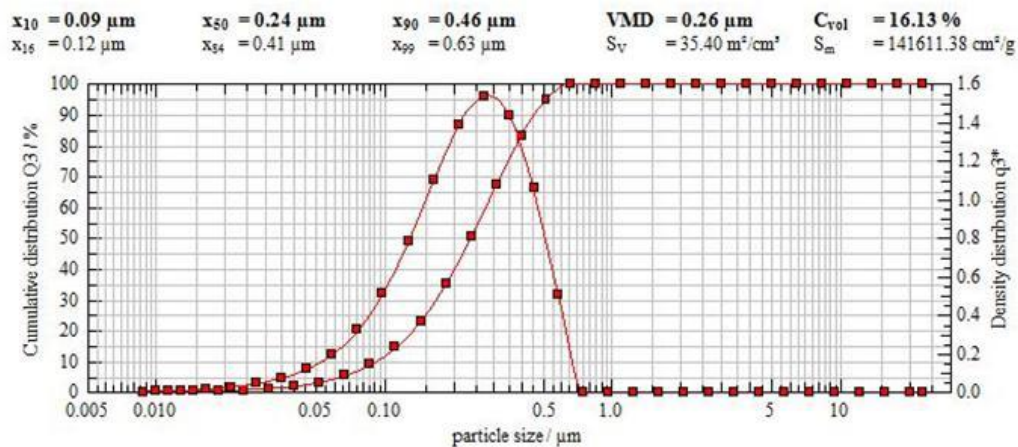
(Sumber: Ekaputri dkk, 2014)

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pemeriksaan Ukuran Partikel Flyash



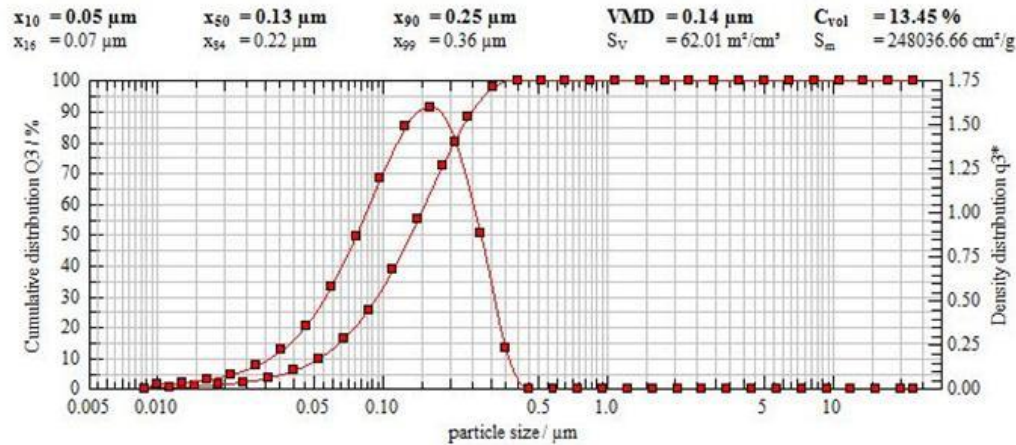
Zona 1



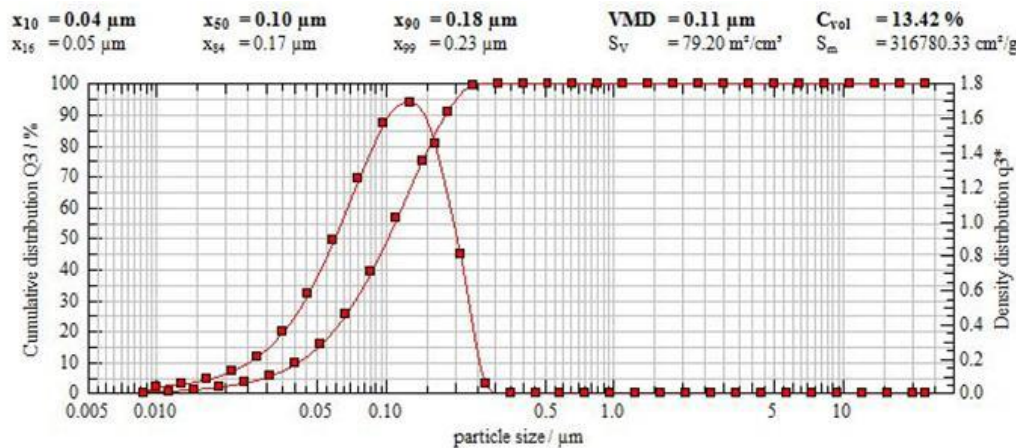
Zona 2

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pemeriksaan Ukuran Partikel Flyash



Zona 3

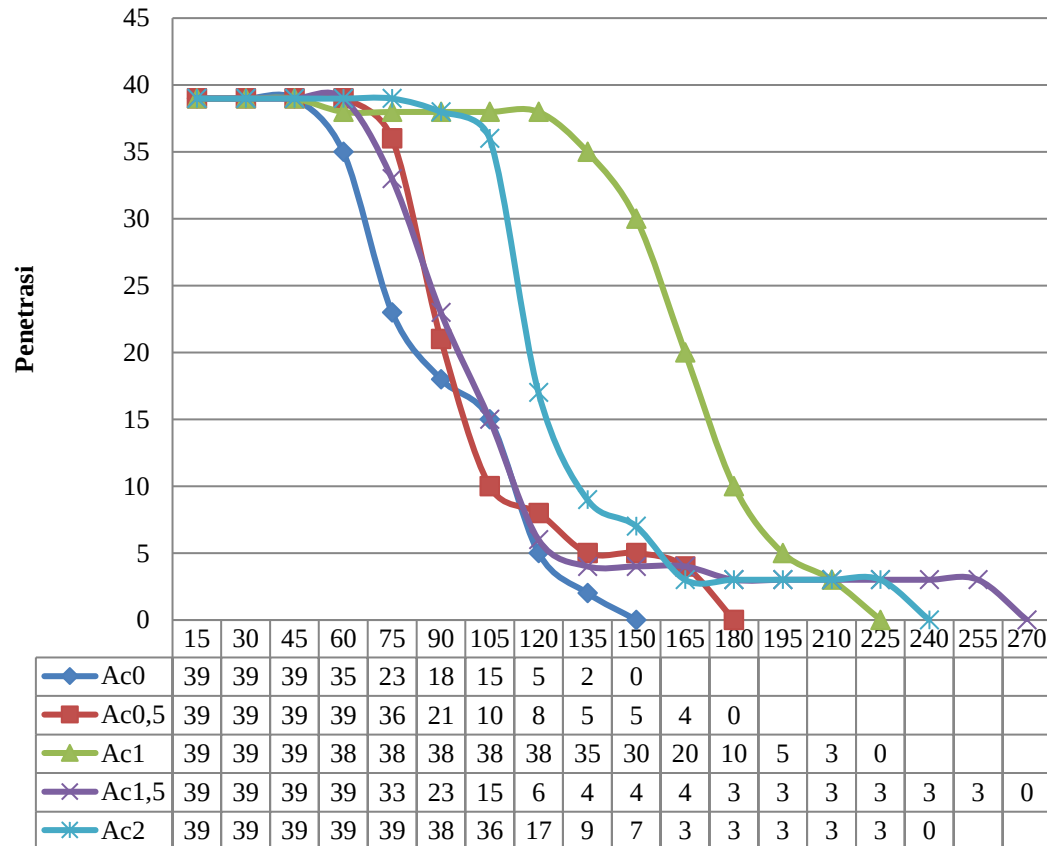


Zona 4

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Setting Time

Zona 0

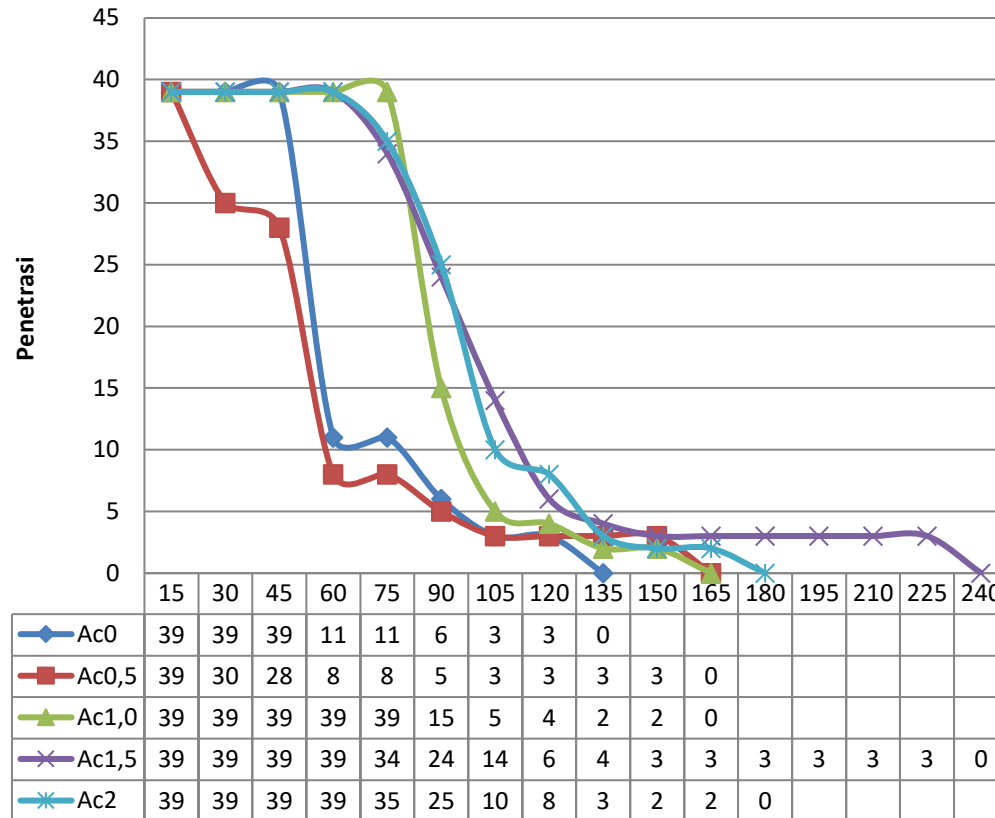


Kurva Hubungan Waktu dengan Penetrasi

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Setting Time

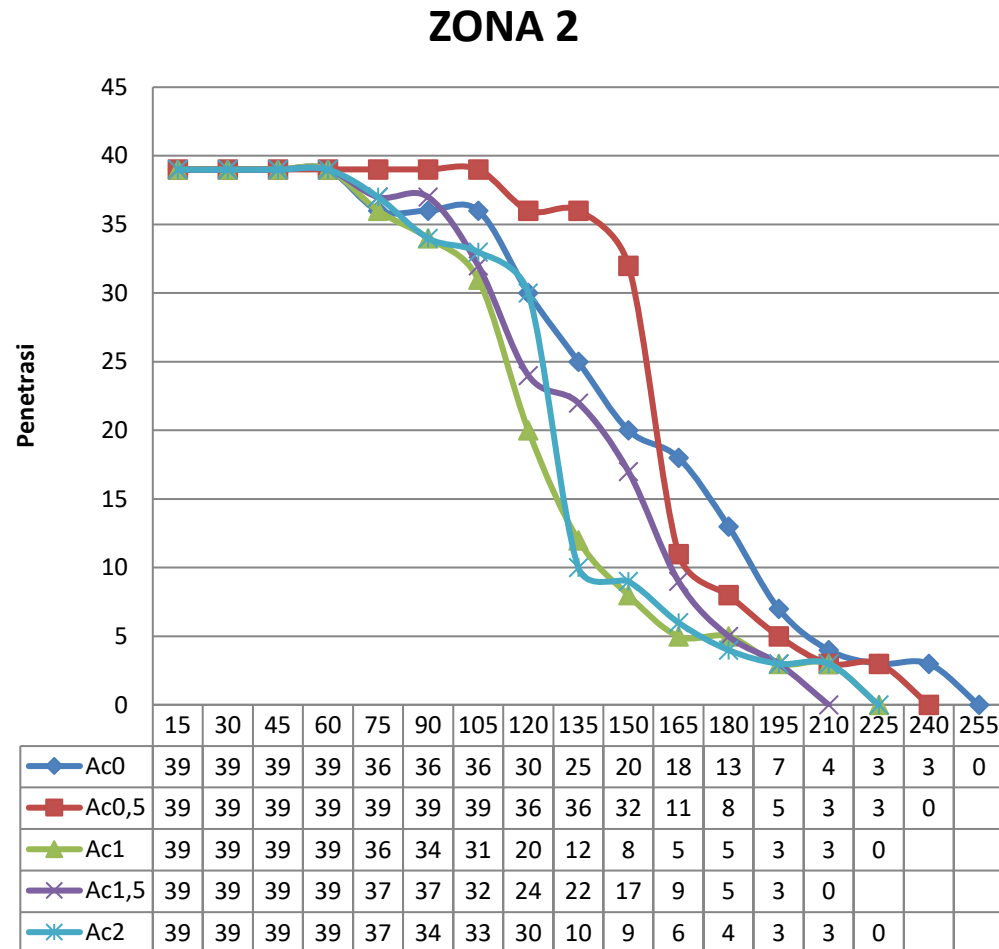
Zona 1



Kurva Hubungan Waktu dengan Penetrasi

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Setting Time

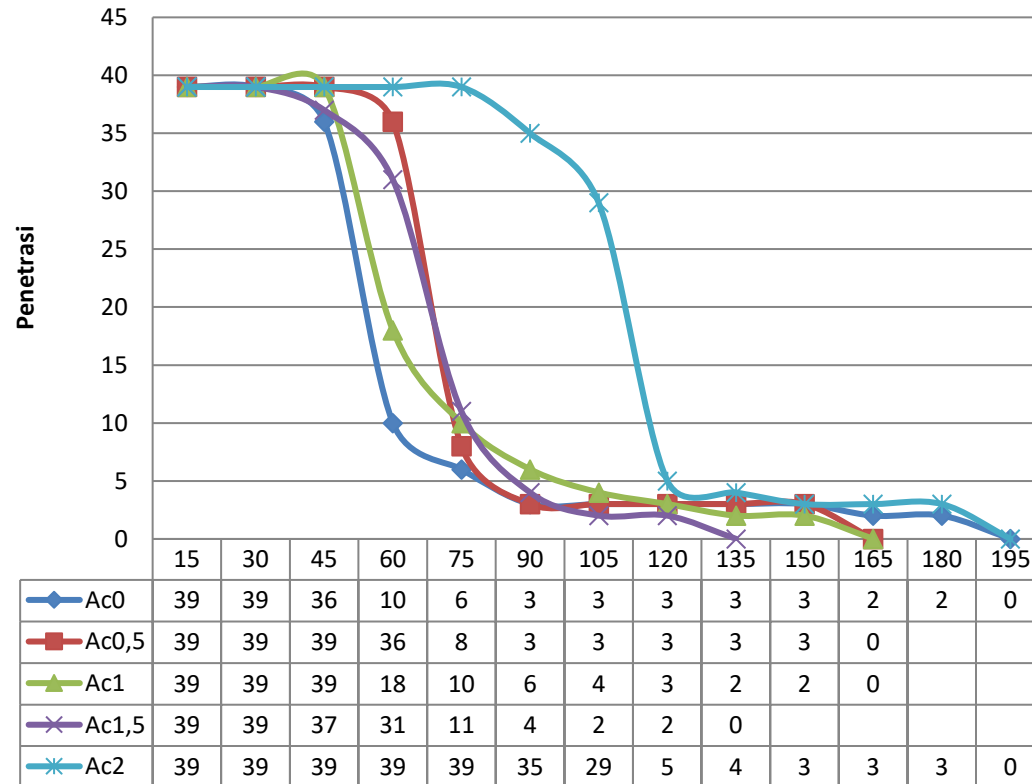


Kurva Hubungan Waktu dengan Penetrasi

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Setting Time

ZONA 3

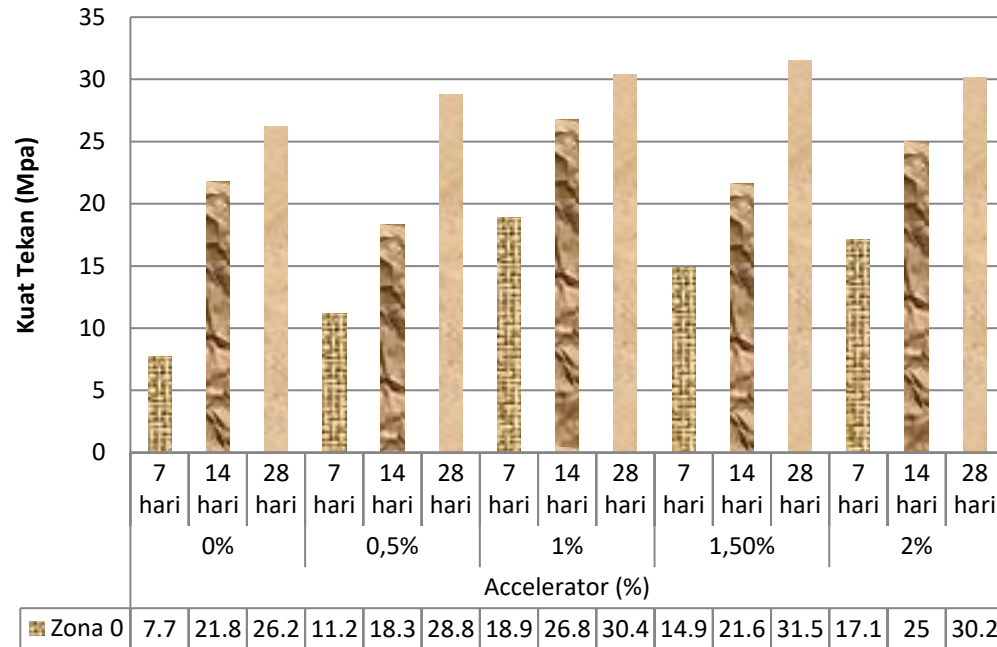


Kurva Hubungan Waktu dengan Penetrasi

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Kuat Tekan Mortar Beton Geopolimer

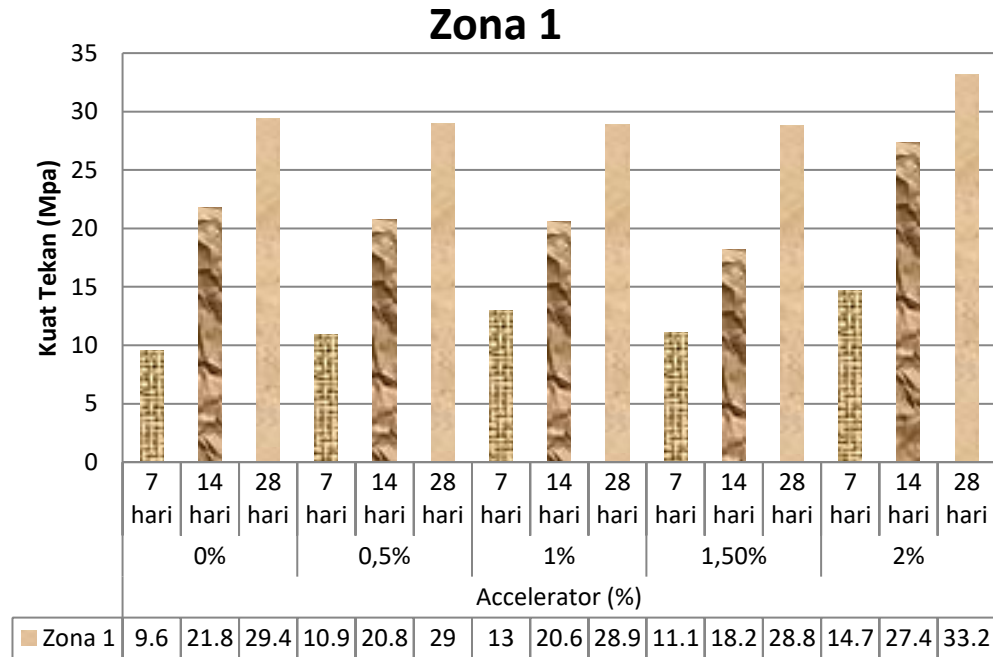
Zona 0



Kurva Hubungan Kuat Tekan dengan Umur

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Kuat Tekan Mortar Beton Geopolimer

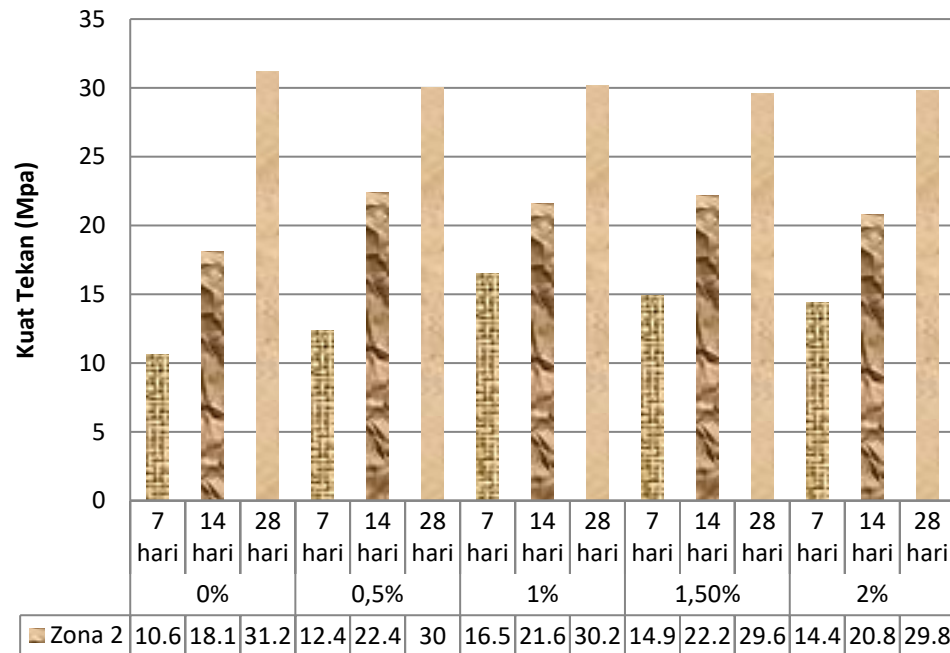


Kurva Hubungan Kuat Tekan dengan Umur

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Kuat Tekan Mortar Beton Geopolimer

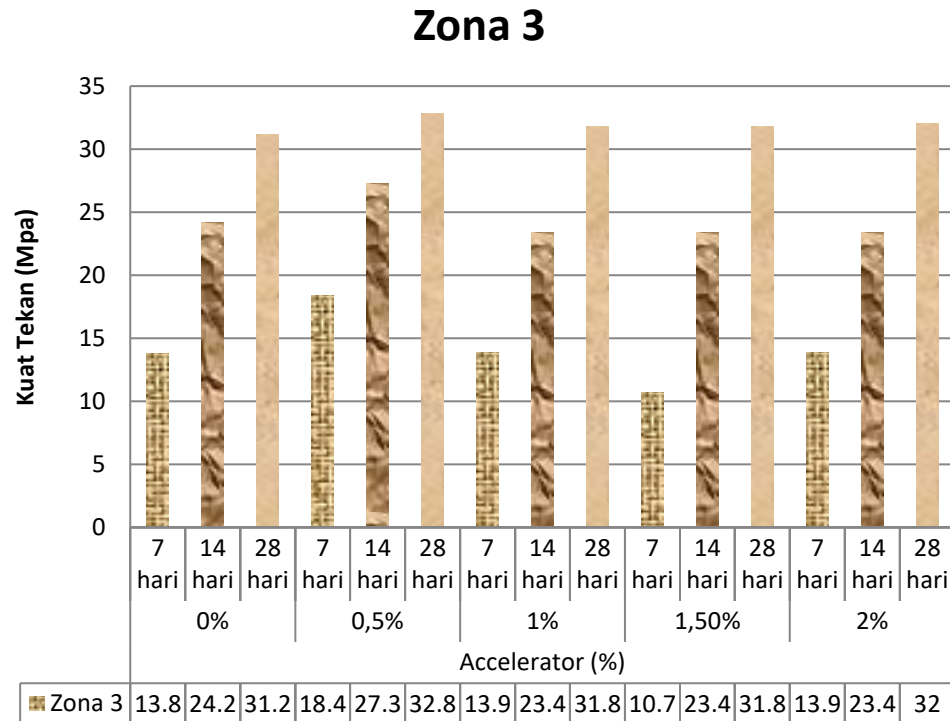
Zona 2



Kurva Hubungan Kuat Tekan dengan Umur

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian Kuat Tekan Mortar Beton Geopolimer

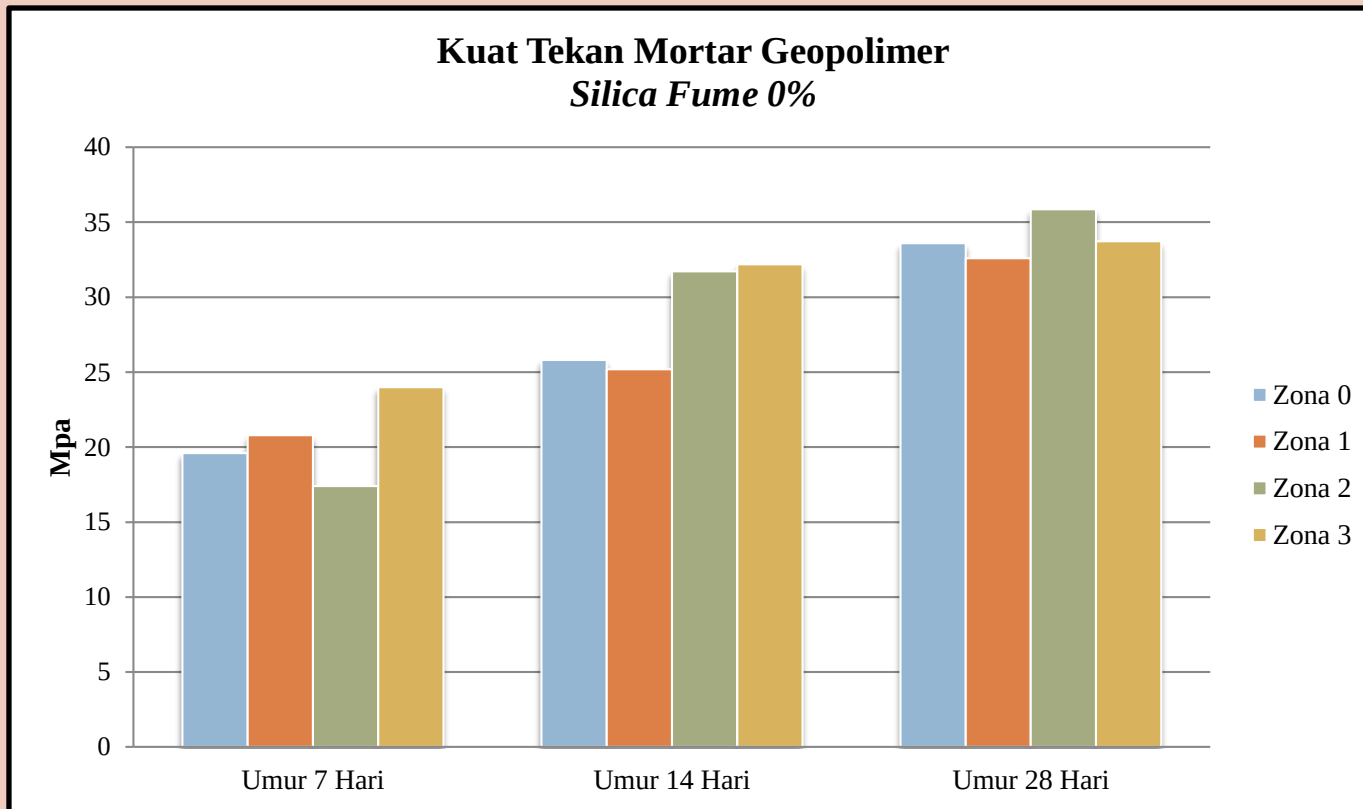


Kurva Hubungan Kuat Tekan dengan Umur

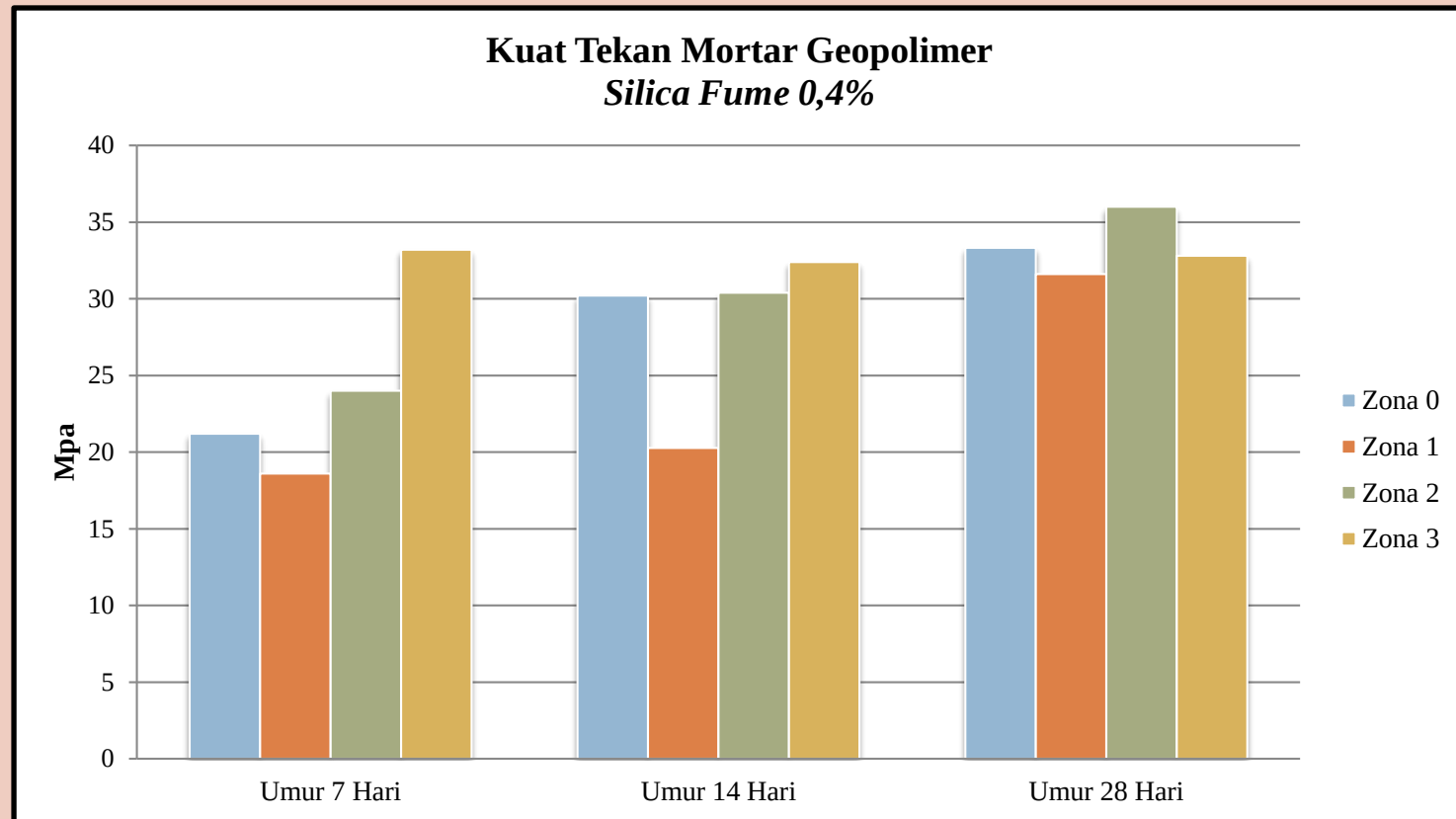
Kesimpulan

- Tingkat kehalusan *Fly Ash* dalam penambahan *rasio accelerator* mempengaruhi *setting time* mortar beton geopolimer, untuk zona 0 dan 1 semakin bertambahnya *rasio accelerator* yang ditambahkan maka *setting time* mortar beton geopolimer semakin lama sedangkan untuk zona 2 dan 3 semakin bertambahnya *rasio accelerator* yang ditambahkan maka *setting time* mortar beton *geopolymer* semakin cepat. Hal ini dikarenakan butiran-butiran *fly ash* zona 2 dan 3 lebih halus dibandingkan *fly ash* zona 0 dan 1.
- Pada beton geopolimer dengan aktivator kalium, *setting time* paling cepat ada benda uji K-Z0-A0 dan K-Z3-A0,5 dan kuat tekan yang dicapai 26,2 Mpa dan 31,8 Mpa. Sedangkan untuk *setting time* paling lama ada pada K-Z0-A1,5 dengan total *setting time* 270 m dan kuat tekan 31,5 Mpa.
- Peningkatan kandungan *accelerator* pada campuran mortar beton geopolimer tidak memberikan kontribusi yang besar dalam peningkatan kuat tekan mortar beton *geopolymer*.

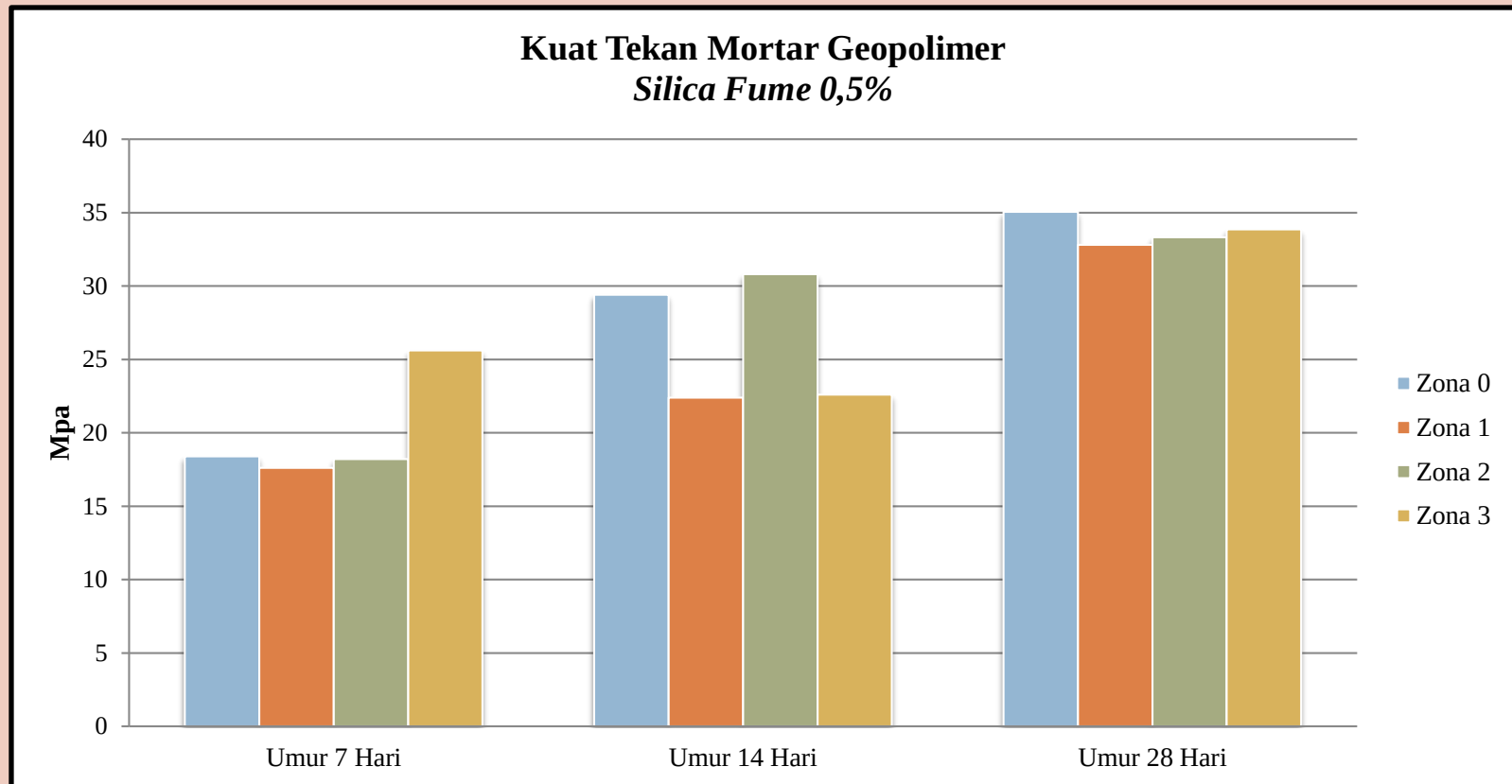
GRAFIK PENGUJIAN KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER RASIO 0%



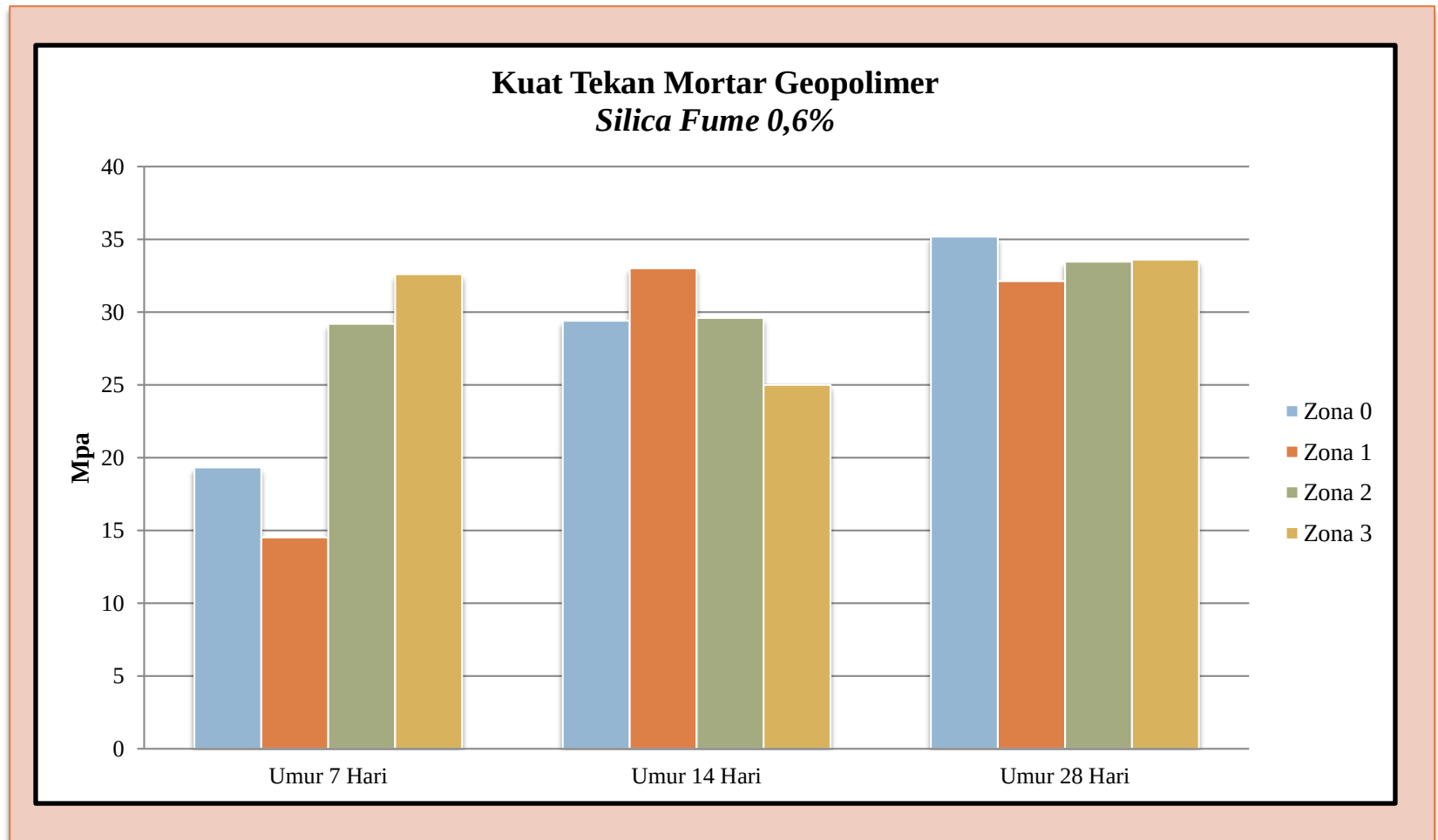
GRAFIK PENGUJIAN KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER RASIO 0,4%



GRAFIK PENGUJIAN KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER RASIO 0,5%



GRAFIK PENGUJIAN KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER RASIO 0,6%



KESIMPULAN

Dalam menggunakan *Potassium Hydroxide* dengan *Silica Fume* sebagai bahan aktivator pembuatan mortar geopolimer, penggunaan agregat halus (*Fly Ash*) tidak bisa menggunakan *Fly Ash* yang terlalu halus maupun terlalu kasar. Pengaruh penambahan *Silica Fume* juga membuat nilai kuat tekan mortar geopolimer menjadi tidak teratur.

Dapat dilihat dengan jelas bahwa sample pada zona 2 dengan rasio 0,4% dalam umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan yang paling tinggi yaitu mencapai 36 Mpa. Sedangkan nilai kuat tekan yang terendah dihasilkan oleh zona 1 dengan rasio 0,4% sebesar 31,6 Mpa.

Gambar-gambar Penelitian





Penyaringan Material Fly Ash



Material Fly Ash Hasil Penyaringan



Benda uji yang telah dibuka dari cetakan



Pengujian kuat tekan mortar beton geopolimer