**STUDI EKSPERIMENTAL KUAT TEKAN DAN POROSITAS TERHADAP PENAMBAHAN LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI *FLY ASH* DENGAN RASIO 1 : 3 PASIR DENGAN KONDISI SS/SH 2,0 DAN 12 MOLAR PADA MORTAR *GEOPOLYMER***

**Audy Finandika Hardiyana**

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [audyhardiyana@gmail.com](mailto:audyhardiyana@gmail.com)

**Arie Wardhono**

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [ariewardhono@unesa.ac.id](mailto:ariewardhono@unesa.ac.id)

**Abstrak**

Semen adalah bahan pengikat utama dalam pembuatan beton, yang menghasilkan gas CO2 dalam siklus pembuatannya yang dapat mencemari iklim. Kemajuan teknologi diharapkan untuk membuat beton dengan inovasi baru, salah satunya beton *Geopolymer*. Penelitian ini membahas pengaruh lumpur sidoarjo sebagai bahan substitusi *Fly Ash* pada kuat tekan dan porositas optimum di umur 7 hari, 14 hari dan, 28 hari. Kemudian penelitian ini dilaksanakan guna mengetahui hasil kuat tekan dan porositas yang maksimum dengan lumpur Sidoarjo yang digunakan sebagai campuran memiliki prosentase sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%. 40%, 45% dan 50%. larutan NaOH yang digunakan sebagai aktivator yang memiliki konsentrasi 12M, *water solid ratio* sebesar 0,35. Perbandingan berat Na2SiO3 terhadap berat larutan aktivator NaOH yaitu 2. Tujuan dari skripsi ini untuk mengetahui 1) pengaruh campuran lumpur sidoarjo sebagai bahan substitusi *Fly Ash* dengan rasio 1 : 3 pasir dengan kondisi SS/SH 2,0 dan 12 molar mempunyai nilai kuat tekan dan porositas untuk mortar *Geopolymer*. 2) kadar optimum penggunaan lumpur lapindo sebagai bahan substitusi *Fly Ash* terhadap kuat tekan dan porositas mortar *Geopolymer*. Hasil studi menunjukkan bahwa pada pengujian nilai kuat tekan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya prosentase lumpur Sidoarjo yang digunakan. Nilai kuat tekan tertinggi usia 14 hari pada penambahan 5% yaitu sebesar 20,19 MPa dan terjadi penurunan hingga subtitusi 50% yaitu sebesar 2,79 MPa. Hasil pengujian usia 28 hari nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan dengan terjadi penurunan hingga titik terendah terjadi pada subtitusi 5% yaitu sebesar 17,88% dan terjadi peningkatan hingga subtitusi 50% yaitu sebesar 28,25%. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa hubungan nilai kuat tekan dan porositas berbanding terbalik. Hal ini dapat menunjukkan bahwa pengaruh subtitusi lumpur Sidoarjo pada mortar *Geopolymer* akan memberikan nilai kuat tekan dan porositas yang cendenrung menurun

**Kata Kunci:** Mortar *Geopolymer*, *Fly Ash*, Lumpur Sidoarjo, Kuat Tekan, Porositas

***Abstract***

*Cement is the main binder in the manufacture of concrete, which produces CO2 gas in the manufacturing cycle which can pollute the climate. Technological advances are expected to make concrete with new innovations, one of which is Geopolymer concrete. This study discusses the effect of Sidoarjo mud as a substitute for Fly Ash on the optimum compressive strength and porosity at 7 days, 14 days and 28 days. Then this research was carried out to determine the maximum compressive strength and porosity results with Sidoarjo mud used as a mixture having a percentage of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%. 40%, 45% and 50%. NaOH solution used as activator which has a concentration of 12M, water solid ratio of 0.35. The comparison of the weight of Na2SiO3 to the weight of the NaOH activator solution is 2. The purpose of this thesis is to determine 1) the effect of the Sidoarjo mud mixture as a substitute for Fly Ash with a ratio of 1: 3 sand with SS/SH conditions of 2.0 and 12 molar has a compressive strength value and porosity for Geopolymer mortar. 2) optimum level of use of Lapindo mud as a substitute for Fly Ash for compressive strength and porosity of Geopolymer mortar. The results of the study indicate that the compressive strength value decreased along with the increase in the percentage of Sidoarjo mud used. The highest compressive strength value at the age of 14 days at the addition of 5% was 20.19 MPa and decreased to 50% substitution, which was 2.79 MPa. The results of the 28-day age test showed that the porosity value was inversely proportional to the compressive strength value with a decrease to the lowest point occurring at 5% substitution, which was 17.88% and an increase to 50% substitution at 28.25%. From these results it can be seen that the relationship between compressive strength and porosity is inversely proportional. This can indicate that the effect of substitution of Sidoarjo mud on Geopolymer mortar will provide compressive strength and porosity values ​​that tend to decrease.*

***Keywords****: Geopolymer Mortar, Fly Ash, Sidoarjo Mud, Compressive Strength, Porosity*

**PENDAHULUAN**

Beton merupakan salah satu jenis konstruksi yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Semen portland sebagai pengikat merupakan bahan yang paling penting digunakan dalam pembuatan beton konvensional. Dengan pembangunan infrastruktur yang semakin hari semakin meningkat mengakibatkan permintaan jumlah semen yang meningkat pula. Akan tetapi, pada saat proses produksinya, terjadi emisi CO2 ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi (Davidovits, 1991). (Ramezanianpour, 2014) menambahkan industri semen dan konstruksi turut menyumbang peningkatan pemanasan global sebesar 7% dari total emisi gas CO2 dunia. Kemudian, ditahun yang sama (Davidovits, 1994) menemukan sebuah material yang berperan sebagai polimer alumina silikat inorganik yang disintesa dari bahan silika dan aluminium. Bahan tersebut dapat diperoleh dari material alami ataupun limbah industri seperti abu terbang, abu sawit, dan abu sekam, material tersebut dapat dijadikan bahan alternatif pengganti semen atau dikenal dengan istilah *Geopolymer*. Penemuan *Geopolymer* menjadi salah satu solusi dalam mengurangi semen konvensional dan mengurangi emisi gas CO2.

*Geopolymer* adalah bahan pengembangan lain yang tidak berbahaya bagi ekosistem dan dapat dibuat sebagai pilihan untuk kombinasi besar. *Geopolymer* seharusnya tidak berbahaya bagi ekosistem karena bahan ini terbuat dari bahan manufaktur yang diproduksi dengan menggunakan bahan berkarakteristik yang mengandung banyak komponen Silika (Si) dan Aluminium (Al) seperti abu terbang (*Fly Ash*) dan cairan antasida sebagai aktivator yang telah melalui siklus polimerisasi. Pada akhirnya, beton *Geopolymer* akan sangat penting yang memanfaatkan bahan dengan komponen yang mengandung Silika dan Aluminium dicampur dengan cairan dasar sebagai penutup (Hakim, 2019).

*Fly Ash* *(FA)* merupakan bahan sampingan dari sisa batu bara yang dibakar yang berasal dari perusahaan pembangkit tenaga listrik yang mengandung silika (SiO2) yang tinggi dan bersifat pozzolan sehingga memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai campuran bahan dasar pengikat dalam beton (Alfian et al 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2006) menunjukkan hasil dari pengujian unsur kimia yang terdapat pada *Fly Ash* yaitu MgO sebesar 4,66% CaO sebesar 2,68%, Fe2O3 sebesar 4,89%, SiO2 sebesar 52%, dan Al2O3 sebesar 31,86%.

Bencana luapan lumpur di Sidoarjo yang terjadi sejak tanggal 29 Mei 2006 menyebabkan tergenangnya kawasan pemukiman, pertanian dan perindustrian di tiga kecamatan dan sekitarnya, serta mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur. Lumpur Sidoarjo yang sekarang ini semakin menumpuk perlu dimanfaatkan untuk membantu mengurangi volume lumpur. Berbagai usaha telah dilakukan untuk menghentikan luapan lumpur tersebut, tapi hingga sekarang masih belum berhasil dan hanya ditampung dengan tanggul. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa lumpur Sidoarjo memiliki kandungan SiO2, Al2O3, dan Fe2O3 masing-masing 53.08%, 18.27%, dan 5.6%. Material tersebut dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen yang disyaratkan harus memiliki kandungan senyawa SiO2, Al2O3, dan Fe2O3 minimum 70% (Aristianto, 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai rasio optimum dari penambahan lumpur sidoarjo terhadap *Fly Ash* pada mortar *Geopolymer*, Lumpur Sidoarjo (LUSI), air, dan larutan alkali sebagai activator berupa campuran dari Sodium Silikat (Na2SiO3) dan Sodium Hidroksida (NaOH) terhadap kuat tekan dan porositas.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium *(experimental)* pada proses pengumpulan data. Penelitian ini dilakukan secara bertahap, karena proses persiapan hingga pengujian dilakukan secara langsung di laboratorium Teknik Sipil Unesa dan menggunakan acuan penelitian-penelitian sebelumnya sebagai kajian pustaka, kemudian dikembangkan untuk penelitian dengan perbandingan rasio larutan SS/SH 12M sebesar 2 dan *W/S* sebesar 0,35. Penelitian ini mengacu hasil dari pengujian di laboratorium yang dilakukan dengan uji kuat tekan serta uji porositas mortar berbentuk kubus.

1. Persiapan peralatan dan bahan-bahan

Peralatan dan bahan-bahan dipersiapkan untuk memperlancar dalam proses pembuatanmortar *Geopolymer*.

1. Pengujian Bahan

Bahan-bahan dasar mortar *Geopolymer* yang akan diuji untuk mengetahui karateristik bahan yaitu *Fly Ash,* Lumpur Sidoarjo dan Pasir

1. Pembuatan *Mix design* Benda Uji

Proses pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang sesuaixdengan prosedur pelaksanaan. Perhitungan *mix design* untuk mendapatkan rasio dan kebutuhan bahan yang direncanakan terlebih dahulu sebelum proses ke tahap membuat benda uji.

Berikut merupakan tahapan proses pelaksanaan penelitian:

Pembuatanx*MixxDesign*xBendaxUji

PerawatanxBendaxUji

Pastax

Pengujian,Porositas

Selesai

AnalisisxData

Simpulanx

UjixVicat

KubusxMortar

PengujianxKuat Tekan

PersiapanxAlatxdanxBahan BahanBahan

*FlyxAsh*

Air,

Na2SiO33

Larutan,

NaOHx12xM

Pasir,

LUSI

Mulai,

1. UjixXRF

UjixPasir

1. UjixBerat Jenis
2. UjixGradasi Pasirx
3. UjixPenyerapan Airx
4. UjixKadar Lumpur
5. Berat Per Volume
6. Uji Kadar Organisx

Memenuhi ,Syarat

Memenuhi ,Syarat

Tidak

Tidak

Yax

Yax

**Gambar 1**. Bagan Alur Penelitian

1. *Curing*

*Curing* atauperawatan yang dilaksanakan dengan meeletakkan benda uji pada kondisi suhu ruang dan tertutup dari cahaya matahari sampai waktu benda uji siap diuji sesuai rencana.

1. Pengujian Benda Uji

Variabel pengujian dari penelitian ini yaitu uji kuat tekan, uji porositas dan uji vicat.

1. Analisis Data

Proses analisis pada data ini dilaksanakan dengan menyusun data pembahasan hasil penelitian dan dirancang berbentuk tabel dan grafis.

1. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran dapat diambil dari analisa hasil pembahasan data yang diperoleh dan disusun dari penelitian guna penelitian lebih lanjut.

**Tabel 1 Rencana *Mix Design***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Mix Design* Kondisi SS/SH 12 Molar = 1.5 dan W/S = 0.35** | | | | | | | | |
| ***Mix***  ***Design*** | ***PC*** | **Pasir** | ***Fly Ash*** | **Lusi** | **Kapur** | **Air** | ***Sodium Silikat*** | **NaOH 12M** |
| **1** | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0.485 | 0 | 0 |
| **2** | 0 | 3 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **3** | 0 | 3 | 0.75 | 0.05 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **4** | 0 | 3 | 0.7 | 0.1 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **5** | 0 | 3 | 0.65 | 0.15 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **6** | 0 | 3 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **7** | 0 | 3 | 0.55 | 0.25 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **8** | 0 | 3 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **9** | 0 | 3 | 0.45 | 0.35 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **10** | 0 | 3 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **11** | 0 | 3 | 0.35 | 0.45 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |
| **12** | 0 | 3 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.05 | 0.382 | 0.191 |

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

1. Pengujian Material

Pada penelitian ini diakukan pengujian material penyusun mortar *Geopolymer* yaitu: karakteristik Pasir unsur senyawa *PC, Fly Ash*, dan LUSI*.*

1. Pengujian Karakteristik Agragat Halus

**Tabel 2** Data Pengujian Agregat Halus

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Pengujian** | **Pasir Lumajang** | **SNI/ ASTM** |
| 1 | Berat Jenis | 2,75 gram/cm3 | Min 2,5 gr/cm3 |
| 2 | Penyerapan Air | 1,63% | < 2% |
| 3 | Kadar Air Pasir | 2,46% | < 5% |
| 3 | Analisa Ayakan | Lapangan=Zona 2 | FM=2,50-3,80 |
| FM=2,71 |
| Mortar=Zona4 |
| FM=2,0 |
| 4 | Kadar Lumpur | 0,21% | <5% |
| 5 | Berat Volume | 1,76 gram/cm3 | 1,5-2,0 gr/cm3 |
| 6 | Kotoran Organis | Lebih terang dari warna standart | Warna kuning |

Agregat halus yang dipakai pada penelitian ini adalah pasir lumajang dalam keadaan kering permukaan (SSD). Dari hasil proses pengujian, dapat disimpuklan bahwa dari pasir yang diuji tersebut memenuhi standart sebagai agregat halus.

1. Pengujian *Portland Cement, Fly Ash*, LUSI dan Kapur

Proses pengujian komponen kimia bahan pengikat *portland cement, Fly Ash type* C, lumpur Sidoarjo (LUSI) dan Kapuruntuk mengetahui kandungan kimia guna menentukan apakah bahan material tersebut memenuhi syarat untuk digunakan dalam penelitian ini. Bahan material lumpur Sidoarjo sebelum dilakukan pengujian perlu di oven terlebih dahulu selama 2 jam pada suhu 110o C lalu dihaluskan hingga lolos ayakan no. 200. Proses pengujian bahan dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM) dengan metode pengujian *X-Ray Flourecence* *(XRF)*

**Tabel 3** Data Hasil Pengujian Unsur Kimia PC (*Portland Cemen*t)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| PC | | | | | |
| **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** |
| Ca | 77,36 | Sr | 1,2 | Re | 0,13 |
| Si | 7,21 | K | 0,72 | Mn | 0,11 |
| Fe | 5,28 | S | 0,44 | Zr | 0,07 |
| In | 2,7 | Yb | 0,34 | Cr | 0,061 |
| Mo | 2,1 | Ti | 0,33 | Eu | 0,06 |
| Al | 1,6 | Ba | 0,1 | Cu | 0,055 |
| V | 0,01 |  |  |  |  |

**Tabel 4** Data Hasil Pengujian Unsur Kimia *Fly Ash*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| FA | | | | | |
| **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** |
| Ca | 24,1 | Sr | 1 | Re | 0,2 |
| Si | 18,7 | K | 1,52 | Mn | 0,66 |
| Fe | 42,4 | Hg | 0,3 | Zn | 0,02 |
| Ni | 0,04 | Yb | 0,06 | Cr | 0,094 |
| Mo | 2,2 | Ti | 13,4 | Eu | 0,5 |
| Al | 6 | Ba | 0,67 | Cu | 0,076 |
| V | 0,056 |  |  |  |  |

**Tabel 5** Data Hasil Pengujian Unsur Kimia Lusi (Lumpur Sidoarjo)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Lusi | | | | | |
| **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** |
| Ca | 7,49 | Sr | 0,79 | Re | 0,2 |
| Si | 36,5 | K | 3,67 | Mn | 0,46 |
| Fe | 32,7 | S | 0,3 | Zn | 0,07 |
| Cr | 0,079 | Mo | 3 | Cu | 0,13 |
| Br | 0,16 | Ti | 2,01 | Eu | 0,42 |
| Al | 12 | V | 0,12 |  |  |

**Tabel 6** Data Hasil Pengujian Unsur Kimia Kapur

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Kapur | | | | | |
| **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** | **Unsur Kimia** | **Unit (%)** |
| Ca | 94,95 | Mg | 3,3 | Tm | 0,54 |
| Fe | 0,32 | Sr | 0,69 | Lu | 0,18 |

Bedasarkan hasil pengujian komponen kimia tersebut dapat dilihat bahwa kandungan unsur kimia dari *Fly Ash* dan lumpur Sidoarjo memiliki unsur Si, Al dan Fe yang tinggi sehingga memenuhi syarat sebagai bahan dasar pengikat mortar *Geopolymer*.

1. Pengujian Hasil Tes Kuat Tekan

Pelaksanaan Pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui batas beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji. Rancangan *Mix design* pada penelitian ini yaitu berjumlah 12 *mix design* dengan 3 buah benda uji pada setiap pengujian dan usia yang direncanakan pada penelitian ini yaitu 7, 14 dan 28 hari.

**Tabel 7** Data Hasil Pengujian Kuat Tekan

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Mix** | **Umur** | **Kuat Tekan**  **(Mpa)** | **Mix** | **Umur** | **Kuat Tekan**  **(Mpa)** |
| I | 7 | 9,71 | VII | 7 | 5,08 |
| 14 | 10,00 | 14 | 6,50 |
| 28 | 10,41 | 28 | 6,66 |
| II | 7 | 19,98 | VIII | 7 | 3,10 |
| 14 | 23,41 | 14 | 5,47 |
| 28 | 24,00 | 28 | 6,40 |
| III | 7 | 15,49 | IX | 7 | 3,08 |
| 14 | 20,19 | 14 | 4,78 |
| 28 | 19,18 | 28 | 5,99 |
| IV | 7 | 11,54 | X | 7 | 2,49 |
| 14 | 14,95 | 14 | 3,61 |
| 28 | 14,54 | 28 | 5,48 |
| V | 7 | 8,09 | XI | 7 | 1,88 |
| 14 | 10,30 | 14 | 3,29 |
| 28 | 12,88 | 28 | 5,38 |
| VI | 7 | 7,51 | XII | 7 | 1,89 |
| 14 | 9,30 | 14 | 2,79 |
| 28 | 10.30 | 28 | 3,47 |

**Gambar 2.** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar *Geopolymer* 12M

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil kuat tekan usia 7, 14 dan 28 hari terjadi kenaikan secara konsisten dari *mix design* XII atau dengan hasil kuat tekan terendah yaitu 1,89MPa, 2,79MPa dan 3,48MPa hingga *mix design* II dengan hasil kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 19,99MPa, 23,41MPa dan 24,00MPa dan terjadi penurunan efektivitas subtitusi LUSI setelah m*ix design* II hingga *mix design* XII.

1. Pengujian Hasil Porositas

Pada penelitian ini pengujian pengujian porositas dilakukan guna mengetahui kadar rongga pori yang terdapat pada benda uji yang dibuat. Rancangan *Mix design* yang direncanakan berjumlah 12 *mix design* dengan jumlah 2 buah benda uji yang dibuat pada setiap usia rencana benda yang diuji.

**Tabel 8** Hasil Pengujian Porositas

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Mix*** | **Usia** | **Porositas** | ***Mix*** | **Usia** | **Porositas** |
| I | 7 | 34.08% | VII | 7 | 22.35% |
| 14 | 34.85% | 14 | 23.31% |
| 28 | 30.48% | 28 | 25.95% |
| II | 7 | 16.49% | VIII | 7 | 22.62% |
| 14 | 17.47% | 14 | 23.67% |
| 28 | 15.99% | 28 | 26.25% |
| III | 7 | 19.69% | IX | 7 | 23.82% |
| 14 | 17.88% | 14 | 24.23% |
| 28 | 19.79% | 28 | 26.46% |
| IV | 7 | 20.90% | X | 7 | 27.24% |
| 14 | 20.68% | 14 | 25.42% |
| 28 | 19.35% | 28 | 26.61% |
| V | 7 | 20.67% | XI | 7 | 29.42% |
| 14 | 21.01% | 14 | 27.54% |
| 28 | 20.05% | 28 | 27.20% |
| VI | 7 | 21.64% | XII | 7 | 32.38% |
| 14 | 21.12% | 14 | 28.25% |
| 28 | 22.75% | 28 | 28.83% |

**Gambar 3.** Grafik Hasil Pengujian Porositas Mortar *Geopolymer* 12M

Berdasarkan hasil grafik diatas menunjukkan sebaliknya dari hasil uji kuat tekan. Prosentase porositas tertinggi usia 7, 14 dan 28 hari terjadi pada *mix design* 1 yaitu sebesar 34,08%, 34,85% dan 30,48% dengan rasio 100% semen subtitusi LUSI dan *Fly Ash* 0%. Terjadi penurunan prosentase rongga pori hingga yang terendah yaitu pada *mix design* II usia 7, 14 dan 28 hari dengan rasio substitusi LUSI terhadap *Fly Ash* 0% sebesar 16,49%, 17,47% dan 15,99% dan meningkat kembali prosentase porositas hingga *mix design* XII usia 7,14 dan 28 sebesar 32,38%, 28,25% dan 28,83%.

1. Pengujian Hasil Vicat

Pengujian waktu ikat bermaksud untuk mengetahui durasi pengikatan yang terjadi pada sampel benda uji yang dilakukan pada suhu ruangan di laboratorium teknologi beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Sampel benda uji yang digunakan berjumlah 1 buah benda uji berupa adonan pasta pada masing-masing *mix design* yang direncanakan.

**Gambar 4.** Grafik Hasil Uji *Vicat* Mortar *Geopolymer* 12M

Hasil yang didapatkan menunjukan bahwa pengujian yang dilakukan di Laboratorium. Hasil waktu ikat awal dari setiap mix design pasta mortar *Geopolymer* lebih cepat dari pada waktu ikat awal dan akhir pasta semen, ini menunjukkan efektivitas dari subtitusi LUSI terhadap *Fly Ash* dimana waktu ikat awal yang terjadi berbeda-beda tiap *mix design* dimana waktu ikat awal yang tercepat terjadi pada *mix design* II*.* Untuk waktu ikat akhir pada pasta mortar *Geopolymer* pada *mix design* II, III, dan IV memiliki waktu pengikatan akhir yang lebih cepat yaitu dengan hasil 75 menit, *mix design* V, VI, VII dan VIII memiliki waktu pengikatan akhir yang sedang yaitu dengan hasil 90 menit, *mix design* IX memiliki waktu pengikatan akhir yang lama yaitu dengan hasil 105 menit, *mix design* X, XI dan XII memiliki waktu pengikatan akhir yang sedang yaitu dengan hasil 120 menit. Hal ini menunjukkan rasio subtitusi LUSI terhadap *Fly Ash* sangat berpengaruh terhadap durasi pengikatan bendauji.

1. Hubungan Usia Terhadap Kuat Tekan

Variabel pengujian Penelitian ini memakai uji kuat tekan sesuai rencana usia 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pembahasan ini dilakukan guna untuk mengetahui pengaruh usia terhadap kuat tekan.

**Gambar 5.** Hubungan Usia terhadap

Kuat Tekan

Hasil perbandingan kuat tekan dan usia benda uji keseluruhan dari setiap mix design yang ditinjau dari usia rencana mendapatkan hasil yang berbeda, data yang dihasilkan menunjukkan bahwa nilai kuat tekan yang dihasilkan *mix design* yang diberikan campuran LUSI (*mix design* III hingga *mix design* XII) mengalami peningkatan hingga *mix design* III dan terjadi penurunan kuat tekan hingga *mix design* XII. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin bertambahnya usia hasil kuat tekan menjadi meningkat. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Prasetyo dkk pada tahun 2013 tentang karakteristik mortar dan beton *Geopolymer* berbahan dasar lumpur Sidoarjo menjelaskan bahwa kuat tekan mengalami peningkatan seiring bertmbahnya usia benda uji sedangkan untuk *shringkage* tidak bertambah hingga 16 hari pengujian.

Selanjutnya adalah pengujian penunjang yang diambil dari penelitian yang dipimpin oleh Riko Fachri Afriandi pada tahun 2018 dengan judul Pengaruh Faktor Umur Terhadap Korelasi Kuat Tekan Beton Normal, Beton Berkekuatan Tinggi dan Beton Ringan, menyatakan bahwa waktu yang cukup lama membuat peningkatan kekuatan yang signifikan mengingat usia yang cukup besar tersebut secara langsung berkaitan dengan usia yang murah hati. kuat tekan beton.

1. Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan

Hubungan porositas terhadap kuat tekan dilakukan guna mengetahui pengaruh tingkat kadar pori terhadap kekuatan tekan dari pada benda uji yang ditampilkan dalam table dangrafik berikut**.**

**Tabel 9** Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Mix | Umur | Kuat Tekan | Porositas |
| I | 28 | 10.41 | 30.48% |
| II | 28 | 24.00 | 15.99% |
| III | 28 | 19.19 | 19.79% |
| IV | 28 | 14.55 | 19.35% |
| V | 28 | 12.89 | 20.05% |
| VI | 28 | 10.31 | 22.75% |
| VII | 28 | 6.66 | 25.95% |
| VIII | 28 | 6.40 | 26.25% |
| IX | 28 | 5.99 | 26.46% |
| X | 28 | 5.49 | 26.61% |
| XI | 28 | 5.39 | 27.20% |
| XII | 28 | 3.48 | 28.83% |

**Gambar 6.** Hubungan Porositas Terhadap Kuat Tekan Usia 28 Hari

Dari hasil pengamatanhubungan uji porositas terhadap kuat tekan usia 28 hari. Dari hasil tersebut memperlihatkan *mix desig*n I sampai XII mengalami peningkatan dari *mix design* I tanpa subtitusi apapun dan bertahan pada angka maksimal pada *mix design* II sebesar dan terjadi penurunan nilai kuat tekan hingga *mix design* XII. Sedangkan peningkatan nilai porositas dimulai dari *mix design* III hingga *mix design* XII. Penurunan nilai porositas terjadi pada mix design I hingga *mix design* II yang dilanjutkan peningkatan nilai porositas hingga mix design XII Pada *mix design* yang lain menunjukkan hasil kuat tekan yang bertolak belakang atau berlawanan terhadap hasil uji porositas.

Hal tersebut sesuai dengan hasil artikel riset terdahulu berjudul Analisa Pengaruh Porositas Terhadap Nilai Kuat Tekan Batuan Andesit dengan Menggunakan Model Regresi Hasselman dan Ryshkewitch Berbasis Matlab disusun oleh Titah Anggraeni P. K, Agung Dimas Prabowo D, Rayhan Farisi R. and Widya Utama pada tahun 2020 yang menyatakan Setelah menganalisa porositas dan kuat tekan batuan andesit pada paper referensi kami, dapat ditarik beberapa kesimpulan (1) Porositas memiliki pengaruh yang kuat terhadap nilai kuat tekan batuannya, yaitu semakin besar porositas maka nilai kuat tekannya semakin kecil. (2) Model regresi Hasselman memiliki kelemahan saat porositas mendekati 100%, nilai kuat tekannya menjadi negatif sedangkan pada model Ryshkewitch mampu menginterpretasi nilai kuat tekan pada porositas 0% dan 100% dengan lebih baik.

1. Hubungan *Vicat* Terhadap Kuat Tekan

Pengamatan dari hubungan *vicat* terhadap kuat tekan pada kondisi ini untuk memperoleh durasi waktu pengikatan yang akan terjadi pada benda uji mortar *Geopolymer*. Hasil *vicat* Setiap *mix design* yang terjadi akan berbeda sesuai dengan rasio subtitusi tiap *mix design*.

**Tabel 10** Hubungan Vicat Terhadap Kuat Tekan

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Mix | Umur | Kuat Tekan | Waktu Ikat Awal | Waktu Ikat Akhir |
| I | 28 | 10,21 | 180 | 420 |
| II | 28 | 24,60 | 30 | 75 |
| III | 28 | 26,22 | 30 | 75 |
| IV | 28 | 29,11 | 30 | 75 |
| V | 28 | 31,21 | 30 | 90 |
| VI | 28 | 24,67 | 30 | 90 |
| VII | 28 | 22,66 | 30 | 90 |
| VIII | 28 | 18,37 | 30 | 90 |
| IX | 28 | 16,21 | 30 | 105 |
| X | 28 | 15,62 | 45 | 120 |
| XI | 28 | 13,86 | 60 | 120 |
| XII | 28 | 11,69 | 60 | 120 |

**Gambar 7.** Hubungan *Vicat* (Waktu Ikat Awal) Terhadap Kuat Tekan

hubungan waktu ikat pasta dengan kuat tekan

mortar” *Geopolymer* menunjukan pengikatan waktu ikat pasta dipengaruhi oleh variasi dari komposisi bahan yang digunakan. *Mix design* I (kontrol semen) yaitu tanpa adanya subtitusi lumpur Sidoarjo dan *Fly Ash* mengalami durasi waktu pengikatan awal dan akhir yang lebih lama dan mengalami penurunan tercepat pada *mix design* 2 dengan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 24,00 MPa hingga *mix design* XII mengalami peningkatan durasi waktu pengikatan awal dan akhir pasta mortar *Geopolymer* sebesar 3,48 Mpa yang menggunakan variasi lumpur Sidoarjo sebesar 50% dikarenakan berkurangnya presentase *Fly Ash* dan bertambah besarnya presentase dari lumpur Sidoarjo.

**Gambar 8.** Hubungan *Vicat* (Waktu Ikat Akhir) Terhadap Kuat Tekan

Hal ini dapat dikatakan bahwa terjadi penurunan kondisi setelah *mix* III dengan bertambahnya presentase lumpur Sidoarjo dapat menyebabkan hasil waktu ikat pasta yang lebih lama. Peningkatan kuat tekan mortar *Geopolymer* berpengaruh terhadap durasi lamanya waktu ikat pasta, semakin besar kuat tekan yang dihasilkan mengakibatkan lebih cepatnya waktu ikat pasta mortar *Geopolymer*, begitu pula dengan menurunnya kuat tekan yang dihasilkan dapat mempengaruhi semakin lamanya durasi waktu ikat pasta mortar *Geopolymer*.

Berikut adalah penelitian pendukung yang diambil dari Penelitian yang dilakukan oleh Arifien Nursandah, Dio Alif Hutama, Dan Agus Komarudin pada tahun 2018 dengan Judul Studi Kuat Tekan & Setting Time Beton Dengan Variasi Dosis Admixture Tipe D, menyebutkan semakin ditambahnya Dosis Admixture Tipe D maka kuat tekan semakin menurun, memperpanjang waktu inisial sett, dan memperpanjang waktu final sett.

**PENUTUP**

**Simpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini antara lain:

1. Hasil subtitusi LUSI terhadap *Fly Ash* pada mortar *Geopolymer* memberikan pengaruh yang cenderung menurun terhadap kuat tekan usia 28 hari dengan nilai kuat tekan optimum didapatkan pada *mix design* III dengan rasio substitusi Lumpur Sidoarjo (LUSI) terhadap *Fly Ash* sebesar 5% dan lebih besar dari *mix* design I atau kontrol tanpa semen sebagai yang terendah yaitu 24,00MPa. Hasil kuat tekan diperoleh menurun setelah *mix design* III hingga *mix design* XII yaitu sebesar 3,48MPa.
2. Kadar pori dari variasi subtitusi LUSI pada *Fly Ash* memberikan pengaruh porositas yang baik dengan porositas terendah pada *mix design* III dengan subtitusi LUSI sebesar 5%. Hal ini ditunjukan bahwa dari hasil uji kuat tekan, *mix design* III dengan substitusi LUSI sebesar 5% mencapai nilai kuat tekan tertinggi dan nilai porositas terkecil sebesar 15,99%.

**Saran**

Saran yang dapat didapat dari penelitian yang telah dilaksanakan untuk penelitian mortar *Geopolymer* selanjutnya yaitu dengan pengaruh pengaruh penggunaan lumpur lapindo sebagai bahan substitusi *Fly Ash* terhadap mortar *Geopolymer* diharapkan untuk penelitian selanjutnya, mampu dimanfaatkan kedalam struktur beton seperti kolom, balok dan plat.

**DAFTAR PUSTAKA**

Alfian Hendri Umboh Marthin D. J. Sumajouw, Reky S. Windah, 2014. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dari Pltu Di Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Arifien Nursandah, Dio Alif Hutama, Agus Komarudin, 2018. Studi Kuat Tekan & Setting Time Beton Dengan Variasi Dosis Admixture Tipe D

Aristianto, 2006. Pemeriksaan Pendahuluan Lumpur Panas Lapindo Sidoarjo. Balai Besar Keramik Departemen Perindustrian Bandung, Bandung

Davidovits, *Geopolymer,* 1991: *Inorganic Polymeric New Materials, Geopolymer Institute, France*.

Davidovits, J., 1994. *Properties of Geopolymer Cements. First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, (November), 131–149

Hakim Abdurrachim Dwi Utama, 2019. Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Ketahanan Sulfat Mortar Geopolimer Dengan *Precusor Fly Ash* Dan Abu Sekam Padi, Universitas Sriwijaya.

Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2006. *Fly-Bottom Ash dan* *Pemanfaatannya*, terdapat pada http://b3.menlh.go.id/3r/article .php? article\_id=6. Diakses tanggal 19 Mei 2016.

Ramezanianpour, A. A., 2014. *Cement Replacement Materials; Properties, Durability, Sustainability. In Springer Geochemistry/Mineralogy*. https://doi.org/10.1007/978-3-64236721-2

Riko Fachri Afriandi, 2018. Pengaruh Faktor Umur Terhadap Korelasi Kuat Tekan Beton Normal, Beton Berkekuatan Tinggi dan Beton Ringan

Titah Anggraeni P. K, Agung Dimas Prabowo D, Rayhan Farisi R. and Widya Utama, 2020. Analisa Pengaruh Porositas Terhadap Nilai Kuat Tekan Batuan Andesit dengan Menggunakan Model Regresi Hasselman dan Ryshkewitch Berbasis Matlab