PENGARUH CAMPURAN LIMBAH PLASTIK HDPE TERHADAP MUTU BETON TANPA SEMEN PORTLAND

Dora Melati Nurita Sandi[1], Yuni Ulfiyati[2], Ayu Wanda Febriandst[3]
Jl. Raya Jember KM 13, Labanasem, Kec. Kabat, Kabupaten Banyuwangi
E-mail: doranurita@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian dengan judul Pengaruh campuran limbah plastik HDPE terhadap mutu beton tanpa semen portland mengusung konsep kombinasi beton geopolymer dan beton ringan. Beton geopolymer merupakan beton tidak menggunakan semen portland sebagai material bindernya atau pengikatnya, sedangkan beton ringan merupakan beton yang memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/cm^3. Beton geopolymer menggunakan abu terbang atau fly ash dari limbah batu bara. Fly ash yang digunakan adalah fly ash tipe C dengan kandungan CaO > 10%. Senyawa aktivator yang digunakan adalah NaOH 10 Molar dan Na_2SiO_3 10M. Perbandingan komposisi NaOH : Na_2SiO_3 adalah 2:5. Limbah plastik HDPE digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar. Komposisi HDPE yang digunakan adalah 0%, 10%, 15% dan 20%. Dari hasil pengujian kuat tekan beton geopolymer dengan substitusi HDPE, diperoleh kuat tekan pada beton geopolymer substitusi HDPE 0% sebesar 30.48 MPa. Kuat tekan beton geopolymer substitusi HDPE 10% sebesar 24.92 Mpa. Kuat tekan beton geopolymer substitusi HDPE 15% sebesar 28.71 Mpa. Kuat tekan beton geopolymer substitusi HDPE 20% sebesar 20.10 Mpa.

Kata kunci: *Beton Geopolymer, Beton Ringan, HDPE*

ABSTRACT

Research with the title Effect of HDPE plastic waste mix on the quality of concrete without Portland cement carries the concept of a combination of geopolymer concrete and lightweight concrete. Geopolymer concrete is a concrete that does not use portland cement as its binder or binding material, while lightweight concrete is a concrete which has a specific gravity below 1800 kg / cm3. Geopolymer concrete uses fly ash from coal waste. Fly ash used is type C fly ash with a CaO content of> 10%. Activator compounds used are 10 Molar NaOH and 10M Na2SiO3. Comparison of NaOH: Na2SiO3 composition is 2: 5. HDPE plastic waste is used as a partial replacement for coarse aggregate. The composition of HDPE used is 0%, 10%, 15% and 20%. From the results of compressive strength testing of geopolymer concrete with HDPE substitution, obtained compressive strength on geopolymer concrete with 0% HDPE substitution of 30.48 MPa. Compressive strength of 10% HDPE substitution geopolymer concrete is 24.92 Mpa. Compressive strength of 15% HDPE substitution geopolymer concrete is 28.71 MPa. Compressive strength of 20% HDPE substitution of geopolymer concrete by 20.10 Mpa.

Keywords*: Geopolymer Concrete, Lightweight Concrete, HDPE*

PENDAHULUAN

Beton merupakan produk yang dikonsumsi paling banyak di dunia, selain air.Konsumsi semen portland di dunia pada tahun 2015 sekitar 4.193 juta ton, sedangkan di Indonesia kurang lebih 60 juta ton per tahun. Pembangunan dunia untuk banyak sektor tidak terlepas dari beton. Industri beton termasuk pengguna sumber daya alam terbesar di dunia. (Rulli Ranastra Irawan, 2017)

Proses produksi semen portland membutuhkan pembakaran, dimana dalam pembakaran menghasilkan gas CO2. Produksi satu ton semen portland menghasilkan limbah gas CO2 sebanyak satu ton. Sehingga produksi beton, menyumbang 5% produksi CO2 di dunia setiap tahunnya.

Green concrete mulai dikembangkan dengan mengusung beton sebagai bahan bangunan yang memberikan pengaruh lebih sedikit terhadap lingkungan melalui penggantian material atau pengurangan material yang digunakan. Material-material penyusun yang digantikan adalah semen dan agregat.

Istilah (*Cementless Concrete / Concrete*) diperkenalkan pertama kali pada tahun 1978 oleh Prof. Joseph Davidovits. Beton atau beton tanpa semen terdiri dari Bahan Pengikat (Binders), Bahan Pengisi (Agregat) dan Bahan Tambah. Penggunaan bahan bersifat semen (SCM) untuk mengganti sebagian atau seluruh semen portland dalam beton. Material yang bersifat semen adalah material yang mengandung silika yang tinggi, diantaranya ialah abu batu bara, trass, slag dan lain-lain.

Berdasarkan pada penyediaan listrik nasional di Indonesia dalam paket 35000 MW didominasi oleh PLTU Batu Bara (80%) yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Produksi listrik menghasilkan material samping berupa abu batu bara yang tidak termanfaatkan. Melimpahnya abu batu bara yang tidak termanfaatkan menjadikan

dasar pemikiran untuk digunakan 100% pengganti material semen.

Salah satu prinsip dari *green concrete* adalah dengan penggunaan bahan yang didaur ulang sebagai pengganti agregat. Bahan pengisi atau agregat pada beton dilakukan penggantian sebagian dengan agregat buatan dari limbah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*). Plastik HDPE merupakan jenis *polietilena termoplastik* yang tidak larut dalam pelarut apapun pada suhu kamar. Polimer ini juga tahan terhadap asam dan basa. Penggunaan plastik HDPE selain bertujuan mengurangi limbah, juga bertujuan untuk membuat beton ringan (*lightweight concrete*). Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (density) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Beton ringan bisa disebut sebagai beton ringan aerasi (Aerated Lightweight Concrete/ALC) atau sering disebut juga (Autoclaved Aerated Concrete/ AAC). Pada umumnya berat beton ringan berkisar antara 600 – 1600 kg/m3. Karena itu keunggulan beton ringan utamanya ada pada berat, sehingga apabila digunakan pada proyek bangunan tinggi (*high rise building*) akan dapat secara signifikan mengurangi berat sendiri bangunan, yang selanjutnya berdampak kepada perhitungan pondasi.

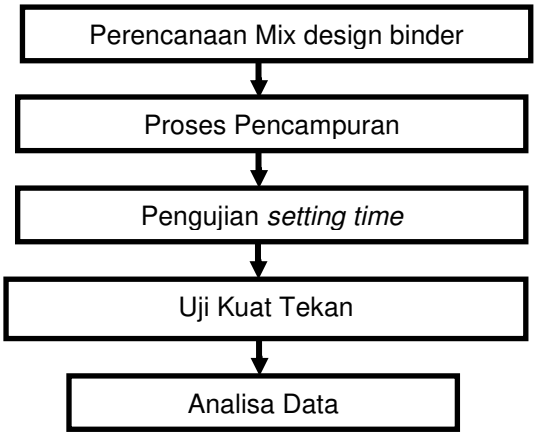
METODE

Penelitian dengan judul Pengaruh campuran limbah plastik HDPE terhadap mutu beton tanpa semen portland mengusung konsep kombinasi beton geopolymer dan beton ringan. Beton geopolymer merupakan beton tidak menggunakan semen portland sebagai material bindernya atau pengikatnya, sedangkan beton ringan merupakan beton yang memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/cm3. Material binder sebagai pengganti semen yang digunakan pada penelitian ini adalah fly ash batu bara tipe C dan menggunakan NaOH serta Na2SiO3 sebagai bahan aktivatornya. Material agregat dilakukan pergantian sebagian dengan agregat buatan dari palstik HDPE.

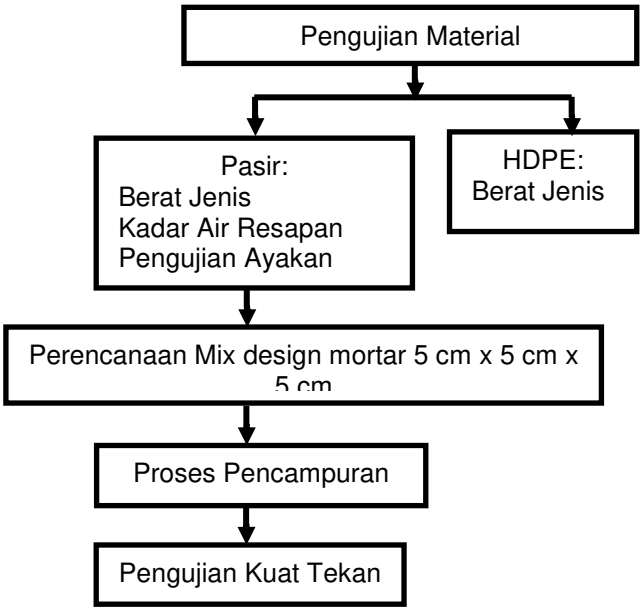
Berdasarkan penelitian Januarti Eka Jayaputri (2007) dengan judul Sifat Mekanik Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif, kuat tekan beton geopolymer tertinggi adalah beton dengan binder fly ash batu bara tipe F serta menggunakan bahan aktivator Na2SiO3 dan NaOH perbandingan 1.5 sebanyak 10 Molar. Kuat tekan yang dihasilkan sebesar 50 MPa. Pada penelitian ini, digunakan Fly ash tipe C dikarenakan kandungan CaO > 10%, bahan aktivator Na2SiO3 dan NaOH perbandingan 5:2 serta superplastisizer sebesar 0.5% dari berat binder.

Beton geopolymer dengan agregat kerikil dan pasir digunakan sebagai pembanding terhadap beton geopolymer dengan campuran plastik HDPE. Plastik HDPE digunakan sebagai campuran Agregat kasar. Variasi campuran plastik HDPE yang digunakan sebesar 10%, 15% dan 20% dari total berat agregat kasar. Dengan membandingkan beton geopolymer tanpa campuran plastik HDPE dan beton geopolymer dengan campuran plastik HDPE, diketahui pengaruh plastik HDPE terhadap mutu beton geopolymer. Jika plastik HDPE berdampak mengurangi mutu beton geopolymer, maka dapat dilakukan perencanaan komposisi untuk memperoleh beton geopolymer yang ringan dan mutu tinggi.

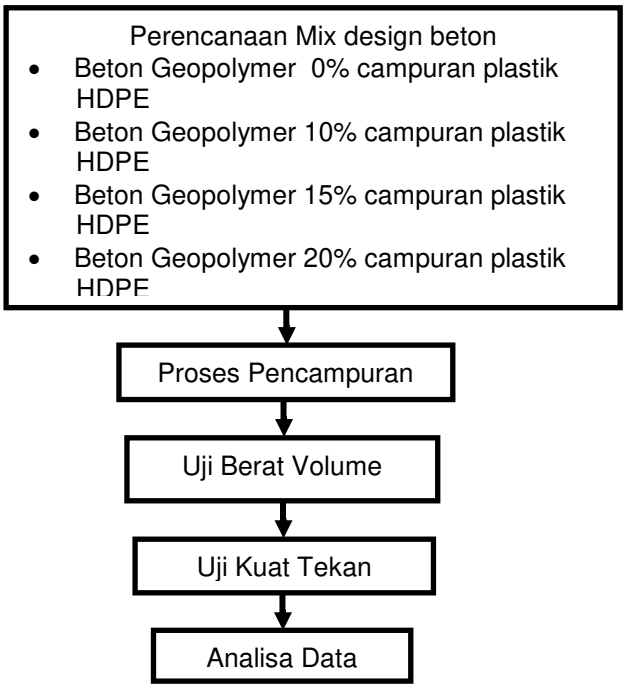
Kerangka konseptual dalam penelitian ini menjelaskan alur dari penelitian. Secara skematis, langkah – langkah tersebut disajikan dalam gambar di bawah ini:



Gambar 1. Kerangka Konseptual Karakteristik Material Binder



Gambar 2. Kerangka Konseptual Karakteristik Material Mortar



Gambar 3. Kerangka Konseptual Pengujin Pengaruh Campuran Plastik HDPE

HASIL DAN PEMBAHASAN

- **Karakteristik Binder**

Binder yang akan dilakukan pengujian, ada dua jenis. Binder tipe B1 dengan komposisi Fly Ash, Air dan NaOH. Binder tipe B dengan komposisi Fly Ash, Air, NaOH dan Na2SiO3. Dua tipe binder dibuat untuk mengetahui pengaruh sodium silikat terhadap campuran beton nantinya.

- **Binder Tipe B1**

Pengujian yang dilakukan terhadap binder tipe A adalah uji setting time dan kuat tekan. Berdasaran kerangka konseptual pada Gambar 3.1, langkah awal yang harus dilakukan adalah perencanaan mix design. Dalam perencanaan mix design untuk menghitung komposisi binder. Dimana komposisi tersebut terdiri dari 74% fly ash tipe C, dan aktivator NaOH 26%, dimana NaOH yang digunakan dengan konsentrasi 10 M. Perencanaan mix design ditampilkan pada (**Tabel 1**) berikut.

Tabel 1. Perencanaan Komposisi Binder Tipe B1

Bahan	1benda Uji
Fly Ash	225,412 gram
NaOH	24,249 gram

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

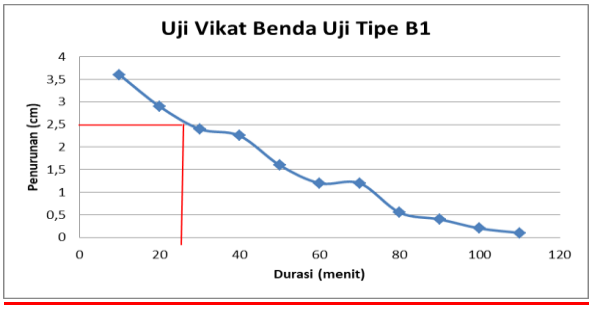
- **Uji Vikat**

Pelaksanaan uji vikat dilakukan berdasarkan SNI 03-6827-2002, dengan tujuan untuk mengetahui konsistensi normal dan waktu ikat awal binder. Hasil uji vikat binder tipe A, disajikan pada (**Tabel 2**) dan (**Gambar 4**).

Tabel 2. Hasil Uji Vikat Benda Uji Tipe B1

Waktu	Durasi (menit)	Hasil penurunan (cm)
15.28	10	3,6
15.38	20	2,9
15.48	30	2,4
15.58	40	2,25
16.08	50	1,6
16.18	60	1,2
16.28	70	1,2
16.38	80	0,55
16.48	90	0,4
16.58	100	0,2
17.08	110	0,1

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti



Gambar 4. Penurunan Dengan Durasi Pada Uji Vikat Benda Uji Tipe B1

Hasil uji vikat pada tabel 2, dibuat grafik hubungan durasi dengan penurunan. Dari grafik, diperoleh penurunan 2,5 cm pada durasi ke 28 menit. Berdasarkan SNI 03-6827-2002, lama waktu ikat binder ditentukan berdasarkan penetrai jarum ikat mencapai 25 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lama waktu ikat awal binder selama 28 menit.

Gambar 5. Material Campuran Binder (NaOH dan Fly Ash) dan Uji Vikat

Gambar 5 merupakan proses pengujian vikat binder tipe B1. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Beton, Program Studi Teknik Sipil,

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi. Proses pengujian berdasarkan SNI 03-6827-2002, dan digunakan durasi penetrasi jarum vikat 10 menit.

- **Binder Tipe B2**

Pengujian yang dilakukan terhadap binder tipe B adalah uji *setting time* dan kuat tekan. Berdasaran kerangka konseptual pada Gambar 3.1, langkah awal yang harus dilakukan adalah perencanaan mix design. Dalam perencanaan mix design untuk menghitung komposisi binder. Dimana komposisi tersebut terdiri dari 74% fly ash tipe C, dan aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 26%, proporsi campuran NaOH : Na_2SiO_3 adalah 2:5. Perencanaan mix design ditampilkan pada (**Tabel 3**) berikut.

Tabel 3. Perencanaan Komposisi Binder Tipe B2

Bahan	1benda Uji
Fly Ash	185.341 gram
NaOH	8.456 ml
Na_2SiO_3	21.142 ml

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

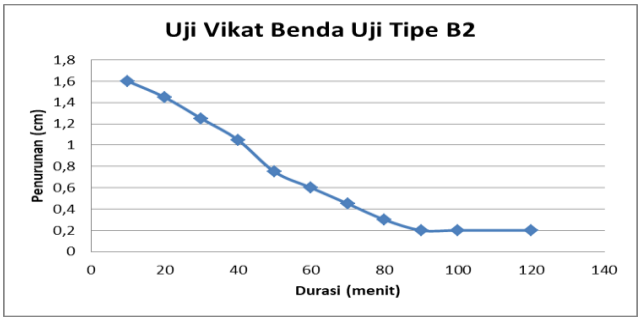
- **Uji Vikat**

Pelaksanaan uji vikat dilakukan berdasarkan SNI 03-6827-2002, dengan tujuan untuk mengetahui konsistensi normal dan waktu ikat awal binder. Hasil uji vikat binder tipe B, disajikan pada (**Tabel 4**) dan (**Gambar 6**).

Tabel 4. Hasil Uji Vikat Benda Uji Tipe B2

Waktu	Durasi (menit)	Hasil penurunan (cm)
15.43	10	1,6
16.53	20	1,45
17.03	30	1,25
17.13	40	1,05
17.23	50	0,75
17.33	60	0,6
17.43	70	0,45
17.53	80	0,3
18.03	90	0,2
18.13	100	0,2
18.23	120	0,2

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti



Gambar 6 Penurunan Dengan Durasi Pada Uji Vikat Benda Uji Tipe B

Hasil uji vikat pada (**Tabel 4**), dibuat grafik hubungan durasi dengan penurunan. Berdasarkan SNI 03-6827-2002, lama waktu ikat binder ditentukan berdasarkan penetrai jarum ikat mencapai 25 mm. Dari hasil pengujian, penurunan maksimum dicapai adalah 16 mm dengan durasi 10 menit. Untuk memperoleh penetrasi jarum ikat mencapai 25 mm, maka dilakukan ekstrapolasi, dan diperoleh durasi 5 detik, Sehingga dapat disimpulkan bahwa lama waktu ikat awal binder 5 detik.

Gambar 7. Material Campuran Binder

Gambar 8. Uji Vikat

Gambar 7 dan **8** merupakan proses pengujian vikat binder tipe B2. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Beton, Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi. Binder tipe B2, menggunakan NaOH dan Sodium silikat sebagai aktivator. Dimana masing-masing digunakan konsentrasi 10 Molaritas. Proses pengujian berdasarkan SNI 03-6827-2002, dan digunakan durasi penetrasi jarum vikat 10 menit.

- **Karakteristik Mortar**

Pengujian mortar dilakukan guna identifikasi awal karakter dari beton geopolymer. Mortar dibuat dengan dua tipe aktivator yang berbeda. Dimana

mortar tipe M1 menggunakan aktivator NaOH saja, sedangkan mortar tipe M2 menggunakan aktivator NaOH dan Na_2SiO_3. Dilakukan pengujian material terlebih dahulu sebelum melakukan perencanaan mix design. Material yang di uji adalah pasir. Dilakukan pengujian berat jenis, kadar air resapan dan analisa saringan.

- **Pengujian Material**
  - Berat Jenis Pasir (SNI 03-6889-2002)

Pengujian berat jenis pasir berdasarkan SN 03-6889-2002, dilaksanakan di Laboratorium Beton, Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi. Hasil dari pengujian berat jenis pasir ditampilkan pada (**Tabel 5**).

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Picno + air + pasir	1649.5	1652.5	1655
Berat Pasir SSD	500	500	500
Berat Picno + air	1332.5	1337.5	1349
Berat Jenis Pasir	2.73	2.70	2.72
Berat Jenis Rata-rata		2.72	

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

Gambar 9. Proses Pengujian Berat Jenis

- Kadar Air Resapan Pasir

Pengujian kadar air resapan bertujuan untuk mengetahui sejauh mana agregat menyerap pasir. Kadar air resapan berhubungan dengan lama waktu beton mengeras. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Beton, Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi. Hasil dari pengujian berat jenis pasir ditampilkan pada (**Tabel 6**) berikut.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kadar Air Resapan

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Pasir SSD	100	100	100
Berat Pasir Kering Oen	98	98	98
Kadar Air Reasapan	2%	2%	2%
KAR Rata-rata		2%	

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

Gambar 10. Proses Pengujian Kadar Air Resapan

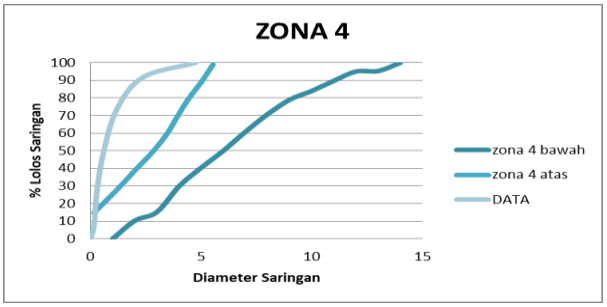
- Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk mengukur distribusi ukuran butiran. Agregat halus umumnya terdiri dari pasir dan partikel lain yang lolos saringan ASTM #4 sampai #100. (**Tabel 7**) berikut merupakan data hasil pengamatan dan perhitungan.

Tabel 7. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Saringan		Tinggal Pada Saringan		% kumulatif	
Nomor	mm	Gram	%	Tinggal	Lolos
4	4.75	0	0	0	100
8	2.38	81.5	8.15	8.15	91.85
16	1.19	181.0	18.1	26.15	73.75
30	0.59	243	24.3	50.55	49.45
50	0.297	212	21.2	71.75	28.25
100	0.149	211.5	21.1 5	92.9	7.1
Pan	0.00	71	7.1	100	0
Jumlah		1000	100	349.6	-

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti



Gambar 11. Grafik Pengelompokan Zona Pasir

Dari tabel 5.7 hasil pengamatan dan perhitungan, kemudian di plotkan pada grafik zona 1, 2, 3 dan 4. Dari pengeplotan, yang memenuhi adalah zona 4. Sehingga pasir dapat di kategorikan dalam zona 4.

- **Perencanaan Mix Design**
  - Mortar Tipe M1

Pada komposisi mortar tipe M1, senyawa aktivator yang digunakan adalah NaOH dengan komposisi 26% berat binder. Zat addictive tipe Superplastisizer digunakan untuk meningkatkan kuat tekan. Superplastisizer atau SP digunakan dengan variasi 0%, 0.5%, 1% dan 1.5% dari kebutuhan volume fly ash. Komposisi dari masing-masing campuran di sajikan pada (**Tabel 8**) berikut.

Tabel 8. Komposisi Campuran Mortar M1

Bahan	M1 SP 0%	M1 SP 0.5%	M1 SP 1%	M1 SP 1.5 %
Pasir	271,25 gram	271,25 gram	271,25 gram	271,25 gram
Fly Ash	61,05 gram	61,05 gram	61,05 gram	61,05 gram
NaOH	9.75 ml	9.75 ml	9.75 ml	9.75 ml
Air	3,75 ml	3,75 ml	3,75 ml	3,75 ml
SP	-	0,138 ml	0,275 ml	0,4165 ml

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

  - Mortar M2

Pada komposisi mortar tipe M2, senyawa aktivator yang digunakan adalah NaOH dan Na_2SiO_3 dengan komposisi 26% berat binder dimana perbandingan proporsi NaOH : Na_2SiO_3 adalah 2:5. Zat addictive tipe Superplastisizer digunakan untuk meningkatkan kuat tekan. Superplastisizer atau SP digunakan dengan variasi 0%, 0.5%, 1% dan 1.5% dari kebutuhan volume fly ash. Komposisi dari masing-masing campuran di sajikan pada (**Tabel 9)** berikut.

Tabel 9. Komposisi Campuran Mortar M2

Bahan	M2 SP 0%	M2 SP 0.5%	M2 SP 1%	M2 SP 1.5 %
Pasir	271,25 gram	271,25 gram	271,25 gram	271,25 gram
Fly Ash	61,05 gram	61,05 gram	61,05 gram	61,05 gram
NaOH	2.785 ml	2.785 ml	2.785 ml	2.785 ml
Na_2SiO_3	6.964 ml	6.964 ml	6.964 ml	6.964 ml
Air	3,75 ml	3,75 ml	3,75 ml	3,75 ml
SP	-	0,138 ml	0,275 ml	0,4165 ml

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

Gambar 12. Proses Mixing Mortar

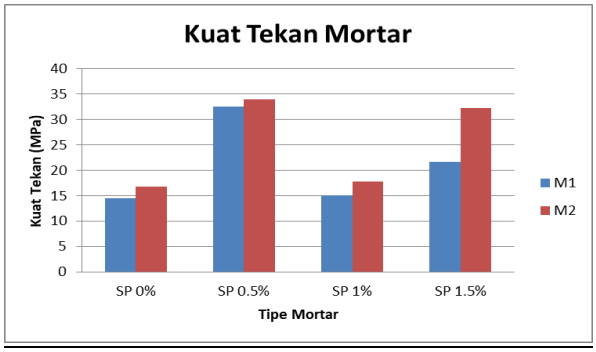
- **Uji Kuat Tekan**

Pengujian Kuat tekan pada mortar tipe M1dan M2 dilakukan pada umur 28 hari, tanpa dilakukan curing. Mortar yang berumur 1 hari dikeluarkan dari cetakan, kemudian diletakkan di dalam suhu ruangan. (**Tabel 10**) berikut merupakan hasil uji kuat tekan mortar tipe M1 dan M2.

Tabel 10. Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Tipe M1 dan M2

Tipe Mortar	Berat Volume (gram/cm^3)	Kuat Tekan	
M1 SP 0%	2.268	36.144 kN	14.45 MPa
M1 SP 0.5%	2.224	81.405 kN	32.56 MPa
M1 SP 1%	2.142	37.599 kN	15.03 MPa
M1 SP 1.5%	2.172	54.27 kN	21.70 MPa
M2 SP 0%	2.234	41.965 kN	16.78 MPa
M2 SP 0.5%	2.256	84.763 kN	33.90 MPa
M2 SP 1%	2.24	44.343 kN	17.73 MPa
M2 SP 1.5%	2.268	80.561 kN	32.22 MPa

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti



Gambar 13. Kuat Tekan Mortar M1 dan M2

- **Beton Geopplymer dengan Substitusi Plastik HDPE**

Tabel 11. Komposisi Beton Geopolymer

Bahan	B1 SP 0.5 % HDPE 0%	B2 SP 0.5 % HDPE 10%	B3 SP 0.5 % HDPE 15%	B4 SP 0.5 % HDPE 20%
Kerikil	4076.481 gram	4076.481 gram	4076.481 gram	4076.481 gram
HDPE	-	407.648 gram	611.471 gram	815.296 gram
Pasir	1686.825 gram	1686.825 gram	1686.825 gram	1686.825 gram
Fly Ash	2802.19 gram	2802.19 gram	2802.19 gram	2802.19 gram
NaOH	127.864 ml	127.864 ml	127.864 ml	127.864 ml
Na_2SiO_3	319.66 ml	319.66 ml	319.66 ml	319.66 ml
Air	382.11 ml	318.425 ml	318.425 ml	318.425 ml
SP	13.487 ml	13.487 ml	13.487 ml	13.487 ml

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

Tabel 12. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolymer

Tipe Mortar	Berat Volume (gram/cm^3)	Kuat Tekan	
B1 SP 0.5% HDPE 0%	2.077	685.873 kN	30.48 MPa
B2 SP 0.5% HDPE 10%	2.056	560.785 kN	24.92 MPa
B3 SP 0.5% HDPE 15%	2.043	646.134 kN	28.71 MPa
B4 SP 0.5% HDPE 20%	2.013	452.458 kN	20.10 MPa

Sumber : Hasil Pengolahan Peneliti

KESIMPULAN

Hasil uji kuat tekan mortar tipe M1 (aktivator NaOH) dengan tambahan SP 0.5% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 32.56 Mpa. Hasil uji kuat tekan mortar tipe M2 (aktivator NaOH dan Na_2SiO_3) dengan tambahan SP 0.5% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 33.90 Mpa. Perencanaan mix desig beton geopolimer menggunakan aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 serta bahan tambah zat addictive superplastisizer sebanyak 0.5% dari berat binder. Hasil uji kuat tekan beton geopolymer substitusi HDPE 0% sebesar 30.48 MPa. Kuat tekan beton geopolymer substitusi HDPE 10% sebesar 24.92 Mpa. Kuat tekan beton geopolymer substitusi HDPE 15% sebesar 28.71 Mpa. Kuat tekan beton geopolymer substitusi HDPE 20% sebesar 20.10 Mpa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengabdian Pada Masyarakat (LPPM) Politeknik Negeri Banyuwangi yang telah mendanai kegiatan penelitian sehingga dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Erwin Rommel (2013). Pembuatan Beton Ringan dari Aggregat Buatan Berbahan Plastik. Jurnal Gamma Vol 09 Nomor 1.

Ginanjar Bagus (2015). Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

M. Arief dkk (2017). Pembuatan Beton Ringan Beragregat Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dengan Penambahan Silica Fume. Jurnal Teknik Sipil Usu Vol 6 Nomor. 1

Januarti dkk.(2007). Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif. Jurnal Pondasi Vol 13 Nomor 2

Januarti dkk (2013). Sodium Sebagai Aktivator *Fly Ash*, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolymer. Jurnal Teknik Sipil Vol 20 Nomer 01.

Riger Manuahe (2014). Kuat Tekan Brton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). Jurnal Sipil Statik Vol 2 No. 6.

Supratikno, Ratnanik (2019). Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Beton. Jurnal Teknik Sipil.