



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

# SIFAT MEKANIS PROTOTIPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK AGREGAT HALUS

DANIA FEBRY RAMADHANI  
NRP 10111510000009

Dosen Pembimbing 1  
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.d  
NIP 19730710 199802 1 002

Dosen Pembimbing 2  
Dr. Eng, Yuyun Tajunnisa, S.T., MT  
NIP 19780201 200604 2 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019



**TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819**

**SIFAT MEKANIS PROTOTIPE MORTAR  
GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH  
KARAKTERISTIK AGREGAT HALUS**

**DANIA FEBRY RAMADHANI  
NRP 10111510000009**

**Dosen Pembimbing 1  
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.d  
NIP 19730710 199802 1 002**

**Dosen Pembimbing 2  
Dr. Eng, Yuyun Tajunnisa, S.T., MT  
NIP 19780201 200604 2 002**

**PROGRAM SARJANA TERAPAN  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**



**APPLIED FINAL PROJECT - VC 181819**

**MECHANICAL PROPERTIES OF MORTAR  
GEOPOLYMER PROTOTYPE WITH EFFECT OF  
FINE AGGREGATE CHARACTERISTICS**

**DANIA FEBRY RAMADHANI**  
**NRP 10111510000009**

**1<sup>st</sup> Supervisor**  
**Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.d**  
**NIP 19730710 199802 1 002**

**2<sup>st</sup> Supervisor**  
**Dr. Eng, Yuyun Tajunnisa, S.T., MT**  
**NIP 19780201 200604 2 002**

**APPLIED UNDERGRADUATE PROGRAM**  
**CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT**  
**VOCATIONAL FACULTY**  
**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**SURABAYA 2019**

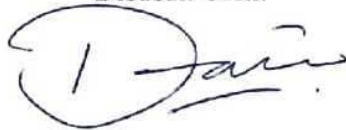
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**SIFAT MEKANIS PROTOTIPE MORTAR GEOPOLIMER**  
**DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK**  
**AGREGAT HALUS**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik  
Pada  
Program Sarjana Terapan  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Surabaya, Mei 2019

Disusun Oleh:



**Dania Febry Ramadhani**  
**NRP. 10111510000009**

Disetujui Oleh:

10 JUL 2019

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Ridho Bayuaji, ST.MT, PhD  
NIP. 19730710 199802 0003

D. Eng. Mulyun Tajunnisa, S.T., MT  
NIP. 19780201 200604 2 002



**BERITA ACARA**  
**TUGAS AKHIR TERAPAN**  
 PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL  
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :  
 41231/IT2.VI.8.1/TU.00.01/2019

Tanggal :  
 27/05/2019

|                                  |   |                     |               |
|----------------------------------|---|---------------------|---------------|
| <b>Judul Tugas Akhir Terapan</b> | Prototipe Mortar Geopolimer Dengan Pengaruh Karakteristik Agregat Halus Terhadap <i>Mechanical Properties</i> |                     |               |
| <b>Nama Mahasiswa</b>            | DANIA FEBRY RAMADHANI   | <b>NRP</b>          | 1011151000009 |
| <b>Dosen Pembimbing 1</b>        | Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D<br>NIP. 19730710 199802 1 002  | <b>Tanda tangan</b> |               |
| <b>Dosen Pembimbing 2</b>        | DR. Eng. Yuyun Tanjunnisa, ST., MT.<br>NIP. 19780201 200604 2 002   | <b>Tanda tangan</b> |               |

| URAIAN REVISI   | Dosen Penguji   |
|---|---|
| 1) Perbedaan steam & oven curing. Keuntungan & kerugian kenapa dilakukan oven, steam?<br>2) Judul revisi : . . . thd mechanical properties<br>3) Kesimpulan : kpa mortar lebih cepet<br>4) Kenapa dg pasir lumajang, kuat tekan tinggi<br>5) Kesimpulan : kuat tekan rata? pada saat umur 56 hari | <br>Nur Ahmad Husin, ST., MT.<br>NIP. 19720115 199802 1 001 |
| 1) Disebutkan parameter yg digunakan, Katerasi hasil kuat tekan, setting time & upu<br>2) Rata-rata kuat tertinggi disebutkan saja umur pengujiannya<br>3) Ditambahkan grafik pada hasil pengujian kuat tekan.  | <br>Buyung Anugraha ST., MT.<br>NIP. 19740203 200212 1 002  |
|   |   |
|   |   |

| PERSETUJUAN HASIL REVISI                                |  |                 |                 |
|---|--|-----------------|-----------------|
| Dosen Penguji 1   | Dosen Penguji 2  | Dosen Penguji 3 | Dosen Penguji 4 |
|   |  | -               | -               |
| Nur Ahmad Husin, ST., MT.<br>NIP. 19720115 199802 1 001 | Buyung Anugraha ST., MT.<br>NIP. 19740203 200212 1 002 | NIP -           | NIP -           |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan</b> | <b>Dosen Pembimbing 1</b>  | <b>Dosen Pembimbing 2</b>   |
|   | <br>Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D<br>NIP. 19730710 199802 1 002 | <br>DR. Eng. Yuyun Tanjunnisa, ST., MT.<br>NIP. 19780201 200604 2 002 |



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

**Nama** : 1 DANIA FEBRY E. 2  
**NRP** : 1 1011510000009 2  
**Judul Tugas Akhir** : PROTOTYPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK AREGAT HALUS TERHADAP WAKTU PENGERASAN  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.d  
 2. Dr. Eng. Yuyun Rajunnisa, S.T., M.T.

| No | Tanggal    | Tugas / Materi yang dibahas  | Tanda tangan | Keterangan                          |                          |                          |
|----|------------|--|--------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. | 27-12-2018 | Buat schedule seluruh rangkaian kegiatan pengujian.                              |              |                                     |                          |                          |
|    |            |  |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            |  |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. | 18-01-2019 | Untuk komposisi mix desain tdk perlu dengan kombinasi FA = 390 kg/m <sup>3</sup> |              |                                     |                          |                          |
|    |            | Jumlah benda uji tiap variabel minimal 3.  |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            |  |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. | 18-01-2019 | Geafik gradasi setiap jenis pasir digabung.                                      |              |                                     |                          |                          |
|    |            | Untuk pasir Bojonegara dgn kandungan lumpur 31% tetap dipakai saja.              |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            |  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | Untuk komposisi mix desain tidak perlu pakai superplastizer.                     |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            |  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | Molaritas NaOH yang digunakan 8M, 12M dan 14M.                                   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            |  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. | 08-02-2019 | Coba bereks ujinga di oven   |              |                                     |                          |                          |
|    |            | Forus ke kuat tekan dan settingtime.   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            |  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 DANA FEBRY P. 2  
**NRP** : 1 1011510000009 2  
**Judul Tugas Akhir** : PROTOTYPE MORTAR BEDPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK AGREGAT HASIL TERHADAP WAKTU PENGERASAN.  
**Dosen Pembimbing** : 1.) Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.d  
 2.) Dr. Eng. Yuhun Tanjungso, ST., MT.

| No | Tanggal     | Tugas / Materi yang dibahas  | Tanda tangan | Keterangan                          |                          |                          |
|----|-------------|--|--------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 5. | 11-02-2019. | ▶ Katalis hasil kuat tekan 0 berarti benda uji belum setting time  |              |                                     |                          |                          |
|    |             | ▶ Ada kemungkinan silika tidak bereaksi dan NaOH tidak mampu mereaksikan.  |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |             | ▶ Pilihlah cara mempercepat reaksi bisa : stem, oven, atau ditambah Ca. Untuk oven cek di referensi Pak Harjito berapa lama pengovenan yang optimum. |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |             | ▶ Untuk hasil kesalahan yang variasi 8 Melar 7 Hari tetap dimasukkan saja.   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |             | ▶ Cek dulu untuk kuat tekan km dan MM pada umur 7 Hari. apabila tidak memenuhi langsung buat benda uji lagi dari metode curing oven.                 |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |             |  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |             |  |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |             |  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 Dania Febry Ramadhani 2  
**NRP** : 1 1010100000000000000 2  
**Judul Tugas Akhir** : PROTOTYPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENBARUAN KARAKTERISTIK AGRREGAT HALUS TERHADAP WAKTU PENGKERASAN  
**Dosen Pembimbing** : 1) Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.d  
 2) Dr. Eng. Yuyun Tajumisa, S.T., MT

| No | Tanggal    | Tugas / Materi yang dibahas   | Tanda tangan | Keterangan                          |                          |                          |
|----|------------|---|--------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 6  | 05-03-2019 | ▶ Hari Rabu print laporan dan langsung di asikan.   |              |                                     |                          |                          |
|    |            | ▶ Seharusnya setelah oven tidak langsung dikeluarkan, agar tidak terjadi retak dan berkurangnya kuat tekan. |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            |   |              |                                     |                          |                          |
| 7  | 06-03-2019 | ▶ sumber, formatnya dicek kembali   |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | ▶ untuk Bab 2 tambahkan hal-hal yang menBawari dipakainya untuk penelitian                                  |              |                                     |                          |                          |
|    |            | ▶ Cari artikel yang membahas pengaruh curing pada kuat tekan geopolimer "studi....."                        |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | ▶ Kata-kata dibuat berbeda (bersosiasi).  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | ▶ Ditambah lagi untuk bahasan sub babnya.   |              |                                     |                          |                          |
|    |            |   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Ket. :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 Dania Febry Ramadhani 2  
**NRP** : 1 10151000000 9 2  
**Judul Tugas Akhir** : PROTOTYPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK AREGAT HAUSS TERHADAP WAKTU PENGERASAN  
**Dosen Pembimbing** : 1) Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.d  
 2) Dr. Eng. Yugin Tajunnisa, S.T., M.T

| No | Tanggal        | Tugas / Materi yang dibahas   | Tanda tangan | Keterangan                          |                          |                          |
|----|----------------|---|--------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 8  | 10 - 04 - 2019 | Asistensi progres hasil kuat tekan, setting time semen dan setting time mortar                      |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |                | Wajar jika setting time mortar menjadi lebih cepat dibanding semen, karena telah tercampur agregat. |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |                |   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |                |   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | 16 - 04 - 2019 | Buat benda uji binder untuk kuat tekan <del>28</del> 28 hari  |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |                | Apakah pasir ada reaksi kimia atau tidak? dengan pengujian SEM-EDX untuk yang 28 hari               |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |                | Membuktikan bahan pengisi memberikan pengaruh.  |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |                | Mortar 28 hari SEM EDX dan pasta 28 hari SEM EDX.   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |                |   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |                |   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Ket. :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 Dania Febry Ramadhani 2  
**NRP** : 1 1011910000009 2  
**Judul Tugas Akhir** : PROTOTYPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK ADEKAT HALUS TERHADAP WAKTU PENGERASAN.  
**Dosen Pembimbing** : 1). Ridho Bayuaji, S.T, M.T, Ph.d  
 2). Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST, M.T

| No | Tanggal    | Tugas / Materi yang dibahas  | Tanda tangan | Keterangan                          |                          |                          |
|----|------------|--|--------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 10 | 09-05-2019 | ► Kuat tekan cari persentase kuat tekan. Development. (28 hari). Polimerisasi fly ash dengan pasir. Pasir untuk hidrasi pada geopolimer seperti apa.         |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            | ► Grafik pakai histogram, tanpa warna. Judul grafik letakkan di caption laporan  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | ► Pengujian SEM tidak masalah bulan juni. Datanya bisa menyusul.   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11 | 08-05-2019 | ► PSD, perbaiki kalimatnya lagi. Partikel size yang terbanyak berada di persentase berapa dan terdapat dalam flyash kategori apa (sedang, halus atau kasar). |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | ► Setiap peraturan tulis nama/judul peraturannya apa.  |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |            | ► pada grafik beri batas syarat sesuai standar.  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |            | ► Cet setting time untuk semen biasa   |              |                                     |                          |                          |

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlembat dari jadwal

► Untuk data yang terlampir beri keterangan data terlampir pada lampiran berapa.



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Dania Febry Ramadhani 2  
 NRP : 1 101151000009 2  
 Judul Tugas Akhir : PROTOTYPE MORTAR GEBROUWER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK AGREGAT HALUS TERHADAP WAKTU PENGERASAN.  
 1.) Ridho Bayuaji, S.T, M.T, Ph.d  
 Dosen Pembimbing : ~~Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T, M.T~~ 2.) Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T, M.T

| No  | Tanggal   | Tugas / Materi yang dibahas   | Tanda tangan | Keterangan                          |                          |                          |
|-----|-----------|---|--------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 12. | 13-05-19. | ► Coba tanyakan ke Pak Ridho untuk PSD $D[3,2]$ dan $D[4,3]$ itu maksudnya seperti apa.   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|     |           | ► Tulisan grafik jangan terlalu kecil.  |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|     |           | ► Grafik hasil kuat tekan bisa dilengkapi standar deviasi.  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|     |           | ► Untuk saran buat lebih spesifik lagi usulan apa yang ingin disampaikan.   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|     |           | ► Untuk data yang belum bisa ditambahkan reenti saat revisi. Buat yang sudah ada dulu untuk datanya.  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. | 17-05-19  | ► Cari artikel partikel size terhadap setting time fly ash. Partikel semakin halus luas permukaannya semakin luas sehingga setting semakin cepat. |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|     |           | ► Urutan pasirnya dirutuskan  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|     |           | ► partikel size agregat dibuat  |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

tabel. Agar kelihatan ukuran partikelnya.

Ket. :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 Denia Febry Ramadhani 2  
**NRP** : 1 1811510000009 2  
**Judul Tugas Akhir** : PROTOTYPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK AGREGAT HALUS TERHADAP WAKTU PENGERASAN  
 1. Ridho Bayuaji, ST., M., Ph.D  
**Dosen Pembimbing** : 2. Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa ST., MT

| No | Tanggal  | Tugas / Materi yang dibahas  | Tanda tangan | Keterangan |                          |                          |                          |
|----|----------|--|--------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 14 | 20-05-19 | ► Format untuk upload jurnal / makalah pakai template jurnal aplikasi.   |              |            |                          |                          |                          |
|    |          | ► Kata-kata yang di manfaat:   |              |            | B                        | C                        | K                        |
|    |          | "mortar geopolimer sebagai tondak lanjut pemerkasan beton geopolimer untuk infrastruktur".   |              |            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |          | ► Latar belakang dicek kembali   |              |            | B                        | C                        | K                        |
|    |          | Tidak perlu menjelaskan proses semen portland. Langsung di beton geopolimer, penemu, perkembangan. Beton Geopolimer sudah diaplikasikan struktur.          |              |            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |          | Fly ash belum stabil. prosedur mix desain belum baku. Setting time cepat. Untuk mengetahui karakteristik apakah ada pengaruh terhadap filler yg digunakan. |              |            | B                        | C                        | K                        |
|    |          | ► Sistem pencampuran kering marukan di metodologi. (prosedur).   |              |            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |          | ► Kuat tekan pasta dibandingkan dengan pasta lainnya.  |              |            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 Danio Febry Ramadhani 2  
**NRP** : 1 11151000009 2  
**Judul Tugas Akhir** : Prototipe mortar geopolimer dengan pengaruh karakteristik agregat halus terhadap waktu pengerasan.  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ridho Bayuaji, ST; MT -> Ph.D  
 2. Dr. Eng. Yayan Tajunnisa, ST -> MT.

| No | Tanggal | Tugas / Materi yang dibahas   | Tanda tangan | Keterangan                          |                          |                          |
|----|---------|---|--------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 15 | 2-05-19 | <p>Abstrak, disebutkan pengujirannya.</p> <p>Metodologi: Bahan, tesnya apa aja, metodologi. Diabahi lagi untuk abstraknya.</p> <p>Saran: Sesuai sm persyaratan agregat untuk geopolimer dan beton biasa sama.</p> |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |         |   |              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |         |   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |         |   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |         |   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |         |   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |         |   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |         |   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|    |         |   |              | B                                   | C                        | K                        |
|    |         |   |              | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal

# **SIFAT MEKANIS PROTOTIPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK AGREGAT HALUS**

**Nama Mahasiswa** : Dania Febry Ramadhani  
**NRP** : 10111510000009  
**Jurusan** : Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Ridho Bayuaji, S.T., MT., PhD  
**NIP** : 19730710 199802 1 002  
**Dosen Pembimbing 2** : Dr. Eng, Yuyun Tajunnisa, S.T., MT  
**NIP** : 19780201 200604 2 002

## **ABSTRAK**

Agregat merupakan bahan utama penyusun beton geopolimer. Volume agregat yang digunakan umumnya berkisar antara 70% hingga 80% dari volume beton geopolimer. Karakteristik agregat seperti: gradasi, bentuk, dan tekstur sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton geopolimer yang dihasilkan. Beton geopolimer yang memanfaatkan *fly ash* Tipe C sebagai bahan pengikat memiliki waktu setting yang sangat cepat dan sulit diprediksi. Berdasarkan permasalahan tersebut masih sedikit studi yang membahas mengenai pengaruh karakteristik agregat yang digunakan terhadap waktu setting beton geopolimer. Sehingga dalam tugas akhir ini membahas mengenai studi pengaruh karakteristik agregat halus terhadap waktu pengerasan mortar geopolimer yang menggunakan *fly ash* tipe C sebagai bahan pengikat.

Tiga jenis agregat halus digunakan sebagai bahan campuran mortar geopolimer, diantaranya: pasir lumajang, pasir mojosari dan pasir bojonegoro. Ketiga pasir yang dilakukan pengujian karakteristik yakni: analisa gradasi, berat jenis, kelembaban, kadar air, dan kadar lumpur. Perbandingan antara bahan pengikat terhadap bahan pengisi adalah 40:60 dan perbandingan *fly ash* terhadap alkali aktivator adalah 65:35. Alkali aktivator yang

digunakan merupakan campuran antara NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:2.5. Tiga variasi molaritas NaOH yang digunakan yakni: 8 molar, 12 molar, dan 14 molar. Metode perawatan yang digunakan untuk mortar geopolimer adalah perawatan suhu ruangan (*ambient curing*) dan perawatan dengan oven (*oven curing*) pada suhu 100°C selama 24 jam. Ukuran benda uji mortar geopolimer yakni kubus 5 x 5 x 5 cm. Pengujian yang dilakukan untuk mortar geopolimer diantaranya: uji *setting time*, uji *ultrasonic pulse velocity* (UPV) pada umur 7, 28, dan 56 hari, dan kuat tekan pada umur 7, 28, dan 56 hari.

Hasil uji *setting time* menunjukkan bahwa penambahan pasir mojokerto dan pasir lumajang memberikan pengaruh *setting time* mortar geopolimer yakni rata-rata 20 menit lebih cepat dari *setting time* pasta semen geopolimer. Sedangkan pasir bojonegoro memberikan pengaruh *setting time* mortar geopolimer yakni rata-rata 10 menit lebih lambat dari *setting time* pasta semen geopolimer. Mortar geopolimer dengan menggunakan pasir lumajang menghasilkan kuat tekan yang tinggi dari pada mortar geopolimer dengan menggunakan pasir mojokerto dan pasir bojonegoro. Nilai kuat tekan maksimum dari setiap variabel mortar geopolimer dengan pasir lumajang, pasir mojokerto dan pasir bojonegoro berturut-turut adalah: variabel PL-14M-(b) yakni 61.09 Mpa, variabel PM-14M-(b) yakni 26.34 Mpa dan variabel PB-14M-(a) yakni 4.32 Mpa.

**Kata Kunci:** mortar geopolimer, *setting time*, agregat halus, *fly ash* Tipe C.

**MECHANICAL PROPERTIES OF MORTAR GEOPOLYMER  
PROTOTYPE WITH EFFECT OF FINE AGGREGATE  
CHARACTERISTICS**

**Student's Name** : Dania Febry Ramadhani  
**NRP** : 10111510000009  
**Department** : Teknik Infrastruktur Sipil FV ITS  
**1<sup>st</sup> Supervisor** : Ridho Bayuaji, S.T., MT., PhD  
**NIP** : 19730710 199802 1 002  
**2<sup>st</sup> Supervisor** : Dr. Eng, Yuyun Tajunnisa, S.T., MT  
**NIP** : 19780201 200604 2 002

**ABSTRACT**

*Aggregate constitutes a major volume in geopolymer concrete. Generally, the aggregate volume is used between 70%-80% of the geopolymer concrete volume. Aggregate characteristics such as grading, shape, and texture greatly affect the strength of geopolymer concrete. Geopolymer concrete utilizing a type C fly ash as a binder has a fast setting time and difficult to predict. Based on these problems, a limit study that discusses the effect of aggregate characteristics used on the setting time of geopolymer concrete. So, in this final project discusses a study of the effect of fine aggregate characteristics on the hardening time geopolymer mortar using type C fly ash as a binder.*

*Three types of fine aggregates are used on a mixture of geopolymer mortar, namely, Lumajang sand, Mojokerto sand, and, Bojonegoro sand. These three characteristics of sand testing, namely, analysis of gradation, density, moisture content, water absorption and, mud content. The ratio of binder to filler material is 40:60 and for comparison of fly ash to alkaline activator is 65:35. The alkaline activator is a mix of NaOH solution with Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> in ratio of 1:2.5. Three variations of NaOH molarity were used, namely: 8 molar, 12 molar, and 14 molars. Methods of treatment used for mortar geopolymer is a treatment with room*



*temperature (ambient curing) and treatment with ovent (ovent curing) at 100°C for 24h. The size of the geopolymer mortar specimen is a cube 5 x 5 x 5 cm. Test performed on geopolymer mortar are setting time test, ultrasonic pulse velocity (UPV) at the age of 7, 28, and 56 days, and the compressive strength at the age of 7, 28, and 56 days.*

*Setting time test results showed that the addition of Mojokerto sand and Lumajang sand influence setting time of geopolymer mortar, on average 20 minutes faster than setting time of geopolymer paste. While Bojonegoro sand influence setting time of geopolymer mortar, on average 10 minutes slower than setting time of geopolymer paste. Geopolymer mortar using Lumajang sand had a high compressive strength than geopolymer mortar using Mojokerto sand and Bojonegoro sand. The maximum compressive strength of geopolymer mortar with Lumajang sand, Mojokerto sand, and Bojonegoro sand: PL-14M-(b) is 61.09 MPa, PM-14M-(b) is 26.34 MPa, and PB-14M-(a) is 4.32 MPa. Lumajang sand gives the highest influence the compressive strength of geopolymer mortar.*

**Keywords:** *geopolymer mortar, setting time, fine aggregate, type C fly ash.*

## KATA PENGATAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir terapan yang berjudul **“Sifat Mekanis Prototipe Mortar Geopolimer Dengan Pengaruh Karakteristik Agregat Halus”** dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penulisan tugas akhir terapan ini merupakan bentuk implementasi dari ilmu yang telah didapat selama perkuliahan dan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan kuliah program Sarjana Terapan, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tersusunnya tugas akhir terapan ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa bantuan serta motivasi yang diberikan oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah turut membantu. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran dan petunjuk dalam menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
2. Ayahanda Sudarno dan Ibunda Sri Wahyuni tercinta, yang selalu mencurahkan doa, kasih sayang, motivasi, serta dukungan moral maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
3. Bapak Ridho Bayuaji, ST. MT. PhD dan Ibu Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST .,MT. Selaku dosen pembimbing yang telah mendidik, memberikan ilmu dan banyak memotivasi dalam penyusunan tugas akhir terapan ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi yang telah membantu serta membimbing dalam proses perkuliahan selama ini.
5. Tim Alkali Activated 2018 yang turut membantu dalam melakukan pengujian sebagai bahan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Serta teman-teman seperjuangan, Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil kelas A angkatan 2015 yang senantiasa memberikan dukungan selama ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir terapan ini masih jauh dari sempurna, maka penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhir terapan ini. Penulis berharap, semoga tugas akhir terapan ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN .....   | iii |
| ABSTRAK .....   | v   |
| ABSTRACT .....  | vii |
| KATA PENGANTAR .....  | ix  |
| DAFTAR ISI .....  | xi  |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xiv |
| DAFTAR TABEL .....  | xx  |
| BAB I PENDAHULUAN .....   | 1   |
| 1.1. Latar Belakang .....   | 1   |
| 1.2. Rumusan Masalah .....  | 2   |
| 1.3. Batasan Masalah .....  | 2   |
| 1.4. Tujuan .....   | 3   |
| 1.5. Manfaat .....  | 3   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....   | 5   |
| 2.1. Geopolimer .....   | 5   |
| 2.1.1. Semen Geopolimer (cara kering) .....                                     | 5   |
| 2.1.2. Pasta Semen Geopolimer .....   | 6   |
| 2.1.3. Mortar Geopolimer .....  | 6   |
| 2.1.4. Beton Geopolimer .....   | 6   |
| 2.2. Material Penyusun .....  | 6   |
| 2.2.1. Fly Ash .....  | 6   |
| 2.2.2. Alkali Aktivator .....   | 8   |
| 2.2.3. Agregat .....  | 9   |
| 2.2.4. Air .....  | 10  |
| 2.3. Perhitungan <i>Mix Design</i> Metode Kering .....                          | 11  |
| 2.4. Curing .....   | 12  |
| 2.5. Pengujian Material .....   | 14  |
| 2.5.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....                                     | 14  |
| 2.5.2. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....                                    | 14  |
| 2.5.3. <i>Particle Size Distribution</i> (PSD) .....                            | 15  |
| 2.5.4. SEM-EDX .....  | 15  |
| 2.5.5. Analisa Saringan Agregat .....   | 16  |
| 2.5.6. Berat Jenis Agregat Halus (ASTM C-128) .....                             | 18  |
| 2.5.7. Kelembaban Agregat Halus (ASTM C- 566) .....                             | 18  |
| 2.5.8. Kadar Air Resapan Agregat Halus (ASTM C-128) .....                       | 18  |
| 2.5.9. Kebersihan Agregat Halus Terhadap Lumpur (pengendapan)<br>ASTM C33 ..... | 19  |

|                         |  |    |
|-------------------------|--|----|
| 2.6.                    | Pengujian Pasta Semen Geopolimer .....   | 20 |
| 2.6.1.                  | Waktu Ikut ( <i>Setting Time</i> ) Pasta Semen Geopolimer (SNI 15-2049-2004).....  | 20 |
| 2.7.                    | Pengujian Mortar Geopolimer .....  | 22 |
| 2.7.1.                  | Waktu Ikut ( <i>Setting time</i> ) Mortar Geopolimer (SNI ASTM C403 Metode Uji Waktu Pengikatan Campuran Beton dengan Ketahanan Penetrasi) ..... | 22 |
| 2.7.1.1.                | Peralatan .....  | 23 |
| 2.7.1.2.                | Prosedur pengujian .....   | 24 |
| 2.7.1.3.                | Perhitungan.....   | 27 |
| 2.7.2.                  | Kuat Tekan (SNI 03-6825-2002) .....  | 30 |
| 2.7.3.                  | <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (SNI ASTM C597-2012).....   | 31 |
| 2.8.                    | Penelitian Sebelumnya .....  | 33 |
| BAB III METODOLOGI..... |  | 37 |
| 3. 1.                   | Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....  | 37 |
| 3. 2.                   | Studi Literatur.....   | 38 |
| 3. 3.                   | Persiapan Pengujian Material .....   | 38 |
| 3.3.1.                  | Fly Ash .....  | 39 |
| 3.3.2.                  | Alkali Aktivator .....   | 39 |
| 3.3.3.                  | Agregat Halus .....  | 40 |
| 3.3.4.1.                | Analisa Saringan Agregat Halus.....  | 41 |
| 3.3.4.2.                | Berat Jenis Agregat Halus .....  | 43 |
| 3.3.4.3.                | Kelembaban Agregat Halus.....  | 47 |
| 3.3.4.4.                | Kadar Air Resapan Agregat Halus .....  | 49 |
| 3.3.4.5.                | Kebersihan Agregat Halus Terhadap Lumpur .....   | 51 |
| 3. 4.                   | Perhitungan <i>Mix Design</i> .....  | 53 |
| 3.4.1.                  | Perhitungan Konversi Pencampuran Basah ke Pencampuran Kering .....   | 53 |
| 3.4.1.1.                | Perhitungan Campuran Kering Dengan Konsentrasi Molar NaOH = 8 Molar .....  | 54 |
| 3.4.1.2.                | Perhitungan Campuran Kering Dengan Konsentrasi Molar NaOH = 12 Molar .....   | 55 |
| 3.4.1.3.                | Perhitungan Campuran Kering Dengan Konsentrasi Molar NaOH = 14 Molar .....   | 57 |
| 3.4.2.                  | <i>Mix Design</i> Pasta Semen Geopolimer .....   | 58 |
| 3.4.3.                  | <i>Mix Design</i> Mortar Geopolimer .....  | 59 |
| 3. 5.                   | Semen Geopolimer .....   | 59 |
| 3.5.1.                  | Pembuatan Semen Geopolimer .....   | 59 |
| 3.5.2.                  | Pengujian <i>Setting Time</i> Pasta Semen Geopolimer .....   | 62 |

|   |     |
|---|-----|
| 3. 6. Mortar Geopolimer .....   | 64  |
| 3. 7. Pengujian Mortar Geopolimer .....   | 67  |
| 3.7.1. Uji <i>Setting Time</i> .....  | 67  |
| 3.7.2. Uji <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV) .....   | 67  |
| 3.7.3. Uji Kuat Tekan .....   | 69  |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....  | 71  |
| 4. 1. Umum .....  | 71  |
| 4. 2. Hasil Pengujian Spesifikasi Material Penyusun.....  | 71  |
| 4.2.1. Fly Ash .....  | 71  |
| 4.2.1.1. Pengujian <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....  | 71  |
| 4.2.1.2. Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....  | 72  |
| 4.2.1.3. Pengujian <i>Particle Size Distribution</i> (PSD).....                                     | 73  |
| 4.2.1.4. Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) ....                                   | 74  |
| 4.2.2. Alkali Aktivator.....  | 75  |
| 4.2.2.1. Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> .....   | 75  |
| 4.2.2.2. NaOH.....  | 75  |
| 4.2.3. Agregat Halus (Pasir).....   | 76  |
| 4.2.3.1. Analisa Saringan Pasir .....   | 76  |
| 4.2.3.2. Berat Jenis Pasir (ASTM C128).....   | 80  |
| 4.2.3.3. Kelembaban Pasir (ASTM C566).....  | 81  |
| 4.2.3.4. Kadar Air Resapan Pasir (ASTM C128).....   | 82  |
| 4.2.3.5. Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (ASTM C33) ...  | 83  |
| 4. 3. Hasil Pengujian Waktu Ikat Pasta Semen Geopolimer .....                                       | 85  |
| 4.3.1. Waktu Ikat ( <i>Setting Time</i> ) Pasta Semen Geopolimer .....                              | 85  |
| 4.3.2. Uji Kuat Tekan Pasta Semen Geopolimer .....  | 87  |
| 4. 4. Hasil Pengujian Benda Uji Mortar Geopolimer .....   | 88  |
| 4.4.1. Waktu Ikat ( <i>Setting Time</i> ) Mortar Geopolimer .....                                   | 88  |
| 4.4.2. Uji UPV Mortar Geopolimer.....   | 91  |
| 4.4.3. Uji Kuat Tekan Mortar Geopolimer .....   | 93  |
| 4.4.4. Hubungan Pengujian <i>Setting Time</i> Pasta Semen Geopolimer<br>dan Mortar Geopolimer ..... | 99  |
| 4.4.5. Kolerasi Kuat Tekan dan UPV Mortar Geopolimer .....  | 102 |
| BAB V PENUTUP.....  | 107 |
| 5.1. Kesimpulan.....  | 107 |
| 5.2. Saran .....  | 109 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 111 |
| BIODATA PENULIS .....   | 117 |
| LAMPIRAN.....   | 119 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> (a) <i>Fly ash</i> tipe F, (b) <i>Fly ash</i> tipe C.....  | 8  |
| <b>Gambar 2. 2</b> (a) $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ padat dan (b) $\text{NaOH}$ padat .....  | 9  |
| <b>Gambar 2. 3</b> Agregat Halus (Pasir Lumajang) .....   | 10 |
| <b>Gambar 2. 4</b> Efek temperatur curing pada kuat tekan beton geopolimer .....  | 13 |
| <b>Gambar 2. 5</b> Grafik Zona Gradasi Agregat Halus .....  | 17 |
| <b>Gambar 2. 6</b> Alat Vicat.....  | 20 |
| <b>Gambar 2. 7</b> Tampak Atas Benda Uji Mortar.....  | 26 |
| <b>Gambar 2. 8</b> Contoh grafik nilai ketahanan penetrasi terhadap waktu dan kurva yang digunakan untuk menentukan waktu pengikatan.....   | 29 |
| <b>Gambar 2. 9</b> Contoh grafik skala log yang menunjukkan garis lurus untuk menentukan waktu pengikatan menggunakan analisis regresi .... | 30 |
| <b>Gambar 2. 10</b> Metode pengujian UPV .....  | 31 |
| <b>Gambar 2. 11</b> Skema pengujian UPVE .....  | 32 |
| <b>Gambar 2. 12</b> Grafik Nilai Kuat Tekan Mortar Geopolimer Pada Penelitian Memerdas dkk (2017) .....                                     | 36 |
| <b>Gambar 3. 1</b> Tahap Pelaksanaan Penelitian.....  | 38 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) berbentuk flake (PT.Brataco) .....  | 39 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) granular (PT. Brataco).....  | 39 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Pasir Mojokerto (Desa Leminggir, Kec. Mojosari, Kab. Mojokerto, Jawa Timur) .....  | 40 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Pasir Bojonegoro (Desa Plesungan, Kec. Kapas, Kab. Bojonegoro, Jawa Timur) .....   | 40 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Pasir Lumajang (Desa Jugosari, Kec. Candipuro, Kab. Lumajang, Jawa Timur) .....  | 41 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Mengayak pasir dengan menggunakan alat penggetar....   | 42 |
| <b>Gambar 3. 8</b> Menimbang setiap pasir yang tertinggal pada setiap ukuran ayakan .....   | 42 |
| <b>Gambar 3. 9</b> Pengecekan kondisi pasir SSD dengan kerucut SSD .....  | 43 |
| <b>Gambar 3. 10</b> Kondisi pasir belum SSD.....  | 44 |
| <b>Gambar 3. 11</b> Pasir kondisi SSD .....   | 44 |
| <b>Gambar 3. 12</b> Menimbang pasir SSD sebanyak 500 gram .....   | 44 |
| <b>Gambar 3. 13</b> Menimbang Labu takar 1000 cc dan menimbang labu takar berisi pasir .....  | 45 |
| <b>Gambar 3. 14</b> Menimbang labu takar+pasir+air dan menimbang labu takar berisi air .....  | 45 |



|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 3. 15</b> Menimbang pasir kondisi asli 500 gram.....   | 47 |
| <b>Gambar 3. 16</b> Memasukkan pasir kondisi asli kedalam oven .....   | 47 |
| <b>Gambar 3. 17</b> Menimbang pasir setelah dioven selama 24 jam .....   | 48 |
| <b>Gambar 3. 18</b> Menimbang pasir SSD sebanyak 500 gram.....   | 49 |
| <b>Gambar 3. 19</b> Memasukkan pasir SSD kedalam oven .....  | 49 |
| <b>Gambar 3. 20</b> Menimbang pasir setelah dioven selama 24 jam .....   | 50 |
| <b>Gambar 3. 21</b> Mengisi gelas ukur dengan pasir sebanyak 250 ml.<br>Mengaduk pasir dengan air.....   | 51 |
| <b>Gambar 3. 22</b> Mengukur tinggi lumpur dan pasir .....   | 51 |
| <b>Gambar 3. 23</b> (a) Fly ash Tipe C, (b) $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , (c) NaOH, (d) Mesin Los<br>Angles, dan (e) 19 buah bola baja.....  | 60 |
| <b>Gambar 3. 24</b> Memasukkan (a) Fly ash, (b) $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ dan (c) NaOH<br>kedalam mesin grinding.....  | 60 |
| <b>Gambar 3. 25</b> Memasukkan 12 bola besi kedalam mesin grinding .....   | 61 |
| <b>Gambar 3. 26</b> Mesin penghitung pada mesin grinding semen geopolimer<br>.....   | 61 |
| <b>Gambar 3. 27</b> Hasil grinding semen geopolimer.....   | 61 |
| <b>Gambar 3. 28</b> Menimbang semen geopolimer dan air.....  | 62 |
| <b>Gambar 3. 29</b> Pembuatan pasta semen geopolimer.....  | 62 |
| <b>Gambar 3. 30</b> Proses pengujian pasta semen geopolimer dengan alat<br>vicat .....   | 63 |
| <b>Gambar 3. 31</b> Bahan: (a) Agregat halus (pasir), (b) Semen geopolimer<br>dan (c) Air. Alat: (d) Mold 5x5 cm, (e) Timba plastic, (f) Cetok, dan (g)<br><i>Hand mixer</i> ..... | 64 |
| <b>Gambar 3. 32</b> Mengoleskan oli pada permukaan cetakan .....   | 65 |
| <b>Gambar 3. 33</b> Memasukkan (a) pasir dan (b) semen geopolimer ke dalam<br>timba plastic.....   | 65 |
| <b>Gambar 3. 34</b> Mengaduk campuran pasir dan semen geopolimer dengan<br>hand mixer hingga tercampur .....   | 65 |
| <b>Gambar 3. 35</b> Memasukkan air secara bertahap dan mengaduk hingga<br>homogen .....  | 66 |
| <b>Gambar 3. 36</b> Memasukkan adonan mortar kedalam cetakan kubus<br>5x5x5 cm .....   | 66 |
| <b>Gambar 3. 37</b> Metode curing.....   | 66 |
| <b>Gambar 3. 38</b> Alat concrete penetrometer spring type seris TO-388-S1<br>.....  | 67 |
| <b>Gambar 3. 39</b> Pengujian <i>setting time</i> mortar geopolimer dengan<br>menggunakan alat <i>penetrometer concrete</i> .....  | 67 |
| <b>Gambar 3. 40</b> Alat UPV .....   | 68 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 3. 41</b> (a) Mengoleskan stempet pada benda uji. (b) Menempelkan alat UPV pada benda uji.....                                 | 68 |
| <b>Gambar 3. 42</b> Tampilan hasil pengujian UPV.....  | 69 |
| <b>Gambar 3. 43</b> Pengujian kuat tekan mortar geopolimer.....  | 70 |
| <b>Gambar 4. 1</b> Grafik Sebaran Ukuran Partikel (Particle Size Distribution - PSD) pada Fly Ash PLTU PT. Jawa Power.....               | 73 |
| <b>Gambar 4. 2</b> (a) SEM fly ash Tipe C dengan perbesaran 3000x, (b) Spectrum SEM fly ash Spot 1, (c) Spectrum SEM fly ash Spot 2..... | 74 |
| <b>Gambar 4. 3</b> Grafik analisa saringan pasir Lumajang.....   | 76 |
| <b>Gambar 4. 4</b> Grafik analisa saringan pasir Mojokerto.....  | 77 |
| <b>Gambar 4. 5</b> Grafik analisa saringan pasir Bojonegoro.....   | 78 |
| <b>Gambar 4. 6</b> Grafik analisa saringan Pasir Mojokerto, Pasir Bojonegoro dan Pasir Lumajang.....                                     | 79 |
| <b>Gambar 4. 7</b> Nilai Modulus Kehalusan Pasir Lumajang, Pasir Mojokerto dan Pasir Bojonegoro.....                                     | 79 |
| <b>Gambar 4. 8</b> Berat jenis pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang.....   | 80 |
| <b>Gambar 4. 9</b> Kadar kelembaban pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang.....  | 81 |
| <b>Gambar 4. 10</b> Kadar air resapan pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang.....  | 82 |
| <b>Gambar 4. 11</b> Kadar lumpur pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang.....   | 83 |
| <b>Gambar 4. 12</b> Hasil pengujian kadar lumpur (a) Pasir Mojokerto, (b) Pasir Bojonegoro dan (c) Pasir Lumajang.....                   | 84 |
| <b>Gambar 4. 13</b> Grafik uji setting time pasta semen (binder) geopolimer.....   | 85 |
| <b>Gambar 4. 14</b> Initial dan Final Setting Time Pasta Semen Geopolimer.....   | 86 |
| <b>Gambar 4. 15</b> Nilai Kuat Tekan Pasta Semen Geopolimer Umur 28 Hari.....  | 87 |
| <b>Gambar 4. 16</b> Grafik waktu pengikatan mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 8 molar.....                                       | 88 |
| <b>Gambar 4. 17</b> Grafik waktu ikat mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 12 molar.....  | 89 |
| <b>Gambar 4. 18</b> Grafik waktu ikat mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 14 molar.....  | 89 |
| <b>Gambar 4. 19</b> Grafik waktu ikat seluruh variabel mortar geopolimer.....  | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Gambar 4. 20</b> Grafik nilai kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang.....                 | 93  |
| <b>Gambar 4. 21</b> Grafik nilai kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir mojokerto .....               | 95  |
| <b>Gambar 4. 22</b> Grafik nilai kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro .....              | 97  |
| <b>Gambar 4. 23</b> Hubungan setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 8 molar).....  | 99  |
| <b>Gambar 4. 24</b> Hubungan setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 12 molar)..... | 100 |
| <b>Gambar 4. 25</b> Hubungan setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 14 molar)..... | 101 |
| <b>Gambar 4. 26</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-12M-(a) .....              | 103 |
| <b>Gambar 4. 27</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-8M-(a) .....               | 103 |
| <b>Gambar 4. 28</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-8M-(a) .....               | 103 |
| <b>Gambar 4. 29</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-14M-(a) .....              | 103 |
| <b>Gambar 4. 30</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-14M-(a) .....              | 104 |
| <b>Gambar 4. 31</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-12M-(a) .....              | 104 |
| <b>Gambar 4. 32</b> Hubungan kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-12M-(a).....                     | 104 |
| <b>Gambar 4. 33</b> Hubungan kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-8M-(a).....                      | 104 |
| <b>Gambar 4. 34</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-14M-(a).....               | 104 |
| <b>Gambar 4. 35</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-8M-(b).....                | 105 |
| <b>Gambar 4. 36</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-12M-(b) .....              | 105 |
| <b>Gambar 4. 37</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-14M-(b).....               | 105 |
| <b>Gambar 4. 38</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-8M-(b).....                | 105 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Gambar 4. 39</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-14M-(b) ..... | 105 |
| <b>Gambar 4. 40</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-12M-(b) ..... | 105 |
| <b>Gambar 4. 41</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-8M-(b) .....  | 106 |
| <b>Gambar 4. 42</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-12M-(b) ..... | 106 |
| <b>Gambar 4. 43</b> Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-14M-(b) ..... | 106 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Tabel Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> .....   | 7  |
| <b>Tabel 2. 2</b> Molaritas NaOH dalam beberapa konsentrasi .....  | 11 |
| <b>Tabel 2. 3</b> Notasi prosentase kandungan oksida dalam larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3$<br>.....  | 11 |
| <b>Tabel 2. 4</b> Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan<br>Variasi Suhu Curing .....  | 13 |
| <b>Tabel 2. 5</b> Susunan butir agregat halus .....  | 16 |
| <b>Tabel 2. 6</b> Zona Gradasi Agregat Halus (SNI 2834-2002) .....   | 17 |
| <b>Tabel 2. 7</b> Penggunaan jarum .....   | 26 |
| <b>Tabel 2. 8</b> Klasifikasi Standar Deviasi .....  | 31 |
| <b>Tabel 2. 9</b> Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang<br>.....  | 33 |
| <b>Tabel 3. 1</b> Perbandingan berat NaOH padat dan air dalam konsentrasi<br>molar larutan NaOH .....  | 54 |
| <b>Tabel 3. 2</b> Prosentase kandungan oksida pada $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ cair .....  | 54 |
| <b>Tabel 3. 3</b> Tabel Mix Design Semen Geopolimer .....  | 58 |
| <b>Tabel 3. 4</b> Tabel Mix Design Pasta Semen Geopolimer .....  | 59 |
| <b>Tabel 3. 5</b> Tabel <i>Mix design</i> Mortar Geopolimer .....  | 59 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Hasil Uji XRF Pada Fly Ash .....   | 72 |
| <b>Tabel 4. 2</b> Kandungan Mineral Hasil Pengujian XRD Terhadap Fly Ash<br>yang Digunakan .....   | 72 |
| <b>Tabel 4. 3</b> Data Hasil <i>Laser Diffraction Analys</i> Pada Pengujian PSD <i>Fly<br/>Ash</i> yang Digunakan dalam Penelitian ini ..... | 73 |
| <b>Tabel 4. 4</b> Kandungan oksida pada $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .....  | 75 |
| <b>Tabel 4. 5</b> Kadar kemurnian pada NaOH .....  | 75 |
| <b>Tabel 4. 6</b> Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir<br>Lumajang .....   | 76 |
| <b>Tabel 4. 7</b> Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir<br>Bojonegoro .....   | 78 |
| <b>Tabel 4. 8</b> Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir .....  | 80 |
| <b>Tabel 4. 9</b> Hasil Pengujian Kadar Kelembaban Pasir .....   | 81 |
| <b>Tabel 4. 10</b> Hasil Pengujian Kadar Air Resapan Pasir .....   | 82 |
| <b>Tabel 4. 11</b> Hasil Pengujian Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur .....  | 83 |
| <b>Tabel 4. 12</b> Initial dan Final Setting Time Pasta Semen Geopolimer ..  | 85 |
| <b>Tabel 4. 13</b> Hasil uji kuat tekan pasta semen geopolimer pada umur 28<br>hari .....  | 87 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabel 4. 14</b> Hasil pengikatan awal dan akhir mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 8 Molar .....                      | 88  |
| <b>Tabel 4. 15</b> Hasil pengikatan awal dan akhir mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 12 Molar .....                     | 89  |
| <b>Tabel 4. 16</b> Hasil pengikatan awal dan akhir mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 14 Molar .....                     | 90  |
| <b>Tabel 4. 17</b> Hasil pengujian UPV pada benda uji mortar geopolimer dengan pasir lumajang .....                             | 91  |
| <b>Tabel 4. 18</b> Hasil pengujian UPV pada benda uji mortar geopolimer dengan pasir mojkerto.....                              | 91  |
| <b>Tabel 4. 19</b> Hasil pengujian UPV pada benda uji mortar geopolimer dengan pasir bojonegoro.....                            | 92  |
| <b>Tabel 4. 20</b> Hasil kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang .....  | 93  |
| <b>Tabel 4. 21</b> Perkembangan kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang terhadap kuat tekan usia 56 hari .....  | 93  |
| <b>Tabel 4. 22</b> Hasil kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir mojkerto.....   | 95  |
| <b>Tabel 4. 23</b> Perkembangan kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir mojkerto terhadap kuat tekan usia 56 hari .....  | 95  |
| <b>Tabel 4. 24</b> Hasil kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro .....  | 97  |
| <b>Tabel 4. 25</b> Perkembangan kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro terhadap kuat tekan usia 56 hari..... | 97  |
| <b>Tabel 4. 26</b> Data setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 8 molar).....                         | 99  |
| <b>Tabel 4. 27</b> Data setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 12 molar).....                        | 100 |
| <b>Tabel 4. 28</b> Data setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 14 molar).....                        | 100 |
| <b>Tabel 4. 29</b> Data hasil nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer..  | 102 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Geopolimer merupakan salah satu inovasi alternatif untuk mengurangi pemakaian semen Portland dalam produksi beton. Beton geopolimer yang pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Davidovits berasal dari proses geopolimerisasi yakni geosintesis alumino silikat polimerik dan alkali-silikat menjadi kerangka polimer  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 2008). Beton geopolimer diproduksi dari material aluminosilikat seperti *fly ash* yang diaktifkan dengan larutan alkali untuk membentuk binder (Mane & Jadhv, 2012). *Fly ash* merupakan salah satu material sisa limbah industri yang tergolong kedalam material pozzolan, dikarenakan material ini memiliki kandungan Si dan Al, sifat inilah yang menjadikan *fly ash* dapat bereaksi dengan alkali sehingga menghasilkan material alternatif pengganti semen Portland (Rattanasak & Chindapasirt, 2009; Hardjito, 2005). *Fly ash* tipe C yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan *high-calcium fly ash* dengan kadar CaO yang lebih besar dari 10% (ASTM C 618-05, 2005) tergolong material yang jarang digunakan dalam campuran beton geopolimer. Hal ini dikarenakan, *setting time* dalam *high-calcium fly ash* berlangsung cepat akibat dari reaksi hidorliknya meningkat seiring dengan meningkatnya kadar kalsium dan sulit diprediksi (Wang, 2006; Roberts, 2007). Penelitian dengan menggunakan beton geopolimer mulai banyak dilakukan. Umumnya dilakukan studi mengenai pengaruh parameter tertentu terhadap beton geopolimer seperti: rasio sodium hidroksida/sodium silikat, rasio alkali/*fly ash*, molaritas alkali aktivator, proporsi *fly ash* dan sebagainya. Belum banyak studi yang membahas mengenai pengaruh agregat dalam beton geopolimer (Joseph & Mathew, 2012).

Volume beton umumnya mengandung sekitar 80% agregat yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik beton, seperti kekasaran dan kekerasannya (Mermerdas dkk, 2017). Walaupun



funginya hanya sebagai bahan pengisi, tetapi karena komposisi yang digunakan cukup besar, sehingga karakteristik agregat akan sangat menentukan sifat beton yang akan dihasilkan, terutama pada ketahanan dan kekuatannya (Dwisetyowati, 2008). Gradasi, bentuk dan tekstur agregat yang digunakan dalam beton akan sangat berpengaruh terhadap *workability*, *finishability*, *bleeding* dan segregasi beton segar. Proporsi pencampuran dan variasi gradasi yang buruk akan menyebabkan turunnya daya tahan (*durability*) beton (Mermerdas dkk, 2017).

Dari permasalahan tersebut, belum banyak studi yang memaparkan mengenai pengaruh karakteristik agregat yang digunakan terhadap *setting time* beton geopolimer dengan *fly ash* tipe C. Sehingga, dalam tugas akhir ini melakukan studi mengenai pengaruh karakteristik agregat khususnya agregat halus terhadap waktu ikat mortar geopolimer yang menggunakan *fly ash* tipe C.

## 1.2. Rumusan Masalah

Karakteristik agregat akan berpengaruh terhadap beton geopolimer yang dihasilkan. Beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C dengan kadar kalsium yang tinggi memiliki *setting time* yang cepat dan sulit diprediksi. Untuk dapat mengetahui pengaruh dari karakteristik agregat terhadap beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik material penyusun yang digunakan melalui hasil pengujian sesuai standar?
2. Bagaimana pengaruh dari karakteristik agregat halus yang digunakan terhadap waktu pengerasan, kuat tekan dan UPV dari mortar geopolimer dengan *fly ash* tipe C?

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda uji berupa mortar geopolimer.
2. Material yang digunakan:
  - a. Material *fly ash* tipe C dari limbah PLTU Paiton Jawa Power.
  - b. Material  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (*granular*) dari PT. Brataco

- c. Material NaOH (*flake*) dari PT. Brataco
  - d. Agregat halus dari tiga daerah: pasir lumajang, pasir mojosuro, dan pasir bojonegoro.
  - e. Air yang digunakan adalah air biasa non aquades.
3. Pengujian bahan dasar dan output yang akan dihasilkan :
- a. *Fly Ash*: uji *X-Ray Diffraction* (XRD), uji *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Particle Size Distribution* (PSD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) .
  - b. Agregat halus: uji analisa saringan, berat jenis, kelembaban, kadar air resapan, dan kebersihan terhadap lumpur.
  - c. Mortar Geopolimer: uji *Setting time*, uji kuat tekan dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

#### **1.4. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik material penyusun yang digunakan melalui hasil pengujian sesuai standar.
2. Mengetahui pengaruh karakteristik agregat halus terhadap waktu pengerasan, kuat tekan dan UPV dari mortar geopolimer dengan *fly ash* tipe C .

#### **1.5. Manfaat**

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai parameter yang dapat mempengaruhi *setting time* mortar geopolimer. Selanjutnya, hasil penelitian yang berupa mortar geopolimer dapat digunakan sebagai tindak lanjut untuk pemakaian beton geopolimer dalam infrastruktur.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Geopolimer**

Geopolimer adalah bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa melalui material yang banyak mengandung silika (Si) dan alumina (Al). Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh peneliti asal Prancis bernama Joseph Davidovits (1978), dalam penelitiannya menyatakan bahwa, larutan alkaline sebagai aktivator dapat bereaksi dengan material yang mengandung silika (Si) dan alumina (Al) yang berasal dari produk sampingan seperti: abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*rice husk ash*) ataupun *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS) untuk dapat digunakan sebagai bahan pengikat (Sharma & Ahmad, 2017). Larutan alkaline yang dapat digunakan adalah: campuran sodium hydroxide (NaOH) dan sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) atau potassium hydroxide (KOH) dan potassium silicate ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) (Sreenivasulu dkk, 2016). Beton geopolimer adalah beton yang sepenuhnya mengganti semen portland dengan material pozzolanic yang mengandung silika (Si) dan alumina (Al) seperti pada *fly ash*. Silika (Si) dan alumina (Al) yang ada pada *fly ash* direaksikan dengan aktivator alkali dan membentuk geopolimer gel. Geopolimer gel ini kemudian akan mengikat agregat-agregat serta material yang lain dalam campuran yang tidak bereaksi untuk membentuk beton geopolimer (Wallah, 2014).

##### **2.1.1. Semen Geopolimer (cara kering).**

Semen geopolimer adalah campuran kering antara *fly ash* dengan alkali aktivator berupa natrium hidroksida (NaOH) padat dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) padat yang dihaluskan secara bersamaan dengan komposisi tertentu, sehingga menghasilkan butiran halus mirip semen.

### **2.1.2. Pasta Semen Geopolimer**

Pasta semen geopolimer (*binder*) terdiri dari campuran semen geopolimer (*fly ash* + alkali aktivator) dengan air baik yang dikeraskan atau tidak dikeraskan.

### **2.1.3. Mortar Geopolimer**

Mortar geopolimer tersusun dari campuran agregat halus, semen geopolimer dan air baik dalam keadaan dikeraskan ataupun tidak dikeraskan.

### **2.1.4. Beton Geopolimer**

Beton geopolimer tersusun dari agregat halus, agregat kasar, semen geopolimer, dan air. Beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan semen portland sebagai bahan pengikat, sebagai pengganti digunakan abu terbang (*fly ash*) yang banyak mengandung unsur silika (Si) dan alumina (Al). Unsur-unsur tersebut direaksikan dengan cairan alkalin untuk menghasilkan bahan pengikat (*binder*). Kemudian *binder* akan mengikat agregat-agregat serta material lain dalam campuran yang tidak bereaksi untuk membentuk beton geopolimer.

## **2.2. Material Penyusun**

### **2.2.1. Fly Ash**

Abu terbang (*fly ash*) merupakan partikel halus hasil produksi sampingan industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton memberikan dua keuntungan sekaligus yakni: mengurangi polusi yang diakibatkan oleh industri semen dan memanfaatkan limbah buangan yang sudah tidak digunakan lagi (Marthin D. J, 2014).

Peraturan Pemerintah Nomor 85 Tahun 1999 menyatakan bahwa *fly ash* merupakan limbah dari pembakaran batu bara yang dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Komposisi pada *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potasium, sodium, titanium, sulfur, dalam jumlah

yang kecil (Simanjuntak, 2016). ASTM C618 mengklasifikasikan *fly ash* menjadi dua yakni *fly ash* Tipe-F dan *fly ash* Tipe-C. Perbedaan diantara kedua tipe *fly ash* adalah kadar kalsium (Ca), silika (Si), aluminium (Al) dan besi (Fe) dalam butiran. Sifat kimia *fly ash* sangat dipengaruhi oleh kandungan kimia dari jenis batu bara yang dibakar (anthracite, bituminous, dan lignite) (Pilehvar, et al., 2018). Berikut ini adalah jenis *fly ash* (ASTM C 618) :

1. *Fly Ash* Tipe-F

*Fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara *anthracite* atau *bituminous* yang memiliki sifat pozzolanic.

- Kandungan CaO < 10% (*low calcium*)
- Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 70%
- Kadar Na<sub>2</sub>O < 5%

2. *Fly Ash* Tipe-C

*Fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *subbituminous* (batubara muda) yang memiliki sifat pozzolanic.

- Kandungan CaO > 10% (*high calcium*)
- Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 50%
- Kadar Na<sub>2</sub>O mencapai 10%

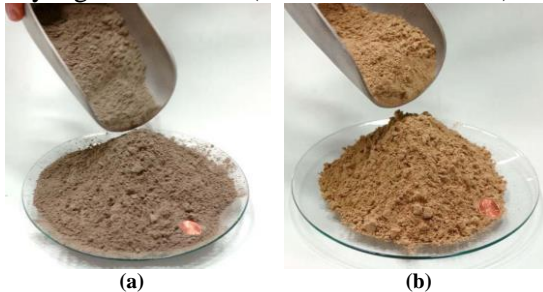
**Tabel 2. 1** Tabel Kandungan Kimia *Fly Ash*

| Senyawa  | Kelas Campuran Mineral |       |       |
|--|------------------------|-------|-------|
|  | N (%)                  | F (%) | C (%) |
| <b>SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 70.0                   | 70.0  | 50.0  |
| <b>SO<sub>3</sub></b>  | 4.0                    | 5.0   | 5.0   |
| <b>Moisture content</b>  | 3.0                    | 3.0   | 3.0   |
| <b>Loss of Ignition</b>  | 10.0                   | 6.0   | 6.0   |

(Sumber : ASTM C 618-05 Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete';).

Pilehvar (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa, kadar CaO tinggi pada *fly ash* Tipe-C akan menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi, tetapi memiliki *setting time* yang singkat (kurang dari 3 menit). Umumnya *fly ash* Tipe-F dipilih sebagai *row material* yang bagus untuk beton geopolimer, hal ini

dikarenakan tingkat reaktivitas yang rendah yang mengarah pada *setting time* yang lebih lambat (Pilehvar, et al., 2018).



Gambar 2. 1 (a) *Fly ash* tipe F, (b) *Fly ash* tipe C

### 2.2.2. Alkali Aktivator

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Aktivator yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer adalah unsur alkali terhidrasi yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) (Triwulan, 2007). Penggunaan sodium hidroksida sebagai alkali aktivator berfungsi mereaksikan unsur-unsur silika (Si) dan Aluminium (Al) yang terkandung didalam *fly ash* sehingga, dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sedangkan sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi dalam beton geopolimer (Wallah, 2014). Patankar (2013) dalam penelitiannya menggunakan aktivator berbahan sodium, dimana penggunaan aktivator tunggal baik sodium hidroksida atau sodium silikat saja tidak akan mendapatkan hasil yang efektif. Sehingga, digunakan kombinasi antara sodium hidroksida dan sodium silikat sebagai aktivator pada *fly ash* dalam pembuatan beton geopolimer (Pantakar dkk, 2015). Hardjito dan Rangan (2005), dalam penelitiannya menggunakan konsentrasi sodium hidroksida (NaOH) yang digunakan berkisar antara 8M-16M. Perbandingan massa antara sodium silikat dan sodium hidroksida berkisar antara 0,4-2,5. Sedangkan untuk perbandingan massa antara alkali aktivator dengan *fly ash* berkisar 35%. Mereka menyimpulkan bahwa, semakin tinggi konsentrasi molaritas sodium hidroksida

menyebabkan semakin tinggi kuat tekan beton geopolimer. Semakin tinggi massa antara sodium silikat dengan sodium hidroksida menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan. Kuat tekan beton geopolimer pada umur 7 hari mencapai 67 Mpa (Ekaputri, 2007).



**Gambar 2. 2** (a)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  padat dan (b)  $\text{NaOH}$  padat  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi).

### 2.2.3. Agregat

Agregat merupakan butiran alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton (Tjokrodimulyo, 1992). Kandungan agregat dalam beton umumnya berkisar antara 60-80% dari volume beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai bahan pengisi, tetapi karena komposisi yang digunakan cukup besar, sehingga karakteristik agregat akan sangat menentukan sifat beton yang akan dihasilkan, terutama pada ketahanan dan kekuatannya (Dwisetyowati, 2008). Agregat yang akan digunakan harus mempunyai bentuk yang baik (bulat dan mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik. Apabila butiran agregat mempunyai ukuran yang sama atau seragam maka volume pori akan besar, sebaliknya apabila ukuran butiran pada agregat bervariasi maka volume pori akan kecil. Hal ini terjadi karena butiran kecil dapat mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-pori dalam beton menjadi lebih sedikit, dengan kata lain agregat tersebut mempunyai kemampuan yang tinggi. Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, menurut ASTM C 33 agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,75 mm disebut



agregat halus, sedangkan agregat yang butirannya lebih besar dari 4,75 mm disebut agregat kasar (Akmalia, 2016).



**Gambar 2. 3** Agregat Halus (Pasir Lumajang)  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi).

#### **2.2.4. Air**

Air merupakan salah satu bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan beton. Penggunaan air bertujuan untuk memicu terjadinya hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dengan air. Hal ini yang menyebabkan campuran beton menjadi keras setelah beberapa waktu tertentu (Zuraidah & Jatmiko, 2007). Air yang digunakan harus bebas dari zat berbahaya yang dapat mengganggu proses hidrasi antara semen dengan air. Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak dapat mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton (Akmalia, 2016). Menurut PBI 1971, persyaratan pemakaian air untuk campuran beton yakni: tidak mengandung lumpur ataupun benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/lt, tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lt, dan tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lt (Rizqi, 2018).

### 2.3. Perhitungan *Mix Design* Metode Kering

Dalam melakukan perhitungan *mix design* mortar geopolimer metode kering perlu dilakukan perhitungan rasio masing-masing komposisi yang mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Karim Yasin (2017 dan standar spesifikasi mortar (ASTM C 1329), berikut adalah tahapan perhitungan penentuan *mix design* :

- a. Menentukan perbandingan bahan pengikat dan bahan pengisi mortar. Rasio perbandingan agregat dan semen dalam campuran mortar adalah diantara 2¼:1 dan 3½:1 (ASTM C 1329).
- b. Perhitungan konversi campuran basah ke campuran kering semen geopolimer (Yasin, 2017), sebagai berikut :
  - 1) Menyajikan notasi dan spesifikasi masing-masing komposisi pada beton geopolimer.
    - Notasi masing-masing material
      - Fly ash =  $W_f$
      - Larutan NaOH =  $W_{lh}$
      - Larutan  $Na_2SiO_3$  =  $W_{ls}$
      - Padatan NaOH =  $W_{ph}$
      - Padatan  $Na_2SiO_3$  =  $W_{ps}$
    - Spesifikasi alkali activator

**Tabel 2. 2** Molaritas NaOH dalam beberapa konsentrasi

| Molaritas | Padatan (gram) | Air (gram) | $\frac{\text{Padatan}}{\text{Larutan}}$ | $\frac{\text{Padatan}}{\text{Air}}$ |
|-----------|----------------|------------|---|-------------------------------------|
| 16        | 444            | 556        | 44%                                     | 80%                                 |
| 14        | 404            | 596        | 40%                                     | 68%                                 |
| 12        | 361            | 639        | 36%                                     | 56%                                 |
| 10        | 314            | 686        | 31%                                     | 46%                                 |
| 8         | 262            | 738        | 26%                                     | 36%                                 |

**Tabel 2. 3** Notasi prosentase kandungan oksida dalam larutan  $Na_2SiO_3$

| Oksida            | Notasi             |
|-------------------|--------------------|
| SiO <sub>2</sub>  | %SiO <sub>2</sub>  |
| Na <sub>2</sub> O | %Na <sub>2</sub> O |
| H <sub>2</sub> O  | %H <sub>2</sub> O  |

2) Menghitung massa padat dari activator dan prosentase perbandingan *fly ash* terhadap padatan activator

- Menghitung NaOH dalam wujud padat ( $W_{ph}$ ), yaitu:

$$NaOH \text{ padat } (W_{ph}) = W_{lh} \times \frac{\text{Padatan}}{\text{Larutan}}$$

- Menghitung  $Na_2SiO_3$  dalam wujud padat ( $W_{ps}$ ), yaitu:

$$Na_2SiO_3 \text{ padat } (W_{ps}) = W_{ls} \times (100\% - \%H_2O)$$

- Menghitung prosentase *fly ash* dalam suatu campuran bahan pengikat, yaitu:

$$\%fly \text{ ash} = \frac{W_f}{(W_f + W_{ph} + W_{ps})} \times 100\%$$

3) Perbandingan air terhadap semen geopolimer (Rasio w/c)

Seperti bahan pengikat pada semen Portland, maka bahan pengikat geopolimer dengan metode pecampuran kering juga membutuhkan perhitungan rasio air terhadap semen geopolimer.

- Menghitung massa air dalam larutan NaOH ( $W_{wlh}$ ) =  $W_{lh} - W_{ph}$
- Menghitung massa air dalam larutan  $Na_2SiO_3$  ( $W_{wls}$ ) =  $W_{ls} - W_{ps}$
- Menghitung massa air total dalam larutan alkali activator ( $W_{total}$ ) =  $W_{wlh} + W_{wls}$
- Menghitung rasio air terhadap semen (bahan pengikat):

$$w/c \text{ Rasio} = \frac{W_{wtotal}}{(W_f + W_{ph} + W_{ps})}$$

## 2.4. Curing

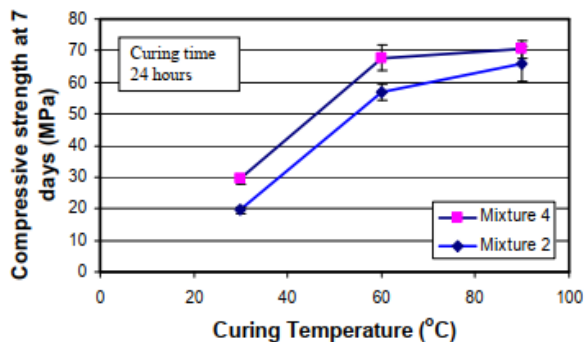
Suhu dan waktu curing memberikan pengaruh penting dalam menentukan propertis geopolimer yang menggunakan material sampingan seperti *fly ash* (Hardjito, 2005). Palomo (1999) menyatakan bahwa, peningkatan suhu curing dapat mempercepat aktivasi *fly ash* dan menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Hardjito (2005) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pengujian awal beton geopolimer berbasis *fly ash* tidak diletakkan dalam suhu ruangan. Ketika suhu ruangan berada dibawah  $30^\circ C$ , *setting* tidak terjadi selama 24 jam. Studi yang telah dilakukan oleh Hardjito (2005) mengenai beton geopolimer dengan *fly ash* tipe F,

menggunakan metode *oven curing* dengan variasi suhu 30°C, 60°C, dan 90°C selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan dengan umur 7 hari dari masing-masing benda uji. Hasil yang diperoleh yakni semakin tinggi suhu curing yang diberikan maka terjadi peningkatan kuat tekan beton geopolimer. Hasil kuat tekan tertinggi terdapat pada benda uji dengan suhu curing 90°C yakni sebesar 66 MPa untuk variasi Mixture 2 dan 70 MPa untuk variasi Mixture 4. Peningkatan kuat tekan dengan variasi suhu curing dapat dilihat pada gambar dibawah:

**Tabel 2. 4** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Variasi Suhu Curing

| Mixture No | Curing       |           |        | Compressive Strength (Mpa) |
|------------|--------------|-----------|--------|----------------------------|
|            | Time (hours) | Temp (°C) | Method |                            |
| 2          | 24           | 30        | Oven   | 20                         |
|            | 24           | 60        | Oven   | 57                         |
|            | 24           | 90        | Oven   | 66                         |
| 4          | 24           | 30        | Oven   | 29                         |
|            | 24           | 60        | Oven   | 68                         |
|            | 24           | 90        | Oven   | 70                         |

(Sumber: *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete* (Hardjito, 2005)).



**Gambar 2. 4** Efek temperatur curing pada kuat tekan beton geopolimer  
(Sumber: *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete* (Hardjito, 2005)).

Studi kali ini akan dilakukan dua jenis metode perawatan benda uji diantaranya: metode *ambient curing* yang merupakan

metode dengan menyimpan benda uji dalam suhu ruangan dan metode *oven curing* yakni metode dengan memasukkan benda uji kedalam oven selama 24 jam dan selanjutnya benda uji disimpan dalam suhu ruangan sebelum dilakukan pengujian berdasarkan umur yang direncanakan.

## **2.5. Pengujian Material**

### **2.5.1. X-Ray Diffraction (XRD)**

*X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan pengujian yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal dan ukuran kristal dari suatu material padat. Pada Pengujian ini dalam beton geopolimer berbasis *fly ash* bertujuan untuk mengetahui komposisi dan intensitas utama penyusun *fly ash* yang akan digunakan (Triwulan, 2014). XRD bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan mineral maupun senyawa seperti: Quartz, Mulite, Kaolimit dan mineral lainnya. Mineral Quartz dan Mulite merupakan mineral yang banyak ditemukan dalam *fly ash* Tipe F. Sedangkan mineral Quartz, Periclase, Anyhydrite, Lime, C3A, dan CA<sub>4</sub>S banyak ditemukan dalam *fly ash* Tipe C (J K Tishmack, 1999).

### **2.5.2. X-Ray Fluorescence (XRF)**

*X-Ray Fluorescence* (XRF) merupakan pengujian yang digunakan untuk menganalisis unsur yang terkandung didalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif berarti memberikan informasi mengenai jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis dengan ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur energi sinar-x karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif berarti memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jamaludin & Adiantoro, 2012). Pengujian ini dalam penelitian geopolimer digunakan untuk menguji material seperti: *fly ash*, Kaolin, *Blast Furnace Slag*, dan material sejenis lainnya. Pengujian ini dalam beton geopolimer berbasis *fly ash* bertujuan

untuk menentukan tipe *fly ash* yang digunakan tergolong *low calcium* atau *high calcium* dan Tipe-C atau Tipe-F (Yasin, 2017).

### **2.5.3. Particle Size Distribution (PSD)**

*Particle size distribution* (PSD) adalah pengujian untuk mengetahui sebaran butiran suatu material dengan ukuran butiran dari yang berukuran 0,02 – 2000  $\mu\text{m}$  dengan menggunakan teori *Frangofer* yaitu prinsip *laser light scattering*. Distribusi ukuran partikel semen tidak hanya mempengaruhi dalam proses penggilingan, tetapi juga sifat pasta semen dan beton. Penelitian yang dilakukan oleh Feret (1986) mempelajari tentang pengaruh distribusi ukuran partikel terhadap sifat-sifat beton dari partikel dan diketahui bahwa untuk mendapatkan kualitas beton mutu tinggi harus ada distribusi yang cocok dan sesuai dengan ukuran partikel yang berbeda untuk mencapai kepadatan maksimum. Frigione dan Marra (1976) dalam studinya mempelajari tentang masalah hidrasi semen dan meletakkan sudut pandang bahwa, semakin sempit ukuran partikel distribusi semen, semakin cepat hidrasi semen yang terjadi (Rizqi, 2018).

### **2.5.4. SEM-EDX**

SEM (*Scanning electron microscope*) adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik material yang heterogen dalam permukaan bahan dengan skala mikrometer dan submicrometer yang dirangkai dengan EDX (*Energy Dispersive Spectrometer*). Pengujian SEM dapat mengamati karakteristik bentuk, struktur dan distribusi pori pada permukaan bahan. Sedangkan komposisi serta kadar unsur yang terkandung dalam sampel dianalisis dengan menggunakan EDX (Rizqi, 2018). Dalam pengukuran SEM-EDX, untuk setiap sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area dan terjadi interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi ini berupa energi yang pancaran elektron dalam bentuk sinar-X dan kemudian akan dideteksi serta dihitung oleh EDX sehingga akan dihasilkan keluaran berupa grafik puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang terkandung (Junhao Zhang dkk, 2007). Hasil analisa sinar-X yang diemisikan oleh

material tersebut digunakan sebagai respon terhadap tumbukan dari partikel bermuatan. Selanjutnya akan dideteksi dan diubah kedalam sebuah gambar oleh analisis SEM dan di analisis oleh EDX kedalam bentuk grafik (Prasetyo, 2011).

### 2.5.5. Analisa Saringan Agregat

Gradasi agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Apabila gradasi agregat sudah sesuai dengan spesifikasi yang diisyaratkan, maka kualitas beton akan baik. Hal ini karena tidak ada rongga yang terdapat didalam beton. Sebaliknya, apabila gradasi agregat tidak sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan maka kualitas beton akan kurang baik. Hal ini dikarena akan terdapat rongga didalam beton sehingga mengurangi kepadatan beton (Liannasari, 2013). Gradasi agregat yang baik untuk beton adalah agregat yang susunan butirnya terdiri dari butiran halus hingga kasar secara beraturan, karena butirannya akan saling mengisi hingga akan diperoleh beton dengan kepadatan yang tinggi. Menentukan ukuran agregat dengan cara menggunakan analisa saringan agregat. Analisa saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan yang kemudian angka-angka persentasenya ditabelkan dan digambarkan kedalam grafik kurva distribusi butir (Febriyatno, 2012).

**Tabel 2. 5** Susunan butir agregat halus

| <b>Ukuran Ayakan (mm)</b> | <b>% Tembus Kumulatif</b> |
|---------------------------|---------------------------|
| 9,5 mm (3/8 in)           | 100                       |
| 4,75 mm (No.4)            | 95-100                    |
| 2,36 mm (No.8)            | 80-100                    |
| 1,18 mm (No.16)           | 50-85                     |
| 0,6 mm (No.30)            | 25-60                     |
| 0,3 mm (No.50)            | 5-30                      |
| 0,15 mm (No.100)          | 0-10                      |

(Sumber : ASTM C 33 Standart Specification for Concrete Aggregates).

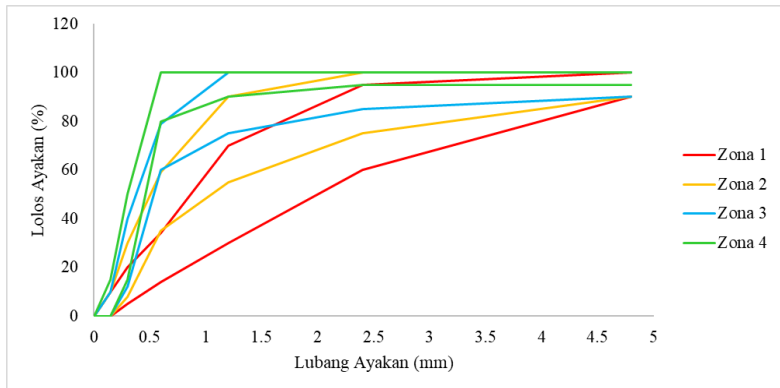
Proses pengujian analisa saringan agregat mengacu ASTM C33 *Standard Specification for Concrete Aggregates* sesuai dengan Tabel 2. 5 dan zona gradasi mengacu SNI 2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal sesuai dengan

Tabel 2. 6. Kekasaran agregat halus (pasir) dikelompokkan menjadi 4 zona, yaitu :

- Zona 1 : Pasir Kasar
- Zona 2 : Pasir Agak Kasar
- Zona 3 : Pasir Agak Halus
- Zona 4 : Pasir Halus

**Tabel 2. 6** Zona Gradasi Agregat Halus (SNI 2834-2002)

| Lubang Saringan<br>(mm) | % Lolos Saringan |            |             |            |             |            |             |            |
|-------------------------|------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                         | Zona 1           |            | Zona 2      |            | Zona 3      |            | Zona 4      |            |
|                         | Batas bawah      | Batas atas | Batas bawah | Batas atas | Batas bawah | Batas atas | Batas bawah | Batas atas |
| 0                       | 0                | 0          | 0           | 0          | 0           | 0          | 0           | 0          |
| 0.15                    | 0                | 10         | 0           | 10         | 0           | 10         | 0           | 15         |
| 0.3                     | 5                | 20         | 8           | 30         | 12          | 40         | 15          | 50         |
| 0.6                     | 14               | 34         | 35          | 59         | 60          | 79         | 80          | 100        |
| 1.2                     | 30               | 70         | 55          | 90         | 75          | 100        | 90          | 100        |
| 2.4                     | 60               | 95         | 75          | 100        | 85          | 100        | 95          | 100        |
| 4.8                     | 90               | 100        | 90          | 100        | 90          | 100        | 95          | 100        |



**Gambar 2. 5** Grafik Zona Gradasi Agregat Halus  
(Sumber : SNI 2834-2002)

Kekasaran modulus kehalusan butir (*fineness modulus*) adalah indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus kehalusan butir (FM) didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif sisa saringan diatas ayakan No. 100 ( $150\ \mu\text{m}$ ) dibagi seratus. Semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa semakin besar butir-butir agregatnya.



Modulus halus butir agregat halus berkisar antara 1.5 – 3.8 (SNI 03-1750-1990).

### 2.5.6. Berat Jenis Agregat Halus (ASTM C-128)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tersebut. Berat jenis juga dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara berat isi butir dengan berat isi air. Standart yang digunakan untuk menentukan berat jenis agregat halus adalah ASTM C-128 *Standard Test Method for Density, Relative Density and Absorption of Fine Aggregate*. Berat jenis agregat halus dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{500 \text{ gr}}{(500 \text{ gr} + W_2) - W_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana,

$W_1$  = Berat piknometer + pasir + air (gram)

$W_2$  = Berat piknometer + air (gram)

### 2.5.7. Kelembaban Agregat Halus (ASTM C- 566)

Pengujian kelembaban agregat halus merupakan pengujian untuk menentukan persentase kelembaban didalam agregat, baik kelembaban permukaan maupun kelembaban pori-pori agregat. Standart uji yang digunakan adalah ASTM C-566 *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. Persentase kelembaban agregat halus diisyaratkan menurut ASTM C-566 yakni berkisar antara 0,5% - 0,2%. Persentase kelembaban agregat halus dapat diperoleh dengan persamaan dibawah:

$$\frac{(W_2 - W_1)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,

$W_1$  = Berat pasir dalam kondisi asli (gram)

$W_2$  = Berat pasir dalam kondisi kering oven (gram)

### 2.5.8. Kadar Air Resapan Agregat Halus (ASTM C-128)

Pengujian kadar air resapan agregat halus bertujuan untuk menentukan persentase kadar resapan air terhadap agregat halus

yang digunakan (pasir). Pengujian ini menggunakan standart uji ASTM C-128 *Standard Test Method for Density, Relative Density and Absorption of Fine Aggregate*. Kadar air resapan agregat halus diiisyaratkan menurut ASTM C-128 yakni maksimum 4%. Persentase kadar air resapan agregat halus dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana,

$W_1$  = Berat pasir dalam kondisi SSD (gram)

$W_2$  = Berat pasir dalam kondisi oven (gram)

### **2.5.9. Kebersihan Agregat Halus Terhadap Lumpur (pengendapan) ASTM C33**

Pengujian kebersihan agregat terhadap lumpur bertujuan untuk mengetahui besar kandungan kadar lumpur yang terdapat didalam agregat halus yang akan digunakan. Persyaratan yang digunakan adalah ASTM C 33 *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Kandungan lumpur didalam agregat menurut standart yang digunakan yakni maksimum 5%. Persentase kadar lumpur didalam agregat dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{(h_1 - h_2)}{h_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana,

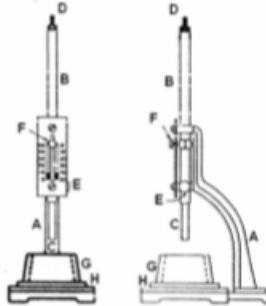
$h_1$  = Tinggi total agregat halus dan lumpur dalam botol (cm)

$h_2$  = Tinggi bersih agregat halus dalam botol (cm)

## 2.6. Pengujian Pasta Semen Geopolimer

### 2.6.1. Waktu Ikat (*Setting Time*) Pasta Semen Geopolimer (SNI 15-2049-2004)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan waktu yang diperlukan semen untuk mengeras. Terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen (binder) hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan (Arianto, 2014). Waktu ikat semen terdiri dari waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Waktu ikat awal adalah waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat, biasanya ditandai dengan penurunan penetrasi jarum vicat sedalam 25 mm. Sedangkan waktu ikat akhir adalah waktu dimana penetrasi jarum vicat tidak terlihat secara visual atau bacaan jarum mendekati atau sama dengan 0 mm (Yasin, 2017). Standar pengujian waktu ikat (*setting time*) pada semen dapat mengacu pada SNI 15-2049-2004. Berikut adalah alat vicat yang digunakan pada pengujian ini:



**Gambar 2. 6** Alat Vicat  
(Sumber : SNI 15 2049 2004).

Alat vicat harus terdiri dari rangka A Gambar 2. 6 yang mempunyai batang B yang dapat digerakkan, beratnya 300 gram, salah satu ujung torak C diameter 10 mm, berjarak sekurang-kurangnya 50 mm, dan ujung jarum D yang dapat dibongkar pasang berdiameter 1 mm dan panjang 50 mm. Batang B dapat dipergunakan secara bolak balik dan dapat dipasang dalam beberapa posisi dengan pengatur sekrup E dan mempunyai indikator F yang dapat diatur, dapat bergerak pada skala

(ditunjukkan dalam mm) yang skalanya dilekatkan pada rangka A. Pasta semen yang akan diuji dimasukkan dalam cincin G, yang kaku berbentuk kerucut, diletakkan diatas pelat datar H yang tidak menyerap air, lebar masing-masing sisinya  $\pm 100$  mm. Batang B terbuat dari baja tahan karat mempunyai kekerasan tidak kurang dari 35 HRC dan harus lurus dengan ujung torak yang tegak lurus terhadap sumbu batang B. Cincin terbuat dari bahan tidak korosi, tidak menyerap air mempunyai diameter dalam bagian bawah 70 mm dan bagian atas 60 mm dengan tinggi 40 mm (SNI 15 2049 2004). Disamping ketentuan tersebut, alat vicat harus sesuai dengan spesifikasi berikut (SNI 15 2049 2004):

- a. Berat batang yang dapat bergerak (B)  $(300 \pm 0.5)$  gram.
- b. Diameter ujung batang torak (C)  $(10 \pm 0.05)$  mm.
- c. Diameter jarum  $(1 \pm 0.005)$  mm.
- d. Diameter dalam cincin bagian bawah  $(70 \pm 3)$  mm.
- e. Diameter dalam cincin bagian atas  $(60 \pm 3)$  mm.
- f. Tinggi cincin  $(40 \pm 1)$  mm.
- g. Pembagian skala

Pembagian skala, bila dibandingkan dengan skala standar yang ketelitiannya 0.1 mm pada setiap titik tidak boleh menunjukkan penyimpangan lebih besar dari 0.25 mm.

## 2.7. Pengujian Mortar Geopolimer

### 2.7.1. Waktu Ikat (*Setting time*) Mortar Geopolimer (SNI ASTM C403 Metode Uji Waktu Pengikatan Campuran Beton dengan Ketahanan Penetrasi)

Waktu ikat (*setting time*) merupakan suatu pengujian untuk dapat mengetahui berapa lama waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan pengikatan akhir (mulai mengeras) beton. *Setting time* penting untuk dipantau karena berkaitan dengan fase beton yang mempengaruhi kekuatan beton yang dihasilkan dari pelaksanaan pengecoran. Hubungan antara *setting time* dan fase beton adalah sebagai berikut: (a) fase plastis adalah kondisi beton sebelum *initial setting* terjadi; (b) fase *setting* adalah kondisi beton diantara waktu *initial setting* dan *final setting*; dan (c) fase *hardening* adalah kondisi beton diantara waktu *final setting* sampai dengan selesai proses hidrasi seluruh komponen kimia dalam semen. Secara umum *setting time* dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Waktu ikat awal (*initial setting*)

Waktu ikat awal atau *initial setting* adalah proses dimana pengikatan atau proses hidrasi sudah terjadi, panas hidrasi sudah muncul, dan workability beton sudah hilang.

2. Waktu total (*final setting*)

Waktu total atau *final setting* adalah kondisi dimana beton sudah mengeras sempurna.

Standar yang digunakan adalah SNI ASTM C403/C403M:2012 Metode Uji Waktu Pengikatan Campuran Beton dengan Ketahanan Penetrasi. Pengujian waktu ikat (*setting time*) mortar dapat diukur dengan ketahanan penetrasi pada mortar dengan menggunakan jarum standar. Waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir dapat ditentukan dari grafik hubungan ketahanan penetrasi terhadap waktu tempuh. Metode uji ini waktu yang dibutuhkan mortar untuk mencapai nilai-nilai ketahanan penetrasi yang telah ditentukan untuk menetapkan dari waktu pengikatan beton (SNI ASTM C403/C403M, 2012). Berikut ini metode yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengujian berdasarkan standar yang digunakan (SNI ASTM C403/C403M, 2012):

#### 2.7.1.1. Peralatan

Peralatan yang diperlukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a. Wadah untuk benda uji mortar.  
Wadah harus kaku, kedap air, tidak menyerap air, bebas dari minyak atau pelumas, berpenampang silinder atau bijur sangkar. Permukaan mortar harus dapat menyediakan tempat untuk 10 pengujian dari ketahanan penetrasi yang tidak terganggu sesuai jarak yang telah ditetapkan dalam prosedur. Dimensi lateral minimum 150 mm dan tinggi minimum 150 mm.
- b. Jarum penetrasi.  
Jarum harus disediakan dan dapat dipasang pada peralatan pembebanan dan memiliki luas bidang tumpuan sebagai berikut : 645 mm<sup>2</sup>, 323 mm<sup>2</sup>, 161 mm<sup>2</sup>, 32 mm<sup>2</sup> dan 16 mm<sup>2</sup>. Masing-masing permukaan sisi (*shark*) jarum harus ditandai secara melingkar pada jarak 25 mm dari bidang tumpuan dan panjang jarum dengan luas 16 mm<sup>2</sup> tidak boleh lebih dari 90 mm.
- c. Alat pembebanan.  
Suatu alat pengukur harus dapat digunakan untuk mengukur gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan penetrasi jarum. Alat tersebut juga harus mampu mengukur gaya penetrasi dengan tingkat ketelitian  $\pm 10$  N dan harus mempunyai kapasitas paling sedikit 600 N.
- d. Batang pematik.  
Batang baja pematik harus bulat dan lurus, dengan diameter 16 mm dan panjang kira-kira 600 mm, mempunyai ujung oemadan atau kedua ujungnya berbentuk setengah bola yang diameternya 16 mm.

- e. Pipet.  
Sebuah pipet atau alat lain yang sesuai harus digunakan untuk membuang air yang keluar (*bliding*) dari permukaan benda uji.
- f. Termometer.  
Termometer harus mampu mengukur temperatur mortar segar dengan ketelitian  $\pm 0,5$  °C. Termometer dengan cairan di dalam kaca tipe ASTM yang mempunyai rentang temperatur dari -20°C sampai 50°C dan memenuhi persyaratan termometer 97°C seperti yang ditentukan dalam spesifikasi ASTM E2251 (SNI 16-6421-2000). Termometer tipe lain dengan ketelitian yang setara dapat digunakan.

#### 2.7.1.2. Prosedur pengujian

Mortar yang telah dibuat diukur dan dicatat temperatur pada mortar. Kemudian mortar dimasukkan ke dalam wadah dalam satu lapisan. Dengan menusuk-nusuk menggunakan batang pematik atau menempatkan wadah yang berisi mortar tersebut di atas meja penggetar yang bertujuan untuk menghilangkan udara yang terdapat pada mortar. Jika menggunakan batang pematik, gunakan ujung yang berbentuk setengah bola pada batang pematik tersebut untuk memadatkan mortar. Padatkan dengan cara menusuk satu kali untuk setiap 645 mm<sup>2</sup> permukaan atas benda uji dan distribusikan tusukan secara seragam pada penampang melintang benda uji. Setelah pemadatan selesai, ketuk bagian sisi dari wadah tersebut secara perlahan dengan batang pematik untuk menutup rongga kosong yang diakibatkan oleh batang pematik, selanjutnya ratakan permukaan benda uji. Setelah benda uji selesai disiapkan, permukaan mortar paling tidak harus 10 mm dibawah bibir wadah tersebut agar tersedia ruang untuk mengumpulkan dan menyingkirkan air yang keluar serta untuk menghindari kontak antar permukaan dan bahan penutup pelindung.

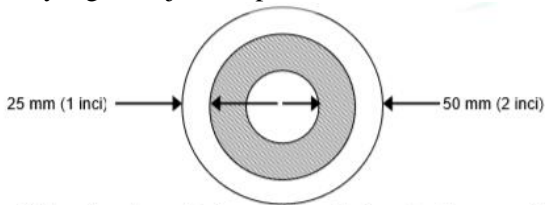
Sebelum melakukan pengujian penetrasi, air yang keluar dari permukaan benda uji mortar dibuang dengan menggunakan pipet atau alat lain yang sesuai. Untuk memudahkan

mengumpulkan air yang keluar, dapat memiringkan benda uji dengan hati-hati dengan kemiringan sudut sekitar  $10^\circ$  dari arah horizontal dengan menempatkan penahan dibawah wadah tersebut pada salah satu sisi, 2 menit sebelum proses pembuangan air dilakukan.

Pasang jarum yang ukurannya sesuai, tergantung dari tingkat pengikatan mortar, pada peralatan ketahanan penetrasi sehingga permukaan tekan jarum menyentuh permukaan mortar. Secara bertahap dan seragam beri gaya vertikal kebawah pada alat tersebut sampai jarum menembus mortar dengan kedalaman  $25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  seperti yang telah ditunjukkan pada tanda yang telah dibuat dengan tujuan untuk memudahkan penentuan ketika penetrasi yang diisyaratkan telah dicapai, alat penanda yang dapat bergerak boleh dipasang pada batang jarum (penjepit kertas atau pita isolasi). Penanda tersebut tidak boleh mengganggu penetrasi jarum ke dalam mortar. Posisi dari penanda tersebut harus diperiksa sebelum melakukan pengujian penetrasi. Waktu yang dibutuhkan untuk menembus kedalam penetrasi 25 mm harus sekitar  $10 \text{ detik} \pm 2 \text{ detik}$ . Catat gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan penetrasi sebesar 25 mm dan catat waktu yang diperlukan, diukur sebagai waktu total setelah kontak pertama antara semen dan air. Hitung ketahanan penetrasi dengan membagi gaya yang telah dicatat dengan luas bidang kontak dari jarum yang digunakan, kemudian catat ketahanan penetrasinya. Dalam pengujian penetrasi berikutnya harus dijaga untuk menghindari permukaan mortar yang telah terganggu oleh pengujian penetrasi sebelumnya. Jarak bersih antar lokasi pengujian jarum kelokasi pengujian berikutnya minimal 2 kali diameter jarum yang sedang digunakan, tetapi tidak boleh kurang dari 15 mm. Jarak bersih antar jarum dengan bagian sisi dari wadah yang digunakan paling sedikit harus 25 mm tetapi tidak lebih dari 50 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 7. Untuk wadah berbentuk silinder dengan diameter luar minimum yang diizinkan sebesar 6 inci. Operator diharapkan dapat mencapai sekitar delapan penetrasi sebelum menimpa pada penetrasi



sebelumnya. Hal ini berdasarkan penggunaan jarum dengan luas permukaan yang ditunjukkan pada Tabel 2. 7.



Catatan : Daerah yang diarsir menunjukkan lokasi penetrasi jarum yang diizinkan

**Gambar 2. 7** Tampak Atas Benda Uji Mortar  
(Sumber : SNI ASTM C403/C403M 2012)

**Tabel 2. 7** Penggunaan jarum

| Pengujian<br>Ke | Luas Jarum           |                    |
|-----------------|----------------------|--------------------|
|                 | (inci <sup>2</sup> ) | (mm <sup>2</sup> ) |
| 1               | ½                    | 13                 |
| 2               | ¼                    | 6                  |
| 3               | ¼                    | 6                  |
| 4               | 1/10                 | 2.5                |
| 5               | 1/10                 | 2.5                |
| 6               | 1/20                 | 1.3                |
| 7               | 1/20                 | 1.3                |
| 8               | 1/40                 | 0.6                |

(Sumber : SNI ASTM C403/C403M 2012)

Untuk campuran beton konvensional pada temperatur laboratorium 20°C lakukan pengujian awal setelah sekitar 3 jam sampai dengan 4 jam sejak kontak awal antara semen dengan air. Pengujian berikutnya harus dibuat interval waktu setiap ½ jam sampai dengan 1 jam. Pengujian awal untuk beton yang berisi bahan tambahan yang mempercepat pengikatan atau pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan temperatur di laboratorium, sebaiknya dilakukan setelah 1 jam sampai 2 jam sejak kontak awal antara semen dengan air dan pengujian berikutnya pada interval waktu setiap ½ jam. Untuk campuran beton dengan menggunakan bahan tambahan untuk memperlambat pengikatan atau pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan temperatur di laboratorium, sebaiknya pengujian awal boleh

ditunda sampai waktu 4 jam sampai 6 jam. Dalam semua kasus tersebut, interval waktu antar pengujian dapat disesuaikan dengan kebutuhan, tergantung kecepatan pengikatan dalam memperoleh jumlah nilai penetrasi yang dibutuhkan. Buatlah paling sedikit 6 pengujian penetrasi untuk setiap pengujian waktu pengikatan dengan interval waktu tertentu untuk mendapatkan kurva ketahanan penetrasi terhadap waktu, yaitu kurva yang mewakili keseluruhan perkembangan ketahanan penetrasi dan meliputi titik-titik sebelum dan sesudah waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir untuk meningkatkan ketelitian dari interpolasi yang dibutuhkan. Untuk campuran dengan pengikatan normal, titik-titik uji biasanya memiliki jarak interval waktu yang sama. Pengujian penetrasi yang terlalu awal akan menghasilkan terlalu banyak titik-titik data sebelum pengikatan awal. Hal ini akan mengakibatkan berkurangnya ketelitian perkiraan waktu untuk pengikatan akibat penyimpangan titik-titik yang paling tepat ketika analisis regresi digunakan untuk menganalisis data-data ketahanan penetrasi. Lanjutkan pengujian sampai mendapatkan minimal satu pembacaan ketahanan penetrasi yang sama atau lebih dari 27.6 Mpa (4000 psi).

#### 2.7.1.3. Perhitungan

Setelah pengujian telah dilakukan, selanjutnya masing-masing variabel dibuat grafik hasil pengujian dengan menggunakan salah satu prosedur alternatif yaitu grafik ketahanan penetrasi terhadap waktu untuk memperoleh waktu pengikatan. Grafik ketahanan penetrasi terhadap waktu memberikan informasi kecepatan pengikatan. Grafik tersebut dapat digunakan untuk menentukan waktu untuk pengujian penetrasi berikutnya dan dapat membantu dalam mengidentifikasi hasil percobaan yang salah/meragukan. Oleh karena itu, direkomendasikan supaya data dibuat dalam grafik selama data tersebut diakumulasi. Berikut prosedur yang dapat digunakan dalam pembuatan grafik ketahanan penetrasi terhadap waktu :

1. Prosedur pertama  
Gunakan prosedur membuat grafik berikut ini untuk menentukan waktu pengikatan dengan membuat kurva yang halus dengan menggunakan cara manual melalui data-data tersebut. Siapkan suatu grafik ketahanan penetrasi sebagai ordinat terhadap waktu sebagai absis, kemudian dengan menggunakan skala tertentu mencapai 3,5 Mpa (500 psi) dan 1 jam diwakili oleh suatu jarak minimal 15 mm. Buat grafik nilai-nilai dari ketahanan penetrasi sebagai fungsi dari waktu tempuh.
2. Prosedur kedua  
Gunakan prosedur membuat grafik berikut ini untuk menentukan waktu pengikatan menggunakan analisis regresi linear dari data logaritma dengan alat bantu hitung yang sesuai. Gunakan kertas milimeter blok atau kertas grafik log, siapkan suatu grafik dari ketahanan penetrasi sebagai ordinat, terhadap waktu tempuh dalam menit sebagai absis. Batasan ketahanan penetrasi pada ordinat harus bertambah dari 0.1 Mpa sampai dengan 100 Mpa dan batas waktu dalam absis harus bertambah dari 10 menit sampai dengan 1000 menit. Jika campuran yang lambat mengeras digunakan batas waktu mungkin bisa 100 menit sampai dengan 10000 menit. Gambar grafik nilai-nilai dari ketahanan penetrasi sebagai suatu fungsi dari waktu tempuh.
3. Prosedur ketiga  
Gunakan prosedur berikut ini jika menggunakan komputer untuk membuat grafik hasil pengujian dan memperoleh waktu pengikatan dengan analisis regresi data. Selama hasil pengujian yang diperoleh, masukkan waktu dan ketahanan penetrasi kedalam komputer dan buat grafik ketahanan penetrasi tersebut sebagai ordinat dan waktu tempuh sebagai absis. Untuk perangkat lunak yang hanya dapat melakukan analisis regresi linear, konversikan data

tersebut menjadi logaridma. Data yang telah dikonversi akan sesuai dengan suatu garis lurus.

$$\text{Log}(PR) = a + b \text{Log}(t) \dots\dots\dots (2.5)$$

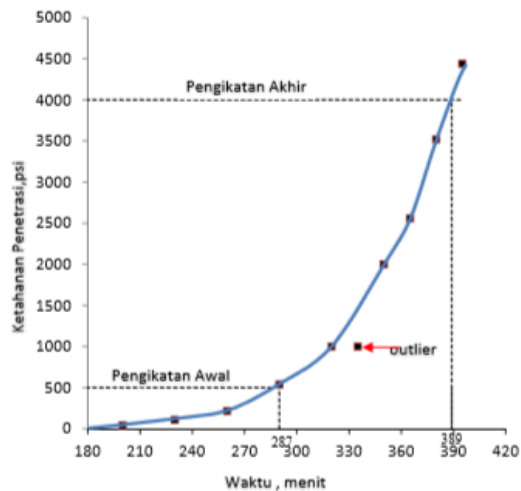
Dimana,

PR = Ketahanan penetrasi (*penetration resistance*)

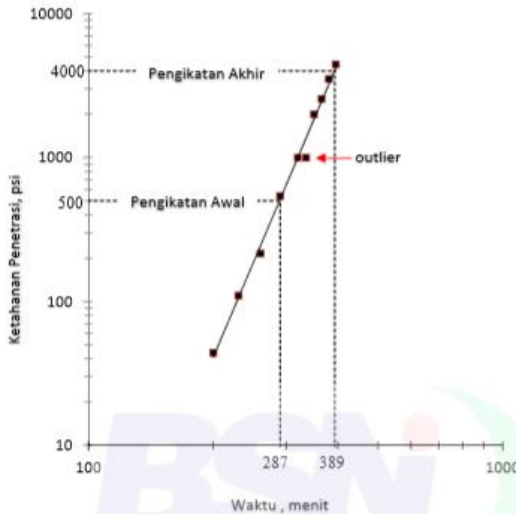
t = waktu tempuh

a dan b = konstanta regresi

Tentukan waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir untuk masing-masing grafik sebagai waktu ketika ketahanan penetrasi sama dengan 3.5 Mpa (500 psi) dan 27.6 Mpa (4000 psi). Berikut adalah contoh grafik nilai ketahanan penetrasi terhadap waktu dan kurva yang digunakan untuk menentukan waktu pengikatan:



**Gambar 2. 8** Contoh grafik nilai ketahanan penetrasi terhadap waktu dan kurva yang digunakan untuk menentukan waktu pengikatan  
(Sumber : SNI ASTM C403/C403M 2012)



**Gambar 2. 9** Contoh grafik skala log yang menunjukkan garis lurus untuk menentukan waktu pengikatan menggunakan analisis regresi  
 (Sumber : SNI ASTM C403/C403M 2012)

**2.7.2. Kuat Tekan (SNI 03-6825-2002)**

Kekuatan tekan mortar geopolimer adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu (SNI 03 6825, 2002). Berdasarkan standar pengujian ASTM C 1329-04 kuat tekan minimum mortar umur 28 hari yakni sebesar 20 MPa. Berikut adalah persamaan kuat tekan pada mortar:

- Kuat tekan individu  

$$fci = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.6)$$

- Kuat tekan rata-rata  

$$fcr = \frac{\sum_{i=1}^n fci}{n} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana,

- P = Beban maksimum (N)
- A = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)
- fci = Kuat tekan hasil pengujian (N/mm<sup>2</sup>)
- fcr = Kuat tekan rata-rata (N/mm<sup>2</sup>)
- n = Jumlah benda uji

kemudian dihitung pula standar deviasi hasil kuat tekan yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

- Standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana,

$x_i$  = nilai x ke-i

n = jumlah sampel

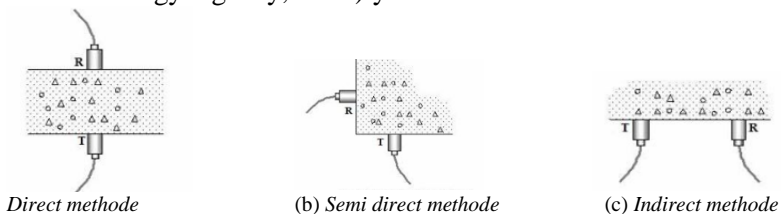
**Tabel 2. 8** Klasifikasi Standar Deviasi

| Standar Deviasi (Mpa) |           | Kovarian (100%) |              | Kontrol Kualitas |
|-----------------------|-----------|-----------------|--------------|------------------|
| Kelas                 |           | Lapangan        | Laboratorium |                  |
| < 2,8                 | < 1,4     | < 9,3           | < 4,67       | Istimewa         |
| 2,8 - 3,5             | 1,4 - 1,7 | 9,33 - 11,67    | 4,67 - 5,67  | Sangat Baik      |
| 3,5 - 4,2             | 1,7 - 2,1 | 11,67 - 14,00   | 6,67 - 7,00  | Baik             |
| 4,2 - 4,9             | 2,1 - 2,4 | 14,00 - 16,33   | 7,00 - 8,00  | Cukup            |
| > 4,9                 | > 2,4     | > 16,33         | > 8,00       | Kurang           |

(Sumber : SNI 03-6185-2002)

**2.7.3. Ultrasonic Pulse Velocity (SNI ASTM C597-2012)**

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) adalah pengujian kekuatan tekan beton secara *non destruktif* atau tanpa merusak benda uji (beton), melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada media beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kepadatan beton. Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal yang melalui media beton (Wedhanto, 2015). Pengujian UPV dapat dilakukan dalam tiga cara (International Atomic Energy Agency, 2002) yaitu:

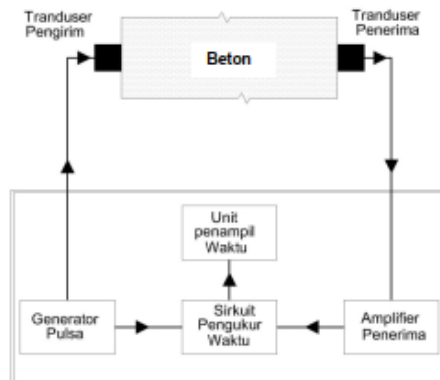


**Gambar 2. 10** Metode pengujian UPV

(Sumber : International Atomic Energy Agency, 2002, h: 101-102).

- a. Direct method  
Metode direct yaitu dimana pengukuran dilakukan dengan cara receiver transducer dan transmitter transducer diletakkan saling berhadapan.
- b. Semi direct method  
Metode semi direct yaitu dimana pengukuran dilakukan dengan cara receiver transducer dan transmitter transducer diletakkan pada posisi axial, satu bidang tegak lurus dan satu bidang mendatar.
- c. Indirect method  
Metode indirect yaitu dimana pengukuran dilakukan dengan cara receiver transducer dan transmitter transducer diletakkan dalam satu bidang datar.

Standar yang digunakan pada pengujian UPV adalah SNI ASTM C597 2012 Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton. Peralatan untuk pengujian ditunjukkan secara skematik dalam Gambar 2. 11 yakni terdiri dari generator kecepatan rambat gelombang, sepasang alat transducer (pengirim dan penerima), amplifier, sirkuit pengukur waktu, unit untuk menampilkan waktu, dan kabel penghubung (SNI ASTM C597, 2012)



**Gambar 2. 11** Skema pengujian UPVE

(Sumber: SNI ASTM C597 2012 Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton).

Rambat gelombang dari gelombang longitudinal dipancarkan oleh transducer elektroakustik yang berhubungan dengan salah satu permukaan beton yang akan diuji. Setelah melalui beton, rambat gelombang diterima dan di konversikan menjadi energi listrik oleh transducer kedua yang berjarak L dari transducer pemancar. Waktu tempuh T diukur secara elektronik. Kecepatan rambat gelombang V dihitung dengan membagi L dengan T atau dapat dituliskan melalui persamaan dibawah (SNI ASTM C597, 2012):

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana,

V = kecepatan gelombang longitudinal (m/detik)

L = panjang lintasan beton yang dilewati (m)

T = waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada lintasan L (detik).

**Tabel 2. 9** Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang

| <b>Kecepatan Gelombang Longitudinal</b> |                 | <b>Kualitas Beton</b> |
|---|-----------------|-----------------------|
| <b>Km/(detik.10<sup>3</sup>)</b>        | <b>Ft/detik</b> |                       |
| > 4,5                                   | > 15            | Sangat Bagus          |
| 3,50-4,50                               | 12-15           | Bagus                 |
| 3,00-3,50                               | 10-12           | Cukup Bagus           |
| 2,00-3,00                               | 7-10            | Cukup                 |
| <2,00                                   | <7              | Kurang                |

(Sumber: International Atomic Energy Agency, 2002, h: 101-102).

## 2.8. Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian ini, penulis memaparkan penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti, diantaranya:

Joseph dan Mathew (2012) dalam penelitiannya mengenai *Influence of Aggregate Content on The Behavior of Fly ash Based Geopolymer Concrete*, menyimpulkan bahwa peningkatan konten agregat menghasilkan kuat tekan yang maksimum beton geopolimer. Dengan menggunakan konten agregat dalam kisaran 60%-75% (dengan rasio agregat halus terhadap total agregat adalah



0,35), terjadi peningkatan kuat tekan dan belah masing-masing adalah 30,6% dan 45,5% (Joseph & Mathew, 2012). Kuat tekan maksimum diperoleh pada konten agregat sebesar 70% yakni 56 Mpa dengan umur pengujian 28 hari. Berikut ini adalah tabel hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan oleh Joseph dan Mathew (2012):

**Tabel 2. 1** Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Penelitian Joseph dan Mathew (2012)

Table 5: Cube compressive strength of geopolymer and OPC concrete.

| Mix ID    | Cube compressive strength (MPa) |         |          |
|-----------|---------------------------------|---------|----------|
|           | 3th day                         | 7th day | 28th day |
| M1A60R35* | 42                              | 43      | 45       |
| M1A65R35* | 45                              | 46      | 47       |
| M1A70R35* | 52                              | 54      | 56       |
| M1A75R35* | 45                              | 48      | 49       |
| OPC70R35  | 45                              | 51      | 58       |

\* Curing temperature: 100; curing period: 24 h; ratio of alkali to fly ash: 0.55; ratio of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  to NaOH: 2.5; and ratio of fine aggregate to total aggregate: 0.35.

(Sumber: *Jurnal Scientia Iranica, Influence of Aggregate Content on The Behavior of Fly ash Based Geopolymer Concrete (Joseph and Mathew, 2012)*).

Sreenivasulu dkk (2015) dalam penelitian mereka mengenai *Mechanical Properties of Geopolymer Concrete Using Granite Slurry as Sand Replacement*. Penelitian yang dilakukan yakni dengan mengganti sebagian agregat halus dengan *granite slurry* yang berasal dari industri pemotongan batu granit. Penggantian yang digunakan yakni sebesar: 0%, 20%, 40% dan 60% terhadap agregat halus. Persentase antara agregat halus dan agregat kasar terhadap bahan pengikat masing-masing adalah: 77% dan 23%. Dengan persentase agregat halus sebesar 30% terhadap total agregat yang digunakan. Penelitian ini komposisi bahan pengikat tersusun dari campuran *fly ash* tipe F dan *ground granulated blast furnace slag* (GGBS) dengan rasio 50:50. Alkali aktivator yang digunakan yakni kombinasi natrium hidroksida (8M) dan natrium silikat. Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilakukan setelah 7,

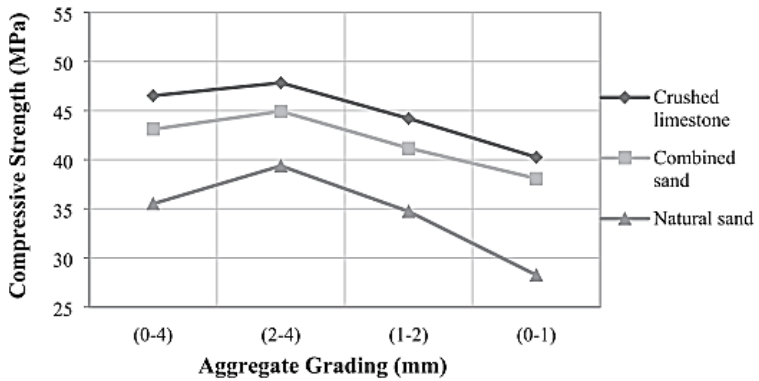
28, dan 90 hari. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan adalah penggantian 40% agregat halus dengan *granite slurry* memberikan hasil kuat tekan yang optimum, sedangkan penggantian sebesar 60% memberikan hasil kuat tekan yang menurun. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan dari penelitian yang dilakukan oleh Sreenivasulu dkk (2015):

**Tabel 2. 2** Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Penelitian Sreenivasulu dkk (2015)

| Mechanical property               | Age (days) | Mix type  |                   |                   |                   |
|-----------------------------------|------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                   |            | 100% SAND | 20% GS + 80% SAND | 40% GS + 60% SAND | 60% GS + 40% SAND |
| Compressive strength, $f_c$ (MPa) | 7          | 29.08     | 31.97             | 33.97             | 22.39             |
|                                   | 28         | 45.87     | 48.07             | 51.14             | 33.63             |
|                                   | 90         | 53.53     | 57.02             | 59.93             | 38.55             |

(Sumber: IJAET, *Mechanical Properties of Geopolymer Concrete using Granite Slurry as Sand Replacement* (Sreenivasulu dkk, 2015)).

Mermerdas dkk, melakukan studi mengenai pengaruh konten dan gradasi agregat terhadap karakteristik mekanis dan absorpsi mortar geopolimer. Penelitian yang dilakukan menggunakan tiga tipe agregat diantaranya: natural river sand, crushed limestone, dan kombinasi antar keduanya (50% natural river sand dan 50% crushed limestone). Gradasi yang digunakan oleh masing-masing agregat yakni: (0-4) mm, (2-4) mm, (1-2) mm, dan (0-1) mm. Hasil pengujian penyerapan air (water absorbtion) maksimum dan minimum berturut-turut adalah: agregat jenis natural river sand gradasi (0-4) mm yakni 10,80% dan kombinasi agregat (50% natural river sand dan 50% crushed limestone) gradasi (0-4) mm yakni 8,05%. Hasil pengujian nilai kuat tekan mortar geopolimer tertinggi dan terendah diantaranya: mortar geopolimer agregat crushed limestone gradasi (2-4) mm yakni 47.83 Mpa dan mortar geopolimer agregat natural river sand gradasi (0-1) mm yakni 28.25 Mpa (Mermerdas dkk, 2017).



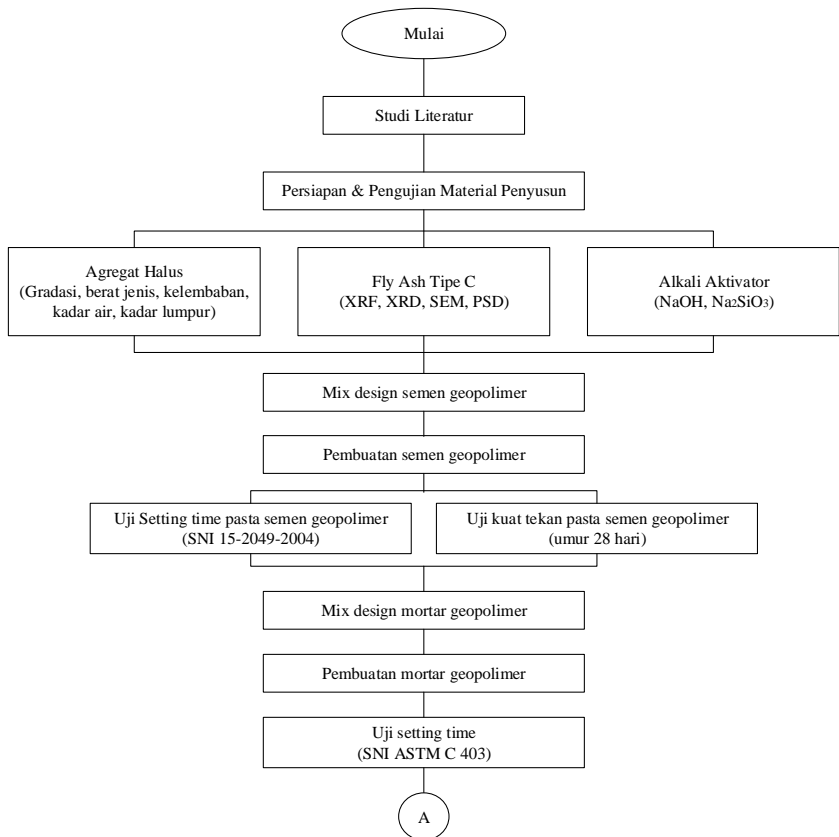
**Gambar 2. 12** Grafik Nilai Kuat Tekan Mortar Geopolimer Pada Penelitian Memerdas dkk (2017)

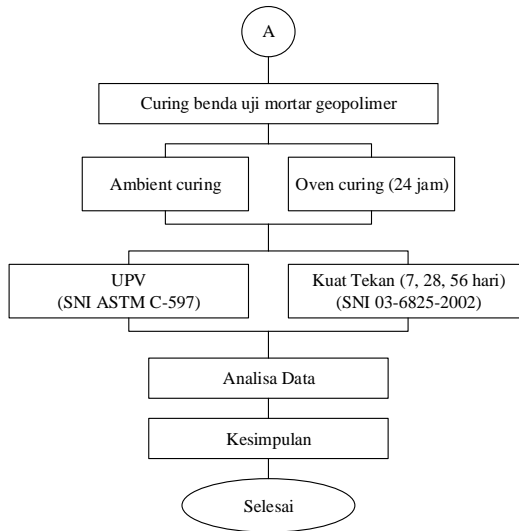
(Sumber: *Engineering Science and Technology, Effect of Aggregate Properties on The Mechanical and Absorption Characteristics of Geopolimer Mortar (Memerdas dkk, 2017)*).

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:





**Gambar 3. 1** Tahap Pelaksanaan Penelitian

### 3. 2. Studi Literatur

Langkah awal yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dengan melakukan studi literatur. Studi literatur yang dilakukan dengan mendalami materi sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan, meliputi mengumpulkan dan mempelajari berbagai jurnal ilmiah, peraturan dan standar nasional maupun internasional, pedoman mengenai metode spesifikasi dan tata cara pelaksanaan dalam penelitian, diantaranya yang membahas mengenai: agregat dalam beton, beton geopolimer berbahan dasar *fly ash*, mortar geopolimer, dan pengujian mortar geopolimer.

### 3. 3. Persiapan Pengujian Material

Tahap ini dilakukan persiapan mengenai material yang akan digunakan dalam pembuatan mortar geopolimer. Selanjutnya, dilakukan pengujian terlebih dahulu terhadap material yang akan digunakan. Material yang perlu dipersiapkan beserta pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

### 3.3.1. Fly Ash

*Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* Tipe C yang berasal dari limbah PLTU Paiton Jawa Power, Probolinggo. Sebelum digunakan, dilakukan pengujian pada *fly ash* diantaranya: uji *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Particle Size Distribution (PSD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* untuk mengetahui karakteristik dari *fly ash* yang digunakan.

### 3.3.2. Alkali Aktivator

Alkali aktivator yang digunakan terdiri dari Natrium Hidroksida (NaOH) padat berbentuk *flake* seperti pada Gambar 3. 2 dan Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) granular berbentuk butiran seperti pada Gambar 3. 3 yang keduanya diperoleh dari PT. Brataco.



**Gambar 3. 2** Natrium Hidroksida (NaOH) berbentuk flake (PT.Brataco)



**Gambar 3. 3** Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) granular (PT. Brataco)

### 3.3.3. Agregat Halus

Sebagai bahan pengisi mortar geopolimer agregat yang digunakan adalah agregat halus. Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang diambil dari tiga lokasi yang berbeda. Pasir yang digunakan masing-masing berasal dari daerah Mojokerto, Bojonegoro dan Lumajang. Pasir Mojokerto diperoleh dari Desa Leminggir, Kecamatan Mojosari, Kabupaten Mojokerto seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 4. Pasir Bojonegoro diperoleh dari Desa Plesungan, Kecamatan Kapas, Kabupaten Bojonegoro seperti yang ditunjukkan Gambar 3. 5. Pasir Lumajang diperoleh dari Desa Jugosari, Kecamatan Candipuro, Kabupaten Lumajang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 6.



**Gambar 3. 4** Pasir Mojokerto (Desa Leminggir, Kec. Mojosari, Kab. Mojokerto, Jawa Timur)



**Gambar 3. 5** Pasir Bojonegoro (Desa Plesungan, Kec. Kapas, Kab. Bojonegoro, Jawa Timur)



**Gambar 3. 6** Pasir Lumajang (Desa Jugosari, Kec. Candipuro, Kab. Lumajang, Jawa Timur)

Sebelum digunakan, pasir terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk dapat mengetahui persyaratan material dan kandungan yang terdapat didalam pasir yang dapat mempengaruhi hasil mortar geopolimer yang akan dibuat. Pengujian yang dilakukan diantaranya:

#### 3.3.4.1. Analisa Saringan Agregat Halus

- a) Tujuan
  - Menentukan distribusi ukuran butir / gradasi pasir.
- b) Alat dan bahan
  1. Timbangan digital
  2. Satu set saringan/ayakan ASTM C-33
  3. Mesin penggetar
  4. Pasir
- c) Prosedur pelaksanaan
  - Timbang pasir Mojokerto, pasir Bojoegoro dan pasir Lumajang sebanyak 500 gram.
  - Susun saringan/ayakan berdasarkan urutan pada ASTM C33 (No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 dan Pan).
  - Masukkan pasir ke dalam susan ayakan. Letakkan pada mesin penggetar untuk digetarkan selama 5 menit.





**Gambar 3. 7** Mengayak pasir dengan menggunakan alat penggetar

- Pasir yang tertinggal pada setiap saringan ditimbang.

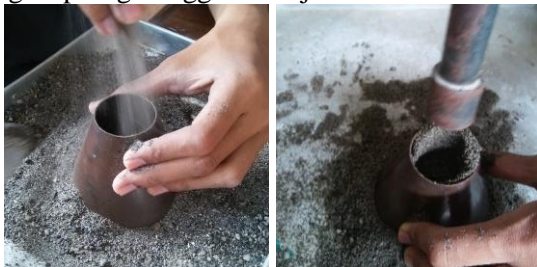


**Gambar 3. 8** Menimbang setiap pasir yang tertinggal pada setiap ukuran ayakan

- Lakukan langkah-langkah diatas untuk melakukan analisa saringan pada pasir Mojokerto, pasir Bojonegoro dan pasir Lumajang.
- Gambarlah hasil persentasi saringan pada grafik seperti pada Gambar 2. 5.

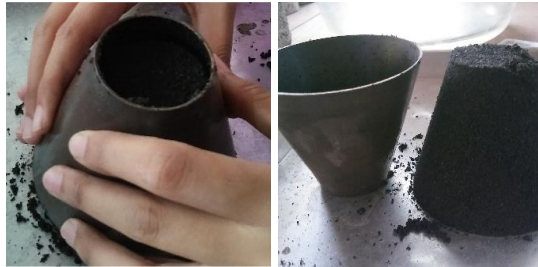
### 3.3.4.2. Berat Jenis Agregat Halus

- a) Tujuan
  - Menentukan berat jenis pasir pada kondisi SSD.
- b) Alat dan bahan
  1. Timbangan digital
  2. Labu takar 1000 cc
  3. Pan
  4. Kerucut dan rojokkan
  5. Pasir kondisi SSD
- c) Prosedur pengujian
  - Penyiapan pasir untuk kondisi SSD.
  - Campur pasir dalam keadaan asli dengan pasir dalam keadaan kering oven.
  - Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak meresap air.
  - Isi kerucut SSD sepertiga tingginya dengan campuran pasir yang telah dibuat dan rojok 9 kali. Isi lagi sepertiga tinggi dan rojok 8 kali. Isi lagi sepertiga tinggi dan rojok 8 kali.



**Gambar 3. 9** Pengecekan kondisi pasir SSD dengan kerucut SSD

- Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, apabila pasir masih berbentuk kerucut maka pasir belum SSD.



**Gambar 3. 10** Kondisi pasir belum SSD

- Tambahkan pasir kering oven ke dalam campuran sebelumnya.
- Ulangi kembali pengisian dengan prosedur seperti sebelumnya, apabila kerucut diangkat dan tinggi pasir  $\frac{1}{3}$  dari tinggi kerucut maka pasir sudah dalam kondisi SSD, sehingga siap untuk digunakan dalam pengujian.



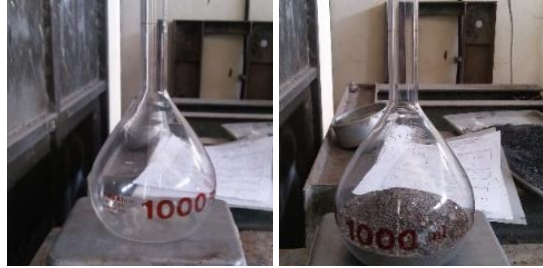
**Gambar 3. 11** Pasir kondisi SSD

- Timbang pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram.



**Gambar 3. 12** Menimbang pasir SSD sebanyak 500 gram

- Timbang labu takar 1000 cc. Masukkan pasir 500 gram ke dalam labu takar 1000 cc kemudian timbang.



**Gambar 3. 13** Menimbang Labu takar 1000 cc dan menimbang labu takar berisi pasir

- Isi labu takar yang berisi pasir dengan air bersih hingga penuh.
- Pegang labu takar yang sudah berisi air dan pasir posisi miring, putar kiri dan kanan hingga gelembung udara dalam pasir keluar.
- Setelah gelembung-gelembung keluar, tambahkan air ke dalam labu takar hingga batas kapasitas dan timbang.



**Gambar 3. 14** Menimbang labu takar+pasir+air dan menimbang labu takar berisi air

- Keluarkan pasir dan air didalam labu takar, cuci bersih labu takar. Kemudian isi labu takar yang telah dicuci bersih dengan air hingga batas kapasitas dan timbang.

- Lakukan prosedur diatas pada ketiga jenis pasir (pasir Mojokerto, pasir Bojonegoro dan Pasir Lumajang).
- Hitung berat jenis masing-masing jenis pasir dengan Persamaan 2. 1.

### 3.3.4.3. Kelembaban Agregat Halus

a) Tujuan

Untuk mengetahui atau menentukan kelembaban pada pasir dengan cara kering.

b) Alat

1. Timbangan digital
2. Oven
3. Pan
4. Pasir dalam keadaan asli

c) Prosedur pengujian

- Timbang pasir dalam keadaan asli sebanyak 500 gram.



**Gambar 3. 15** Menimbang pasir kondisi asli 500 gram

- Masukkan pasir yang telah ditimbang kedalam oven selama 24 jam dengan temperatur  $\pm 100$  °C.



**Gambar 3. 16** Memasukkan pasir kondisi asli kedalam oven

- Keluarkan pasir dari oven, setelah dingin timbang beratnya.



#### 3.3.4.4. Kadar Air Resapan Agregat Halus

a) Tujuan

Mengetahui atau menentukan kadar air resapan yang terkandung didalam pasir.

b) Alat

1. Timbangan digital
2. Oven
3. Pan

c) Bahan

1. Pasir kondisi SSD

d) Prosedur pengujian

- Timbang pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram.



**Gambar 3. 18** Menimbang pasir SSD sebanyak 500 gram

- Masukkan pasir SSD yang telah diimbang kedalam oven selama 24 jam dengan suhu  $\pm 100$  °C.



**Gambar 3. 19** Memasukkan pasir SSD kedalam oven

- Keluarkan pasir dari oven, setelah dingin timbang beratnya.





**Gambar 3. 20** Menimbang pasir setelah dioven selama 24 jam

- Lakukan prosedur diatas pada ketiga jenis pasir (pasir Mojokerto, pasir Bojonegoro, dan pasir Lumajang).
- Hitung persentase kadar resapan air pada msing-masing jenis pasir dengan Persamaan 2. 3.

### 3.3.4.5. Kebersihan Agregat Halus Terhadap Lumpur

#### a) Tujuan

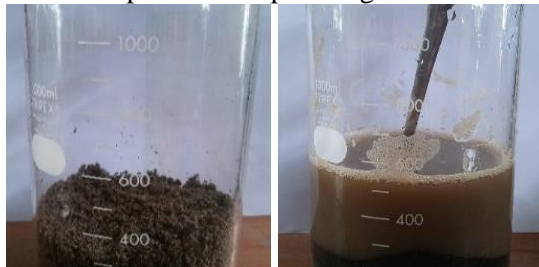
Menentukan banyaknya kandungan lumpur dalam pasir.

#### b) Alat dan bahan

1. Gelas ukur 1000 ml
2. Penggaris
3. Sendok/pengaduk
4. Pasir keadaan asli

#### c) Prosedur pengujian

- Isi pasir kedalam gelas ukur sebanyak 250 ml.
- Tambahkan air sebanyak 500 ml kedalam gelas ukur yang telah berisi pasir. Aduk-aduk air dan pasir didalam kelas ukur hingga seluruh permukaan pasir tercampur dengan air.



**Gambar 3. 21** Mengisi gelas ukur dengan pasir sebanyak 250 ml. Mengaduk pasir dengan air.

- Diamkan selama 24 jam.
- Ukur tinggi endapan lumpur dan pasir dengan penggaris.



**Gambar 3. 22** Mengukur tinggi lumpur dan pasir

- Lakukan prosedur diatas pada ketiga jenis pasir (pasir Mojokerto, pasir Bojonegoro, dan pasir Lumajang).
- Hitung persentase kadar lumpur pada masing-masing jenis pasir dengan Persamaan 2. 4.

### 3. 4. Perhitungan *Mix Design*

*Mix design* terdiri dari dua jenis, diantaranya *mix design* untuk pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer. Penentuan *mix design* berdasarkan studi literatur terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Perbandingan persentase antara bahan pengikat dan bahan pengisi yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Mermerdas dkk, 2017). Berdasarkan tahap-tahap perhitungan yang telah dijabarkan pada sub bab 2.3. , maka dilakukan perhitungan komposisi *mix design* campuran mortar geopolimer sebagai berikut:

- Ditentukan massa pasta semen (binder) geopolimer adalah 40% dari massa mortar geopolimer  

$$\frac{40}{100} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 960 \text{ kg/m}^3$$
- Ditentukan massa bahan pengisi (agregat halus) adalah 60% dari massa mortar geopolimer  

$$\frac{60}{100} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 1440 \text{ kg/m}^3$$
- Massa *fly ash* adalah 65% dari massa pasta semen geopolimer  

$$\frac{65}{100} \times 960 \text{ kg/m}^3 = 624 \text{ kg/m}^3$$
- Massa alkali activator adalah 35% dari massa pasta semen geopolimer  

$$\frac{35}{100} \times 960 \text{ kg/m}^3 = 336 \text{ kg/m}^3$$
- Perbandingan NaOH : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = 1 : 2,5  
 Massa NaOH =  $\frac{1}{3,5} \times 336 \text{ kg/m}^3 = 96 \text{ kg/m}^3$   
 Massa Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> =  $\frac{2,5}{3,5} \times 336 \text{ kg/m}^3 = 240 \text{ kg/m}^3$

#### 3.4.1. Perhitungan Konversi Pencampuran Basah ke Pencampuran Kering

Selanjutnya dilakukan perhitungan konversi dari campuran basah ke campuran kering yakni:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } Fly \text{ ash (} Wf \text{)} &= 624 \text{ kg} \\ \text{Larutan NaOH (} Wlh \text{)} &= 96 \text{ kg} \\ \text{Larutan Na}_2\text{SiO}_3 \text{ (} Wls \text{)} &= 240 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kemudian, spesifikasi larutan activator yang digunakan tersaji pada Tabel 3. 1 dan Tabel 3. 2.

**Tabel 3. 1** Perbandingan berat NaOH padat dan air dalam konsentrasi molar larutan NaOH

| Molaritas | Padatan (gram) | Air (gram) | $\frac{\text{Padatan}}{\text{Larutan}}$ | $\frac{\text{Padatan}}{\text{Air}}$ |
|-----------|----------------|------------|---|-------------------------------------|
| 14        | 404            | 596        | 40%                                     | 68%                                 |
| 12        | 361            | 639        | 36%                                     | 56%                                 |
| 8         | 262            | 738        | 26%                                     | 36%                                 |

**Tabel 3. 2** Prosentase kandungan oksida pada  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  cair

| Oksida                | Notasi |
|-----------------------|--------|
| $\text{SiO}_2$        | 21,7   |
| $\text{Na}_2\text{O}$ | 18,71  |
| $\text{H}_2\text{O}$  | 46,44  |

#### 3.4.1.1. Perhitungan Campuran Kering Dengan Konsentrasi Molar NaOH = 8 Molar

a) Menghitung massa padat dari activator dan prosentase perbandingan *fly ash* terhadap padatan activator

- Menghitung NaOH dalam wujud padat:

$$\begin{aligned} \text{NaOH padat } (W_{ph}) &= W_{lh} \times \text{Rasio } \frac{\text{Padatan}}{\text{Larutan}} \\ &= 25.15 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Menghitung  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dalam wujud padat ( $W_{ps}$ ):  
 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  padat ( $W_{ps}$ ) =  $W_{ls} \times (100\% - \% \text{H}_2\text{O})$   
 = 128.54 kg

- Menghitung % *fly ash* dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode kering:

$$\begin{aligned} \% \text{ fly ash} &= \frac{W_f}{W_f + W_{ph} + W_{ps}} \times 100\% \\ &= 80.24 \% \end{aligned}$$

- Menghitung % activator padat dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode kering:

$$\begin{aligned} \% \text{ Aktivator padat} &= \frac{W_{ph} + W_{ps}}{W_f + W_{ph} + W_{ps}} \times 100\% \\ &= 19.76 \% \end{aligned}$$

b) Perbandingan padatan NaOH terhadap padatan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

- Menghitung % NaOH padat dalam satu kesatuan activator padat:

$$\begin{aligned}\% \text{ NaOH} &= \frac{W_{ph}}{W_{ph}+W_{ps}} \times 100\% \\ &= 16 \%\end{aligned}$$

- Menghitung %  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  padat dalam satu kesatuan activator padat:

$$\begin{aligned}\% \text{ Na}_2\text{SiO}_3 &= \frac{W_{ps}}{W_{ph}+W_{ps}} \times 100\% \\ &= 84 \%\end{aligned}$$

- Menghitung massa air dalam larutan NaOH ( $W_{wlh}$ ) yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Air dalam larutan NaOH } (W_{wlh}) &= W_{lh} - W_{ph} \\ &= 70.85 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Menghitung massa air dalam larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $W_{wls}$ ) yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Air dalam larutan } \text{Na}_2\text{SiO}_3 (W_{wls}) &= W_{ls} - W_{ps} \\ &= 111.46 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Menghitung massa air total ( $W_{wtot}$ ) dalam larutan activator NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Air total dalam larutan activator } (W_{wtot}) &= \\ W_{wlh} - W_{wls} &= 182.30 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Menghitung ratio air terhadap semen atau bahan pengikat padat (W/C Ratio) yaitu:

$$\begin{aligned}\text{W/C Ratio} &= \frac{W_{wtot}}{W_f+W_{ph}+W_{ps}} \\ &= 0.23\end{aligned}$$

3.4.1.2. Perhitungan Campuran Kering Dengan Konsentrasi Molar NaOH = 12 Molar

- a) Menghitung massa padat dari activator dan prosentase perbandingan *fly ash* terhadap padatan activator

- Menghitung NaOH dalam wujud padat:

$$\begin{aligned}\text{NaOH padat } (W_{ph}) &= W_{lh} \times \text{Rasio} \frac{\text{Padatan}}{\text{Larutan}} \\ &= 34.66 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Menghitung  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dalam wujud padat ( $W_{ps}$ ):  
 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  padat ( $W_{ps}$ ) =  $W_{ls} \times (100\% - \% \text{H}_2\text{O})$   
 = 128.54 kg
- Menghitung % *fly ash* dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode kering:  
 $\% \text{ fly ash} = \frac{W_f}{W_f + W_{ph} + W_{ps}} \times 100\%$   
 = 79.27 %
- Menghitung % activator padat dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode kering:  
 $\% \text{ Aktivator padat} = \frac{W_{ph} + W_{ps}}{W_f + W_{ph} + W_{ps}} \times 100\%$   
 = 20.73 %

b) Perbandingan padatan NaOH terhadap padatan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

- Menghitung % NaOH padat dalam satu kesatuan activator padat:  
 $\% \text{ NaOH} = \frac{W_{ph}}{W_{ph} + W_{ps}} \times 100\%$   
 = 21 %
- Menghitung %  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  padat dalam satu kesatuan activator padat:  
 $\% \text{ Na}_2\text{SiO}_3 = \frac{W_{ps}}{W_{ph} + W_{ps}} \times 100\%$   
 = 79 %
- Menghitung massa air dalam larutan NaOH ( $W_{wlh}$ ) yaitu:  
 Air dalam larutan NaOH ( $W_{wlh}$ ) =  $W_{lh} - W_{ph}$   
 = 61.34 kg
- Menghitung massa air dalam larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $W_{wls}$ ) yaitu:  
 Air dalam larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $W_{wls}$ ) =  $W_{ls} - W_{ps}$   
 = 111.46 kg
- Menghitung massa air total ( $W_{wtot}$ ) dalam larutan activator NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yaitu:  
 Air total dalam larutan activator ( $W_{wtot}$ ) =

$$W_{wlh} - W_{wls} = 172.80 \text{ kg}$$

- Menghitung ratio air terhadap semen atau bahan pengikat padat (W/C Ratio) yaitu:

$$\begin{aligned} \text{W/C Ratio} &= \frac{W_{wtot}}{W_f + W_{ph} + W_{ps}} \\ &= 0,22 \end{aligned}$$

### 3.4.1.3. Perhitungan Campuran Kering Dengan Konsentrasi Molar NaOH = 14 Molar

- a) Menghitung massa padat dari activator dan prosentase perbandingan *fly ash* terhadap padatan activator

- Menghitung NaOH dalam wujud padat:

$$\begin{aligned} \text{NaOH padat (} W_{ph} \text{)} &= W_{lh} \times \text{Rasio} \frac{\text{Padatan}}{\text{Larutan}} \\ &= 38.78 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Menghitung  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dalam wujud padat ( $W_{ps}$ ):  
 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  padat ( $W_{ps}$ ) =  $W_{ls} \times (100\% - \% \text{H}_2\text{O})$   
= 128.54 kg

- Menghitung % *fly ash* dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode kering:

$$\begin{aligned} \% \text{ fly ash} &= \frac{W_f}{W_f + W_{ph} + W_{ps}} \times 100\% \\ &= 78.85 \% \end{aligned}$$

- Menghitung % activator padat dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode kering:

$$\begin{aligned} \% \text{ Aktivator padat} &= \frac{W_{ph} + W_{ps}}{W_f + W_{ph} + W_{ps}} \times 100\% \\ &= 21.15 \% \end{aligned}$$

- b) Perbandingan padatan NaOH terhadap padatan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

- Menghitung % NaOH padat dalam satu kesatuan activator padat:

$$\begin{aligned} \% \text{ NaOH} &= \frac{W_{ph}}{W_{ph} + W_{ps}} \times 100\% \\ &= 23 \% \end{aligned}$$

- Menghitung %  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  padat dalam satu kesatuan activator padat:



$$\begin{aligned} \% \text{Na}_2\text{SiO}_3 &= \frac{W_{ps}}{W_{ph}+W_{ps}} \times 100\% \\ &= 77\% \end{aligned}$$

- Menghitung massa air dalam larutan NaOH ( $W_{wlh}$ ) yaitu:  
Air dalam larutan NaOH ( $W_{wlh}$ ) =  $W_{lh} - W_{ph}$   
= 57.22 kg
- Menghitung massa air dalam larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $W_{wls}$ ) yaitu:  
Air dalam larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $W_{wls}$ ) =  $W_{ls} - W_{ps}$   
= 111.46 kg
- Menghitung massa air total ( $W_{wtot}$ ) dalam larutan activator NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yaitu:  
Air total dalam larutan activator ( $W_{wtot}$ ) =  
 $W_{wlh} - W_{wls} = 168.67$  kg
- Menghitung ratio air terhadap semen atau bahan pengikat padat (W/C Ratio) yaitu:  
W/C Ratio =  $\frac{W_{wtot}}{W_f+W_{ph}+W_{ps}}$   
= 0.21

### 3.4.2. Mix Design Pasta Semen Geopolimer

Setelah dilakukan perhitungan konversi campuran basah ke campuran kering maka hasil perhitungan disajikan kedalam Tabel 3. 4. Variabel yang digunakan untuk komposisi campuran pasta semen geopolimer adalah sebagai berikut:

**Tabel 3. 3** Tabel Mix Design Semen Geopolimer

| Variabel | Parameter Semen Geopolimer |                                  |                |
|----------|----------------------------|----------------------------------|----------------|
|          | FA : Aktivator             | NaOH : $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ | Molaritas NaOH |
| V1       | 65 : 35                    | 1 : 2,5                          | 8M             |
| V2       | 65 : 35                    | 1 : 2,5                          | 12M            |
| V3       | 65 : 35                    | 1 : 2,5                          | 14M            |

**Tabel 3. 4** Tabel Mix Design Pasta Semen Geopolimer

| Variabel | Parameter Pasta Semen Geopolimer (kg/m <sup>3</sup> ) |                                  |      |       |
|----------|---|----------------------------------|------|-------|
|          | FA  | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | NaOH | Air   |
| V1       | 624   | 128.5                            | 25.2 | 182.3 |
| V2       | 624   | 128.5                            | 34.7 | 172.8 |
| V3       | 624   | 128.5                            | 38.8 | 168.7 |

### 3.4.3. Mix Design Mortar Geopolimer

*Mix design* ini bertujuan untuk mendapatkan massa bahan yang akan digunakan untuk membuat 1 m<sup>3</sup> mortar geopolimer berdasarkan uraian yang telah dijabarkan sub bab 3. 4. Berikut ini adalah tabel *mix design* mortar geopolimer dengan variabel yang digunakan:

**Tabel 3. 5** Tabel *Mix design* Mortar Geopolimer

| Variabel | Mix Design Mortar Geopolimer (kg/m <sup>3</sup> ) |     |                                  |      |       |
|----------|---|-----|----------------------------------|------|-------|
|          | Pasir   | FA  | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | NaOH | Air   |
| PM-8M    | 1440  | 624 | 121,9                            | 25.2 | 182.3 |
| PM-12M   | 1440  | 624 | 121,9                            | 34.7 | 172.8 |
| PM-14M   | 1440  | 624 | 121,9                            | 38.8 | 168.7 |
| PB-8M    | 1440  | 624 | 121,9                            | 25.2 | 182.3 |
| PB2-12M  | 1440  | 624 | 121,9                            | 34.7 | 172.8 |
| PB3-14M  | 1440  | 624 | 121,9                            | 38.8 | 168.7 |
| PL1-8M   | 1440  | 624 | 121,9                            | 25.2 | 182.3 |
| PL2-12M  | 1440  | 624 | 121,9                            | 34.7 | 172.8 |
| PL3-14M  | 1440  | 624 | 121,9                            | 38.8 | 168.7 |

\*PM = Pasir Mojokerto, PB = Pasir Bojonegoro, PL = Pasir Lumajang

\*8M = 8 Molar, 12M = 12 Molar, 14M = 14 Molar

## 3. 5. Semen Geopolimer

### 3.5.1. Pembuatan Semen Geopolimer

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pembuatan semen geopolimer dengan metode kering:

1. Menyiapkan alat dan bahan diantaranya material yang digunakan adalah *fly ash* tipe C, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH dalam bentuk padatan dan alat yang digunakan adalah mesin grinding, dan bola-bola baja (10 bola baja ukuran diameter 5,65 cm, 5 bola baja ukuran diameter 6,65 cm dan 3 bola baja ukuran diameter 7,65 cm).



**Gambar 3. 23** (a) Fly ash Tipe C, (b)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , (c)  $\text{NaOH}$ , (d) Mesin Los Angles, dan (e) 19 buah bola baja

2. Menimbang bahan material sesuai dengan perhitungan yang telah ditentukan.
3. Memasukkan *fly ash* tipe C terlebih dahulu kedalam mesin grinding. Kemudian masukkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  dalam bentuk padatan kedalam mesin grinding.



**Gambar 3. 24** Memasukkan (a) Fly ash, (b)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan (c)  $\text{NaOH}$  kedalam mesin grinding

4. Masukkan 19 buah bola baja kedalam mesin grinding. Kemudian tutup dan kunci mesin grinding dengan rapat.



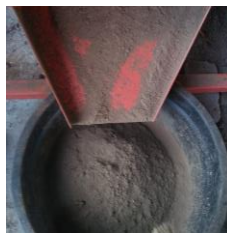
**Gambar 3. 25** Memasukkan 12 bola besi kedalam mesin grinding

5. Jalankan mesin grinding dengan 500 kali putaran hingga bahan material tersebut tercampur menjadi satu dan halus. Mesin akan secara otomatis berhenti setelah mencapai 500 kali putaran.



**Gambar 3. 26** Mesin penghitung pada mesin grinding semen geopolimer

6. Buka pintu mesin grinding dan tuangkan isi material pada wadah yang ada.



**Gambar 3. 27** Hasil grinding semen geopolimer

7. Setelah bahan material sudah tercampur menjadi satu dan bertekstur halus, bahan ini siap untuk digunakan sebagai semen geopolimer.

### 3.5.2. Pengujian *Setting Time* Pasta Semen Geopolimer

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui waktu pengikatan awal (mulai mengikat) dan pengikatan akhir (mulai mengeras) dari pasta semen geopolimer. Berikut adalah langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pengujian:

- a) Alat dan Bahan
  1. Alat vicat
  2. Timbangan digital
  3. Stopwatch
  4. Cawan dan sendok
  5. Semen geopolimer 8M, 12M, dan 14M
- b) Prosedur pengujian
  1. Timbang semen geopolimer dan air sesuai takaran.



**Gambar 3. 28** Menimbang semen geopolimer dan air

2. Masukkan air pada cawan yang berisi semen geopolimer yang telah ditimbang sedikit demi sedikit. Aduk pasta selama kurang lebih 3 menit hingga campuran menjadi rata.



**Gambar 3. 29** Pembuatan pasta semen geopolimer

3. Masukkan pasta semen geopolimer ke dalam wadah vicat dan ratakan dengan menggunakan kapi. Pasang jarum vicat diameter kecil (1 mm), tunggu 10 menit.

4. Setelah 10 menit, tempelkan ujung jarum dengan tengah permukaan pasta semen geopolimer dan setelah 30 detik baca besar penurunan pada jarum vicat dan catat hasilnya.
5. Angkat jarum vicat dan lap jarumnya untuk membersihkan pasta semen geopolimer yang menempel pada jarum vicat.
6. Setelah 10 menit kedua lakukan pengetesan kembali pada permukaan pasta semen geopolimer, akan tetapi letak jatuh jarum digeser minimum berjarak 3 mm dari tempat test pertama.
7. Jatuhkan jarum pada permukaan pasta dan setelah 30 detik baca besar penurunan pada jarum vicat dan catat hasilnya. Selanjutnya angkat jarum vicat dan lap jarumnya untuk membersihkan pasta semen geopolimer yang menempel pada jarum vicat.
8. Begitu seterusnya, lakukan pengetesan setiap 10 menit dan catat besar penurunan yang terjadi. Pengujian dihentikan hingga penurunan pada jarum vicat menunjukkan angka kurang dari 5 mm.
9. Lakukan langkah-langkah diatas pada semen geopolimer dengan konsistensi NaOH: 8M, 12M, dan 14M.



**Gambar 3. 30** Proses pengujian pasta semen geopolimer dengan alat vicat

### 3. 6. Mortar Geopolimer

#### Pembuatan Mortar Geopolimer

Dalam pembuatan benda uji pada penelitian ini digunakan cetakan mortar berbentuk kubus 5 x 5 x 5 cm. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian dengan umur 7, 28, dan 56 hari. Setiap umur pengujian menggunakan 9 sampel benda uji. Sehingga pada pembuatan mortar dibuat sebanyak 27 kubus. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pembuatan mortar geopolimer dengan metode kering:

#### 1. Menyiapkan alat dan bahan.



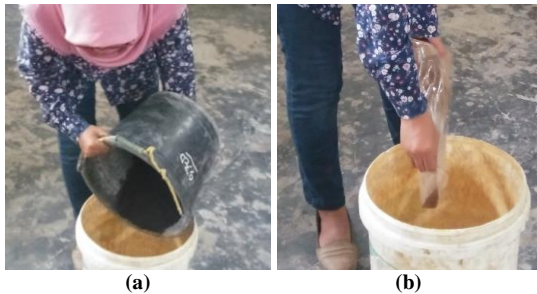
**Gambar 3. 31** Bahan: (a) Agregat halus (pasir), (b) Semen geopolimer dan (c) Air. Alat: (d) Mold 5x5 cm, (e) Timba plastic, (f) Cetok, dan (g) *Hand mixer*

2. Mengoleskan oli pada seluruh permukaan cetakan mortar.



**Gambar 3. 32** Mengoleskan oli pada permukaan cetakan

3. Masukkan agregat halus (pasir) kedalam timba plastik. Kemudian masukkan semen geopolimer kedalam timba plastik



**Gambar 3. 33** Memasukkan (a) pasir dan (b) semen geopolimer ke dalam timba plastic

4. Aduk dengan *hand mixer* selama 3 menit hingga pasir dan semen geopolimer tercampur merata



**Gambar 3. 34** Mengaduk campuran pasir dan semen geopolimer dengan hand mixer hingga tercampur



5. Masukkan air secara bertahap dan aduk dengan *hand mixer* selama 4 menit hingga homogen.



**Gambar 3. 35** Memasukkan air secara bertahap dan mengaduk hingga homogen

6. Masukkan adonan mortar kedalam cetakan kubus 5x5x5 cm.



**Gambar 3. 36** Memasukkan adonan mortar kedalam cetakan kubus 5x5x5 cm

7. Bungkus adonan mortar pada cetakan dengan plastik selama 1 hari, selanjutnya benda uji mortar dilepaskan dari cetakan dan dimasukkan kedalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam. Setelah dioven selama 24 jam diamkan benda uji hingga dingin kemudian bungkus kembali dengan plastik tertutup diamkan hingga umur pengujian.



**Gambar 3. 37** Metode curing

### 3. 7. Pengujian Mortar Geopolimer

#### 3.7.1. Uji *Setting Time*

Pengujian *setting time* pada mortar geopolimer dilakukan berdasarkan standar SNI ASTM C403/C403M 2012 Metode Uji Waktu Pengikatan Campuran Beton Dengan Ketahanan Penetrasi yang sesuai pada sub bab 2.7.1. Alat yang digunakan adalah *concrete penetrometer spring type* dengan series TO-388-S1. Alat ini dilengkapi dengan jarum-jarum penetrasi yang memiliki luas permukaan sesuai standar SNI ASTM C403/C403M 2012.



**Gambar 3. 38** Alat concrete penetrometer spring type series TO-388-S1



**Gambar 3. 39** Pengujian *setting time* mortar geopolimer dengan menggunakan alat *penetrometer concrete*

#### 3.7.2. Uji *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*

Benda uji mortar geopolimer yang telah dibuat dilakukan pengujian UPV untuk mengetahui kepadatan yang terjadi pada benda uji mortar geopolimer. Pengujian ini dilakukan pada masing-masing benda uji yang telah dibuat. Kemudian dilakukan perhitungan kecepatan rambat gelombang dengan Persamaan 2. 9. Hasil perhitungan pada Persamaan 2. 9 selanjutnya dilakukan klasifikasi kualitas mortar geopolimer yang diuji berdasarkan pada

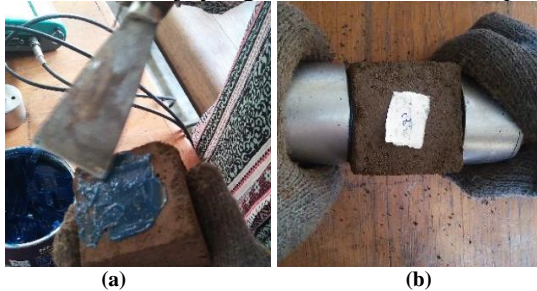
Tabel 2. 9. Berikut adalah langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam melakukan pengujian UPV:

- a) Alat dan Bahan
  1. Alat UPV
  2. Stampet
  3. Kapi
  4. Benda uji kubus ukuran 5x5x5 cm



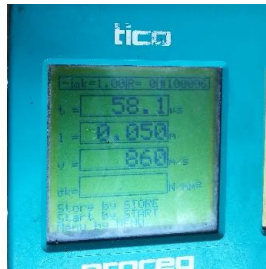
Gambar 3. 40 Alat UPV

- b) Prosedur pengujian
  1. Pasang kabel pada alat UPV.
  2. *Setting* sesuai benda uji yang akan digunakan pada menu alat UPV.
  3. Oleskan stampet dengan menggunakan kapi pada kedua sisi benda uji.
  4. Tempelkan *receiver* dan *transmitter* pada alat UPV di kedua sisi benda uji yang telah dioleskan stampet.



Gambar 3. 41 (a) Mengoleskan stampet pada benda uji. (b) Menempelkan alat UPV pada benda uji

5. Tekan tombol Start pada alat UPV. Maka akan muncul nilai rambatan gelombang pada layar.



Gambar 3. 42 Tampilan hasil pengujian UPV

6. Catat hasil  $v$  kemudian analisis kualitas mortar geopolimer seperti pada Tabel 2. 9.

### 3.7.3. Uji Kuat Tekan

Benda uji mortar geopolimer yang telah dibuat dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah 7, 28, dan 56 hari pada masing-masing benda uji yang telah dibuat. Kemudian dilakukan perhitungan kuat tekan yang diperoleh dari hasil pengujian dengan menggunakan Persamaan 2. 6. Pengujian kuat tekan dilakukan sesuai dengan standart pengujian SNI 03 6825 2002 dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Berikut ini adalah prosedur pengujian kuat tekan :

1. Benda uji yang akan dilakukan pengujian telah berada pada umur yang direncanakan. Pada penelitian ini umur rencana benda uji mortar geopolier adalah 7, 28, dan 58 hari dari pembuatan benda uji.
2. Timbang berat benda uji.
3. Letakkan benda uji pada mesin penekan. Tekanlah benda uji tersebut dengan penambahan besarnya gaya tetap sampai benda uji tersebut pecah.
4. Catat beban maksimum hancurnya benda uji.
5. Hitung kuat tekan yang dihasilkan pada setiap benda uji dengan menggunakan Persamaan 2. 6.



**Gambar 3. 43** Pengujian kuat tekan mortar geopolimer

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Umum

Bab ini membahas hasil penelitian yang telah diperoleh dari setiap pengujian, kemudian dianalisa dan diambil kesimpulan. Hasil penelitian di laboratorium terdiri dari hasil uji material penyusun, hasil kuat tekan, upv, dan *setting time*. Data-data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan dalam menganalisa.

### 4.2. Hasil Pengujian Spesifikasi Material Penyusun

#### 4.2.1. Fly Ash

##### 4.2.1.1. Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Material *fly ash* yang dipakai yaitu limbah hasil penggunaan batu bara yang berasal dari PLTU Paiton Jawa Power. Material *fly ash* diuji *X-Ray Fluorescence* (XRF) di Laboratorium Analisa Kimia PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, Gresik, Jawa Timur. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam *fly ash*. Hasil pengujian pada material *fly ash* ditunjukkan dalam Tabel 4. 1. Dapat disimpulkan, menurut ASTM C 618-05 *Standard Spesification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, menunjukkan komposisi kimia yang terkandung dalam *fly ash* yang digunakan tergolong *fly ash* Tipe C berdasarkan:

- Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) =  $(33.89 + 12.54 + 17.68)\%$   
= **64.11% > 50% → Tipe C**
- CaO = **19.86% > 10% → Tipe C**
- $\text{SO}_3$  = **2.16% < 5% → Tipe C**

**Tabel 4. 1** Hasil Uji XRF Pada Fly Ash

| Senyawa                        | Kandungan (%) | Senyawa                        | Kandungan (%) |
|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 33.89         | SrO                            | 0.0955        |
| CaO                            | 19.86         | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.0592        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17.68         | Cl                             | 0.039         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.54         | ZnO                            | 0.0213        |
| MgO                            | 9.023         | ZrO <sub>2</sub>               | 0.0162        |
| SO <sub>3</sub>                | 2.16          | CuO                            | 0.011         |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.04          | NiO                            | 0.008         |
| K <sub>2</sub> O               | 1.03          | As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.006         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.691         | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.006         |
| BaO                            | 0.215         | Rb <sub>2</sub> O              | 0.003         |
| MnO                            | 0.168         | Br                             | 0.003         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.154         |                                |               |

#### 4.2.1.2. Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada *fly ash* dilakukan untuk mengetahui kandungan senyawa dan mineral yang terkandung. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, Gresik, Jawa Timur. Berikut ini adalah hasil pengujian yang telah dilakukan:

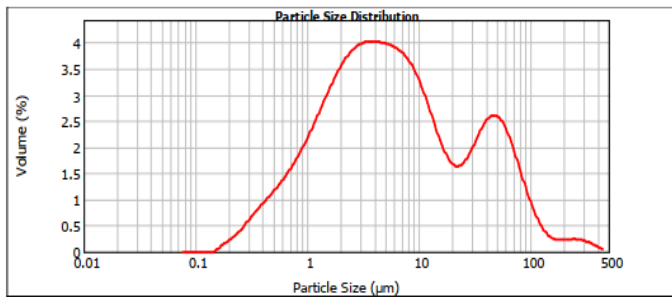
**Tabel 4. 2** Kandungan Mineral Hasil Pengujian XRD Terhadap Fly Ash yang Digunakan

| Mineral        | Kandungan (%) | Mineral   | Kandungan (%) |
|----------------|---------------|-----------|---------------|
| Amorphous      | 44.088        | Maghemite | 3.352         |
| Brownmillerite | 14.656        | Magnetite | 3.307         |
| Periclase      | 8.894         | Arcanite  | 3.149         |
| Quartz         | 8.493         | Hematite  | 2.873         |
| Magnesite      | 6.541         | R_wp      | 2.737         |
| Anhydrite      | 3.585         | Lime      | 1.061         |

Hasil analisa XDR menunjukkan bahwa di dalam kandungan *fly ash* yang diuji terdapat mineral berupa Periclase, Quartz, Anhydrite dan Lime dimana *fly ash* yang memiliki kandungan mineral tersebut tergolong dalam *fly ash* tipe C (J K Tishmack, 1999).

#### 4.2.1.3. Pengujian *Particle Size Distribution* (PSD)

Pengujian *Particle Size Distribution* (PSD) dilakukan untuk mengetahui distribusi sebaran ukuran partikel material *fly ash* yang digunakan. Pengujian PSD menggunakan Malvern Mastersizer 2000 yang dilakukan di Pusat Penelitian Semen: PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk, Gresik, Jawa Timur. Hasil pengujian PSD dapat dilihat pada Gambar 4. 1.



**Gambar 4. 1** Grafik Sebaran Ukuran Partikel (*Particle Size Distribution* - PSD) pada Fly Ash PLTU PT. Jawa Power

**Tabel 4. 3** Data Hasil *Laser Diffraction Analys* Pada Pengujian PSD *Fly Ash* yang Digunakan dalam Penelitian ini

| Parameter                     | Nilai     |
|-------------------------------|-----------|
| d (0.1)                       | 0.892 µm  |
| d (0.5)                       | 5.392 µm  |
| d (0.9)                       | 54.603 µm |
| Surface Weighted Mean D [3,2] | 2.255 µm  |
| Volume Weighted Mean D [4,3]  | 19.267 µm |

Gambar 4. 1 menunjukkan terdapat dua *peak* (puncak) hal ini menindikasikan distribusi partikel *fly ash* tidak merata. Tabel 4. 3 menunjukkan hasil pengujian PSD dengan menggunakan *Laser Diffraction Analys*. Parameter d(0.1), d(0.5) dan (0.9) berturut-turut mengindikasikan bahwa: 10% dari volume sampel terdiri dari partikel dengan ukuran 0.892 µm, 50% dari volume sampel terdiri dari partikel dengan ukuran 5.392 µm, dan 90% volume sampel terdiri dari partikel dengan ukuran 54.603 µm. Dengan memantau ketiga parameter (d(0.1), d(0.5), dan d(0.9)) tersebut

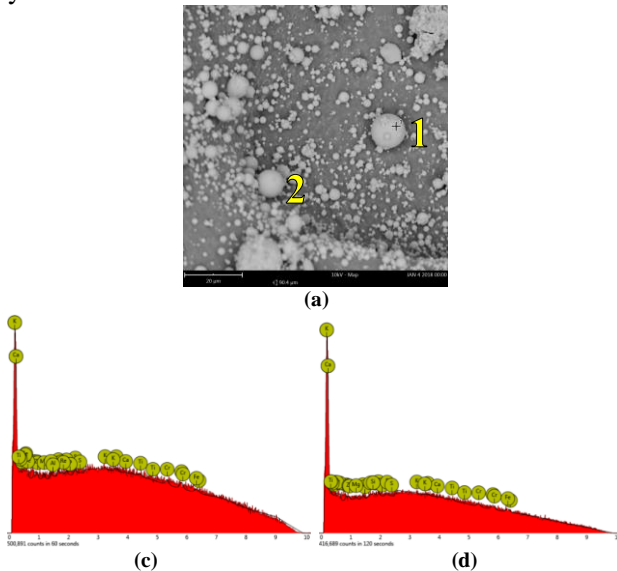


memungkinkan untuk melihat apakah terjadi perubahan yang signifikan dalam ukuran partikel pada *fly ash*. (Rawle, 2015).

Parameter D [3,2] dan D [4,3] masing-masing merupakan nilai rata-rata (mean) ukuran partikel halus dan partikel kasar yang tersusun dalam *fly ash* (Rawle, 2015). Rata-rata ukuran partikel halus *fly ash* dalam penelitian ini sebesar 2.255  $\mu\text{m}$  dan rata-rata ukuran partikel kasar sebesar 19.267  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.1.4. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada *fly ash* bertujuan untuk dapat mengamati karakteristik bentuk, struktur dan distribusi pori pada *fly ash*, sedangkan untuk dapat mengetahui komposisi serta kadar unsur yang terkandung dapat dianalisis menggunakan EDX. Pengujian ini dilakukan di LPPM ITS Surabaya.



**Gambar 4. 2** (a) SEM fly ash Tipe C dengan perbesaran 3000x, (b) Spectrum SEM fly ash Spot 1, (c) Spectrum SEM fly ash Spot 2

Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa bentuk partikel yang ada pada *fly ash* Tipe C berbentuk bulat halus dan memiliki

ukuran partikel yang berbeda-beda serta distribusi ukuran partikelnya tidak merata, hal ini dapat dibuktikan dengan pengujian PSD pada sub bab 4.2.1.3. Pengujian EDX pada *fly ash* Tipe C yang ditunjukkan dalam grafik Gambar 4. 2 mengindikasikan bahwa *fly ash* tersebut memiliki *peak* (puncak) yang bertumpang tindih disetiap unsur-unsurnya. Hal ini dikarenakan, padatan *fly ash* berupa Amorf (*Amorphus*) yang merupakan penyusun dari suatu material dimana atom-atomnya tersusun secara tidak teratur, sehingga panjang dan sudut ikatan antar atom juga tidak teratur (Takeuchi, 2016; Rachmalia, 2018).

#### 4.2.2. Alkali Aktivator

##### 4.2.2.1. $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

Kandungan oksida yang terdapat dalam  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  didapatkan dari hasil uji XRF dapat dilihat Tabel 4. 4 sebagai berikut:

**Tabel 4. 4** Kandungan oksida pada  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

| Senyawa                 | Kandungan (%) |
|-------------------------|---------------|
| $\text{SiO}_2$          | 89.90%        |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 5.30%         |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 2.90%         |
| $\text{ZrO}_2$          | 1.80%         |
| $\text{CaO}$            | 0.97%         |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 0.19%         |

##### 4.2.2.2. NaOH

Kandungan oksida yang terdapat dalam NaOH didapatkan dari brosur produk kemasan NaOH dapat dilihat Tabel 4. 5 sebagai berikut:

**Tabel 4. 5** Kadar kemurnian pada NaOH

| Nama                 | Kemurnian |
|----------------------|-----------|
| NaOH                 | 98 %      |
| $\text{H}_2\text{O}$ | 2 %       |

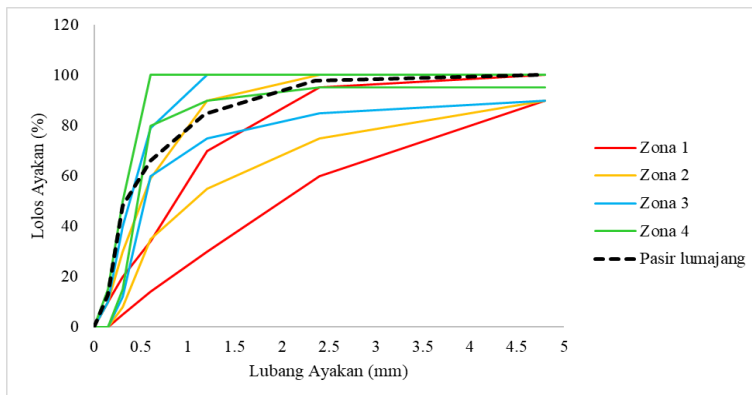
### 4.2.3. Agregat Halus (Pasir)

#### 4.2.3.1. Analisa Saringan Pasir

Berikut adalah hasil analisa saringan yang telah dilakukan terhadap ketiga jenis pasir (pasir lumajang, pasir mojoserto, dan pasir bojonegoro) berdasarkan standar ASTM C33 dan SNI 2834-2000:

**Tabel 4. 6** Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir Lumajang

| Lubang ayakan<br>(mm) | Pasir 500 gram |      |              |         |
|-----------------------|----------------|------|--------------|---------|
|                       | Tertinggal     |      | Kumulatif    |         |
|                       | (gram)         | %    | % Tertinggal | % Lolos |
| 4,75 mm (No.4)        | 0              | 0    | 0            | 100     |
| 2,35 mm (No.8)        | 11             | 2.2  | 2.2          | 97.8    |
| 1,18 mm (No.16)       | 66             | 13.2 | 15.4         | 84.6    |
| 0,6 mm (No.30)        | 93             | 18.6 | 34           | 66      |
| 0,3 mm (No.50)        | 89             | 17.8 | 51.8         | 48.2    |
| 0,15 mm (No.100)      | 176            | 35.2 | 87           | 13      |
| Pan                   | 65             | 13   | 100          | 0       |
| Jumlah                | 500            | 100  | 290.4        | 409.6   |
| Modulus Kehalusan     |                |      |              | 2.904   |

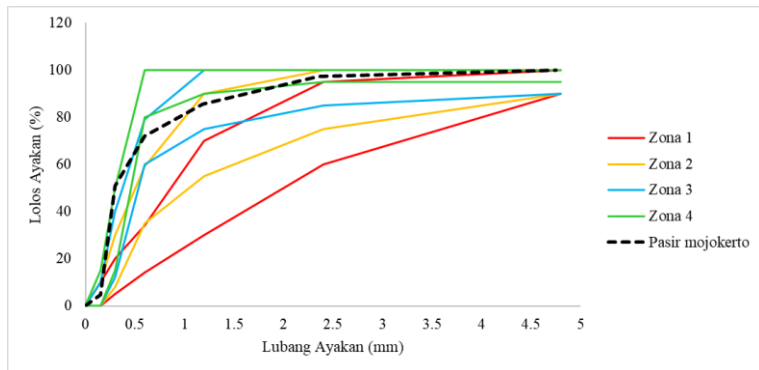


**Gambar 4. 3** Grafik analisa saringan pasir Lumajang

Hasil pengujian analisa saringan untuk pasir lumajang menunjukkan bahwa gradasi agregat pasir lumajang berada pada zona 3 (Pasir agak halus) (SK SNI T-15-1990-03).

**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir Mojokerto

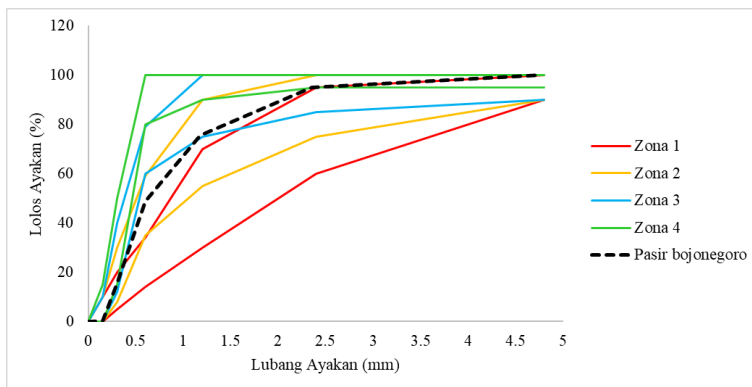
| Lubang ayakan<br>(mm) | Pasir 500 gram |      |              |        |
|-----------------------|----------------|------|--------------|--------|
|                       | Tertinggal     |      | Kumulatif    |        |
|                       | (gram)         | %    | % Tertinggal | %Lolos |
| 4,75 mm (No.4)        | 0              | 0    | 0            | 100    |
| 2,35 mm (No.8)        | 14             | 2.8  | 2.8          | 97.2   |
| 1,18 mm (No.16)       | 58             | 11.6 | 14.4         | 85.6   |
| 0,6 mm (No.30)        | 68             | 13.6 | 28           | 72     |
| 0,3 mm (No.50)        | 106            | 21.2 | 49.2         | 50.8   |
| 0,15 mm (No.100)      | 231            | 46.2 | 95.4         | 4.6    |
| Pan                   | 23             | 4.6  | 100          | 0      |
| Jumlah                | 500            | 100  | 289.8        | 410.2  |
| Modulus Kehalusan     |                |      |              | 2.898  |

**Gambar 4. 4** Grafik analisa saringan pasir Mojokerto

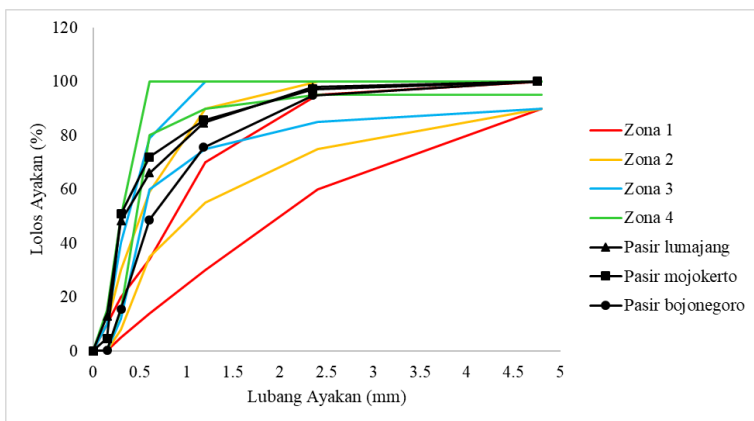
Hasil pengujian analisa saringan untuk pasir mojokerto menunjukkan bahwa gradasi agregat pasir mojokerto berada pada zona 3 (Pasir agak halus) (SK SNI T-15-1990-03).

**Tabel 4. 7** Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir Bojonegoro

| Lubang ayakan<br>(mm) | Pasir 500 gram |      |              |        |
|-----------------------|----------------|------|--------------|--------|
|                       | Tertinggal     |      | Kumulatif    |        |
|                       | (gram)         | %    | % Tertinggal | %Lolos |
| 4,75 mm (No.4)        | 0              | 0    | 0            | 100    |
| 2,35 mm (No.8)        | 26             | 5.2  | 5.2          | 94.8   |
| 1,18 mm (No.16)       | 96             | 19.2 | 24.4         | 75.6   |
| 0,6 mm (No.30)        | 135            | 27   | 51.4         | 48.6   |
| 0,3 mm (No.50)        | 165            | 33   | 84.4         | 15.6   |
| 0,15 mm (No.100)      | 77             | 15.4 | 99.8         | 0.2    |
| Pan                   | 1              | 0.2  | 100          | 0      |
| Jumlah                | 500            | 100  | 365.2        | 334.8  |
| Modulus Kehalusan     |                |      |              | 3.652  |

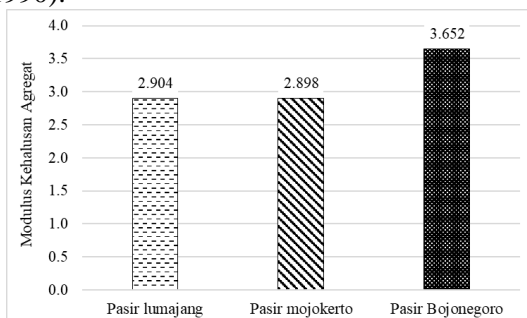
**Gambar 4. 5** Grafik analisa saringan pasir Bojonegoro

Hasil pengujian analisa saringan untuk pasir bojonegoro menunjukkan bahwa gradasi agregat pasir bojonegoro berada pada zona 2 (Pasir agak kasar) (SK SNI T-15-1990-03).



**Gambar 4. 6** Grafik analisa saringan Pasir Mojokerto, Pasir Bojonegoro dan Pasir Lumajang

Sehingga dapat disimpulkan dari pengujian analisa saringan, pasir Mojokerto dan pasir Lumajang memiliki gradasi yang hampir sama, hal ini dilihat dari Gambar 4. 6 keduanya termasuk kedalam Zona 3. Namun, ukuran butiran pasir lumajang lebih besar dibandingkan dengan butiran pasir mojokerto, hal ini dilihat dari nilai modulus kehalusan masing-masing pasir yakni 2,904 dan 2.898. Sedangkan pasir bojonegoro memiliki nilai modulus kehalusan yakni 3.652. Semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa semakin besar butir-butir agregatnya (SNI 03-1750-1990).



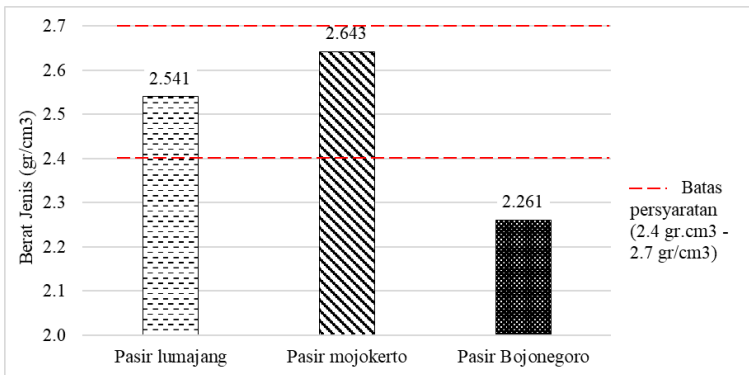
**Gambar 4. 7** Nilai Modulus Kehalusan Pasir Lumajang, Pasir Mojokerto dan Pasir Bojonegoro

#### 4.2.3.2. Berat Jenis Pasir (ASTM C128)

Hasil pengujian berat jenis pada tiga jenis pasir yang berasal dari tiga daerah yang berbeda (pasir Mojokerto, pasir Bojonegoro dan pasir Lumajang) adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 8** Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir

| Jenis Pasir  | Pasir Lumajang | Pasir Mojokerto | Pasir Bojonegoro |
|--|----------------|-----------------|------------------|
|  | gram           | gram            | gram             |
| Berat pasir SSD (S)  | 500            | 500             | 500              |
| Berat labu + pasir + air (C)   | 1564.2         | 1571.8          | 1539.9           |
| Berat labu + air (B)   | 1261           | 1261            | 1261             |
| Berat Jenis ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ ) =<br>$\frac{S}{S + B - C}$ | 2.541          | 2.643           | 2.261            |



**Gambar 4. 8** Berat jenis pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang

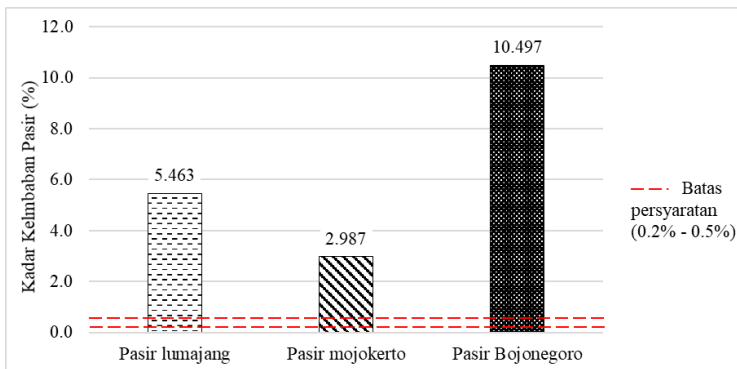
ASTM C128 mengisyaratkan berat jenis pasir yakni antara  $2.4 \text{ gram}/\text{cm}^3$  sampai  $2.7 \text{ gram}/\text{cm}^3$ . Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis pasir lumajang dan pasir mojokerto masing-masing yakni  $2.541 \text{ gram}/\text{cm}^3$  dan  $2.643 \text{ gram}/\text{cm}^3$  sehingga memenuhi persyaratan. Sedangkan pasir bojonegoro yakni  $2.261 \text{ gram}/\text{cm}^3$  yang berarti kurang dari yang diisyaratkan.

#### 4.2.3.3. Kelembaban Pasir (ASTM C566)

Hasil pengujian kadar kelembaban pada tiga jenis pasir yang berbeda (pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang) adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 9** Hasil Pengujian Kadar Kelembaban Pasir

| Jenis Pasir  | Pasir Lumajang | Pasir Mojokerto | Pasir Bojonegoro |
|--|----------------|-----------------|------------------|
|  | gram           | gram            | gram             |
| Berat pasir kondisi asli (W)                         | 500            | 500             | 500              |
| Berat pasir oven (D)                                 | 474.1          | 485.5           | 452.5            |
| Kelembaban pasir =<br>$\frac{W - D}{D} \times 100\%$ | 5.563%         | 2.987 %         | 10.497 %         |



**Gambar 4. 9** Kadar kelembaban pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang

Hasil pengujian kadar kelembaban pasir adalah berturut-turut sebagai berikut: pasir lumajang yakni 5.463% , pasir mojokerto yakni 2.947% , dan pasir bojonegoro yakni 10.497%. ASTM C566 menyatakan pasir memiliki kelembaban antara 0.5% hingga 0.2%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga jenis pasir belum sepenuhnya dalam keadaan kering.

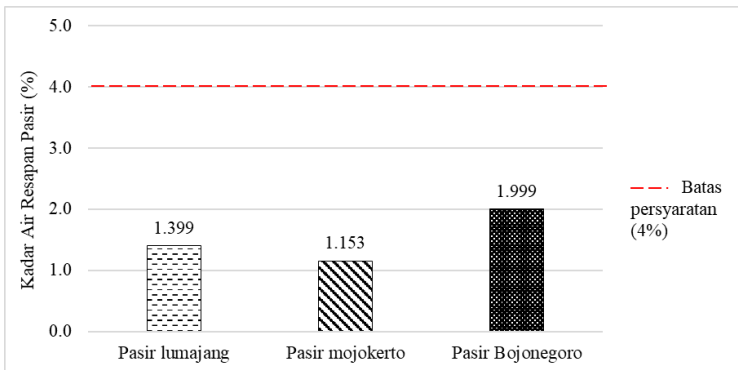


#### 4.2.3.4. Kadar Air Resapan Pasir (ASTM C128)

Hasil pengujian kadar air resapan pada tiga jenis pasir yang berbeda (pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang) adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 10** Hasil Pengujian Kadar Air Resapan Pasir

| Jenis Pasir   | Pasir Lumajang | Pasir Mojokerto | Pasir Bojonegoro |
|---|----------------|-----------------|------------------|
|   | gram           | gram            | gram             |
| Berat pasir kondisi SSD (W)                                 | 500            | 500             | 500              |
| Berat pasir oven (A)  | 493.1          | 494.3           | 490.2            |
| Kadar air resapan pasir =<br>$\frac{S - A}{A} \times 100\%$ | 1.399%         | 1.153%          | 1.999%           |



**Gambar 4. 10** Kadar air resapan pasir mojokerto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang

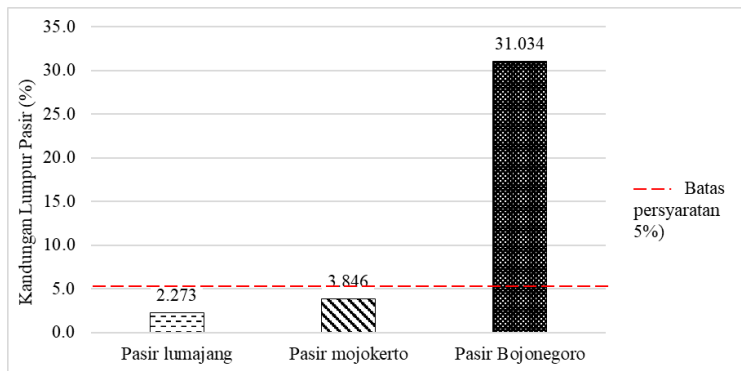
Hasil pengujian kadar air resapan pasir adalah berturut-turut sebagai berikut: pasir lumajang yakni 1.399% , pasir lumajang yakni 1.153% , dan pasir bojonegoro yakni 1.999%. Kadar air masing-masing jenis pasir memenuhi persyaratan ASTM C128 dimana batas maksimum kadar air resapan pasir sebesar 4%.

#### 4.2.3.5. Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (ASTM C33)

Hasil pengujian kebersihan pasir terhadap lumpur pada tiga jenis pasir yang berbeda (pasir mojoserto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang) adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 11** Hasil Pengujian Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur

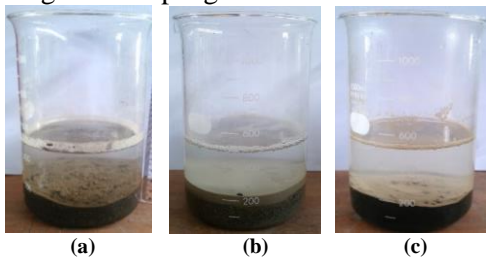
| Jenis Pasir                                      | Pasir Lumajang | Pasir Mojokerto | Pasir Bojonegoro |
|--|----------------|-----------------|------------------|
|  | cm             | cm              | cm               |
| Tinggi pasir + lumpur (B)                        | 2.2            | 2.6             | 2.9              |
| Tinggi pasir (C)                                 | 2.15           | 2.5             | 2                |
| Kadar lumpur =<br>$\frac{B - C}{B} \times 100\%$ | 2.273%         | 3.846%          | 31.034%          |



**Gambar 4. 11** Kadar lumpur pasir mojoserto, pasir bojonegoro dan pasir lumajang

Hasil pengujian kandungan lumpur didalam pasir adalah berurut-turut sebagai berikut: pasir lumajang yakni 2.273% , pasir mojoserto yakni 3.846%, dan pasir bojonegoro yakni 31.043%. ASTM C33 mengisyaratkan kandungan lumpur didalam agregat maksimum sebesar 5%. Dapat disimpulkan pasir mojoserto dan pasir lumajang memenuhi persyaratan sehingga kedua pasir tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengisi. Sedangkan untuk jenis pasir bojonegoro kadar lumpur yang dimiliki melebihi kadar

yang diisyatkan, sehingga jenis pasir bojonegoro tidak dapat digunakan sebagai bahan pengisi.

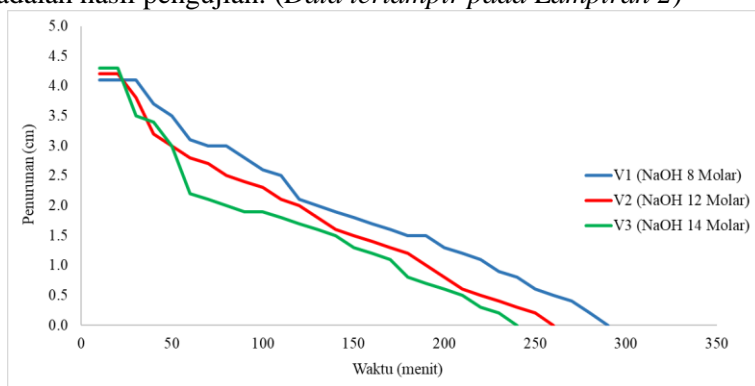


**Gambar 4. 12** Hasil pengujian kadar lumpur (a) Pasir Mojokerto, (b) Pasir Bojonegoro dan (c) Pasir Lumajang

### 4.3. Hasil Pengujian Waktu Ikat Pasta Semen Geopolimer

#### 4.3.1. Waktu Ikat (*Setting Time*) Pasta Semen Geopolimer

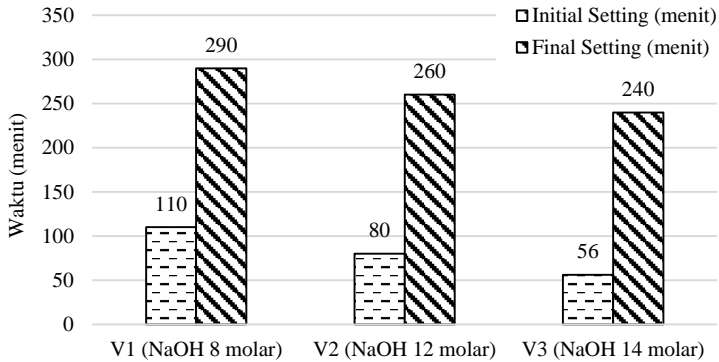
Pengujian waktu ikat (*setting time*) bertujuan untuk mengetahui waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir pasta semen (*binder*) geopolimer. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat vicat. Indikasi pengikatan awal terjadi ketika penurunan jarum vicat tercatat sebesar 25 mm dan pengikatan akhir tercatat kurang lebih 0 mm atau tidak terjadi penurunan jarum vicat. Pengujian *setting time* ini dilakukan dengan komposisi campuran pasta semen geopolimer seperti Tabel 3. 4. Berikut adalah hasil pengujian: (*Data terlampir pada Lampiran 2*)



**Gambar 4.13** Grafik uji setting time pasta semen (binder) geopolimer

**Tabel 4.12** Initial dan Final Setting Time Pasta Semen Geopolimer

| Variasi            | Initial Setting (menit) | Final Setting (menit) |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| V1 (NaOH 8 molar)  | 110                     | 290                   |
| V2 (NaOH 12 molar) | 80                      | 260                   |
| V3 (NaOH 14 molar) | 56                      | 240                   |



**Gambar 4. 14** Initial dan Final Setting Time Pasta Semen Geopolimer

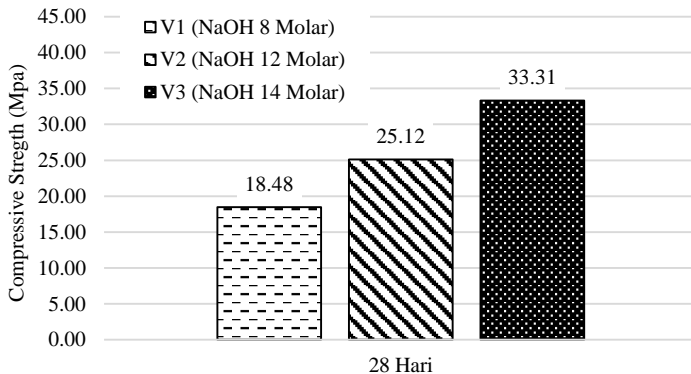
Dari hasil pengujian, komposisi pasta semen geopolimer dengan kandungan NaOH 8 molar memiliki *setting time* terlama, waktu pengikatan awal (*initial*) dan akhir (*final*) adalah berturut-turut sebagai berikut: 110 menit (1 jam 50 menit) dan 290 menit (4 jam 50 menit). Sedangkan untuk komposisi pasta semen geopolimer dengan kandungan NaOH 14 molar memiliki *setting time* tercepat, waktu pengikatan awal dan akhir adalah berturut-turut sebagai berikut: 56 menit dan 240 menit (3 jam). Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan maka *setting time* yang terjadi menjadi semakin cepat.

### 4.3.2. Uji Kuat Tekan Pasta Semen Geopolimer

Uji kuat tekan pasta semen geopolimer dilakukan pada umur 28 hari terhadap setiap variabel (V1, V2, dan V3). Berikut hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan: (*Data terlampir pada Lampiran 2*)

**Tabel 4. 13** Hasil uji kuat tekan pasta semen geopolimer pada umur 28 hari

| No | Variabel | Molaritas NaOH | Kuat tekan rata-rata (Mpa) |
|----|----------|----------------|----------------------------|
| 1  | V1       | 8 Molar        | 18.48                      |
| 2  | V2       | 12 Molar       | 25.12                      |
| 3  | V3       | 14 Molar       | 33.31                      |



**Gambar 4. 15** Nilai Kuat Tekan Pasta Semen Geopolimer Umur 28 Hari

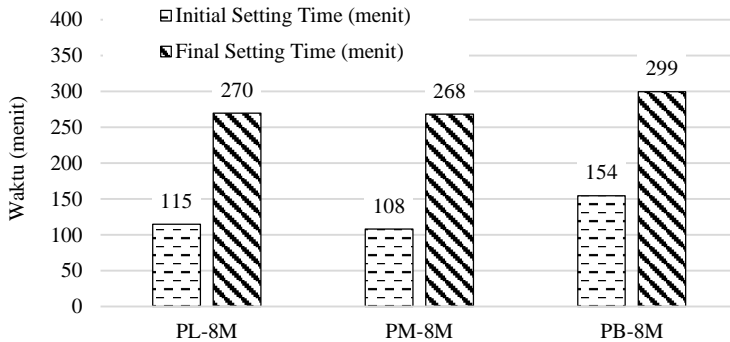
Hasil pengujian nilai kuat tekan tertinggi dan terendah pasta semen geopolimer umur 28 hari berturut-turut adalah: variabel V3 (NaOH 14 Molar) yakni 33.31 Mpa dan variabel V1 (NaOH 8 Molar) yakni 18.48 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi molaritas NaOH maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

#### 4. 4. Hasil Pengujian Benda Uji Mortar Geopolimer

##### 4.4.1. Waktu Ikat (*Setting Time*) Mortar Geopolimer

Pengujian waktu ikat mortar geopolimer bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan agregat halus dengan pasta semen geopolimer terhadap waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir yang terjadi. Dilakukan juga pengamatan mengenai pengaruh waktu ikat mortar geopolimer dengan peningkatan molaritas NaOH. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan pada setiap variabel: (*Data terlampir pada Lampiran 2*)

- a) Waktu ikat (*setting time*) mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 8 molar.

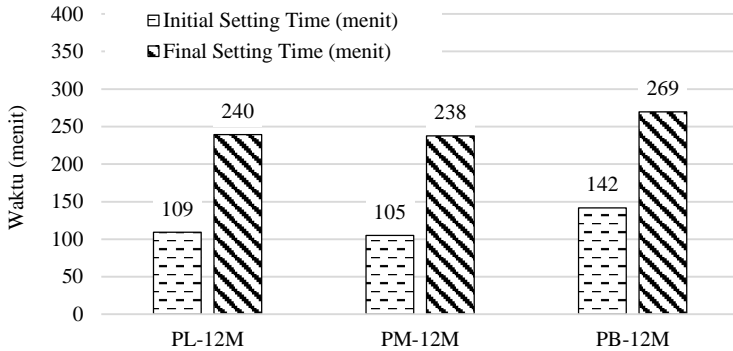


**Gambar 4. 16** Grafik waktu pengikatan mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 8 molar

**Tabel 4. 14** Hasil pengikatan awal dan akhir mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 8 Molar

| Variasi | Initial Setting (menit) | Final Setting (menit) |
|---------|-------------------------|-----------------------|
| PL-8M   | 115                     | 270                   |
| PM-8M   | 108                     | 268                   |
| PB-8M   | 154                     | 299                   |

b) Waktu ikat (*setting time*) mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 12 molar.

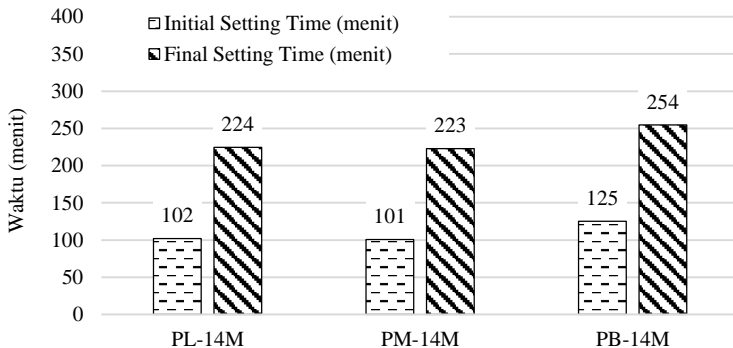


**Gambar 4. 17** Grafik waktu ikat mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 12 molar

**Tabel 4. 15** Hasil pengikatan awal dan akhir mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 12 Molar

| Variasi | Initial Setting Time (menit) | Final Setting Time (menit) |
|---------|------------------------------|----------------------------|
| PL-12M  | 109                          | 240                        |
| PM-12M  | 105                          | 238                        |
| PB-12M  | 142                          | 269                        |

c) Waktu ikat (*setting time*) mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 14 molar.

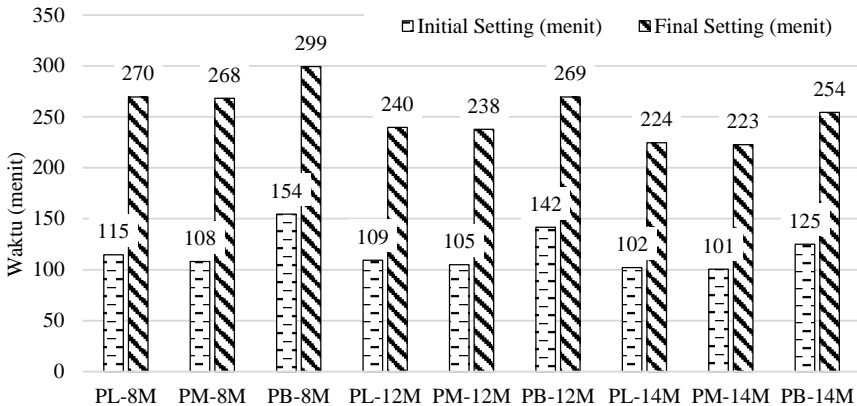


**Gambar 4. 18** Grafik waktu ikat mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 14 molar



**Tabel 4. 16** Hasil pengikatan awal dan akhir mortar geopolimer dengan molaritas NaOH = 14 Molar

| Variasi | Initial Setting Time (menit) | Final Setting Time (menit) |
|---------|------------------------------|----------------------------|
| PL-14M  | 102                          | 224                        |
| PM-14M  | 101                          | 223                        |
| PB-14M  | 125                          | 254                        |



**Gambar 4. 19** Grafik waktu ikat seluruh variabel mortar geopolimer

Hasil pengujian seluruh variabel mortar geopolimer, variabel dengan *setting time* terlama (*initial setting time* dan *final setting time*) adalah komposisi pasir bojonegoro dengan NaOH 8 molar (PB-8M) yaitu *initial setting time* 154 menit dan *final setting time* 299 menit. Sedangkan variabel dengan *setting time* tercepat adalah komposisi pasir mojosuro dengan NaOH 14 molar yakni *initial setting time* 101 menit dan *final setting time* 223 menit. Semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan maka semakin cepat *setting time* yang terjadi.

#### 4.4.2. Uji UPV Mortar Geopolimer

Pengujian UPV dilakukan terhadap setiap benda uji mortar geopolimer pada umur 7, 28 dan 56 hari. Berikut adalah hasilnya: (*Data terlampir pada Lampiran 2*)

- a) Hasil pengujian UPV mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang (PL).

**Tabel 4. 17** Hasil pengujian UPV pada benda uji mortar geopolimer dengan pasir lumajang

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa) |         |         | v rata-rata<br>(m/s) | Klasifikasi<br>Kualitas |
|----|------------|----------------------------|---------|---------|----------------------|-------------------------|
|    |            | 7 Hari                     | 28 Hari | 56 Hari |                      |                         |
| 1  | PL-8M-(a)  | 3009                       | 3170    | 3271    | 3150                 | Cukup Bagus             |
| 2  | PL-12M-(a) | 3350                       | 3400    | 3448    | 3399                 | Cukup Bagus             |
| 3  | PL-14M-(a) | 3371                       | 3497    | 3547    | 3471                 | Cukup Bagus             |
| 4  | PL-8M-(b)  | 3023                       | 3159    | 3388    | 3190                 | Cukup Bagus             |
| 5  | PL-12M-(b) | 3326                       | 3440    | 3474    | 3413                 | Cukup Bagus             |
| 6  | PL-14M-(b) | 3170                       | 3643    | 3691    | 3502                 | Cukup Bagus             |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing

Tabel 4. 17 menunjukkan bahwa benda uji mortar geopolimer dengan menggunakan pasir lumajang menunjukkan nilai kecepatan rata-rata diantara 3000-3500 m/s dan masuk kedalam kategori dengan kualitas cukup bagus.

- b) Hasil pengujian UPV mortar geopolimer menggunakan pasir mojokerto (PM).

**Tabel 4. 18** Hasil pengujian UPV pada benda uji mortar geopolimer dengan pasir mojokerto

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa) |         |         | v rata-rata<br>(m/s) | Klasifikasi<br>Kualitas |
|----|------------|----------------------------|---------|---------|----------------------|-------------------------|
|    |            | 7 Hari                     | 28 Hari | 56 Hari |                      |                         |
| 1  | PM-8M-(a)  | 2250                       | 2316    | 2321    | 2296                 | Cukup                   |
| 2  | PM-12M-(a) | 2334                       | 2398    | 2417    | 2383                 | Cukup                   |
| 3  | PM-14M-(a) | 2542                       | 2773    | 2884    | 2733                 | Cukup                   |
| 4  | PM-8M-(b)  | 2233                       | 2323    | 2701    | 2419                 | Cukup                   |
| 5  | PM-12M-(b) | 2459                       | 2710    | 2845    | 2671                 | Cukup                   |
| 6  | PM-14M-(b) | 2330                       | 2542    | 2551    | 2474                 | Cukup                   |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing

Tabel 4. 18 menunjukkan bahwa benda uji mortar geopolimer dengan menggunakan pasir mojokerto menunjukkan nilai kecepatan rata-rata diantara 2000-3000 m/s dan masuk kedalam kategori dengan kualitas cukup.

c) Hasil pengujian UPV mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro (PB).

**Tabel 4. 19** Hasil pengujian UPV pada benda uji mortar geopolimer dengan pasir bojonegoro

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa) |         |         | v rata-rata<br>(m/s) | Klasifikasi<br>Kualitas |
|----|------------|----------------------------|---------|---------|----------------------|-------------------------|
|    |            | 7 Hari                     | 28 Hari | 56 Hari |                      |                         |
| 1  | PB-8M-(a)  | 1747                       | 1886    | 1890    | 1841                 | Kurang                  |
| 2  | PB-12M-(a) | 1837                       | 1951    | 1968    | 1919                 | Kurang                  |
| 3  | PB-14M-(a) | 1885                       | 1971    | 1995    | 1950                 | Kurang                  |
| 4  | PB-8M-(b)  | 1583                       | 1643    | 1779    | 1668                 | Kurang                  |
| 5  | PB-12M-(b) | 1625                       | 1630    | 1703    | 1653                 | Kurang                  |
| 6  | PB-14M-(b) | 1623                       | 1657    | 1841    | 1707                 | Kurang                  |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing

Tabel 4. 19 menunjukkan bahwa benda uji mortar geopolimer dengan menggunakan pasir bojonegoro menunjukkan nilai kecepatan rata-rata kurang dari 2000 m/s dan masuk kedalam kategori dengan kualitas kurang.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa benda uji mortar geopolimer dengan menggunakan pasir lumajang sebagai bahan pengisi memberikan kualitas yang paling baik atau lebih padat dari ketiga jenis pasir yang digunakan. Sedangkan, penggunaan pasir bojonegoro sebagai bahan pengisi memberikan kualitas yang paling jelek diantara ketiga pasir yang digunakan.

#### 4.4.3. Uji Kuat Tekan Mortar Geopolimer

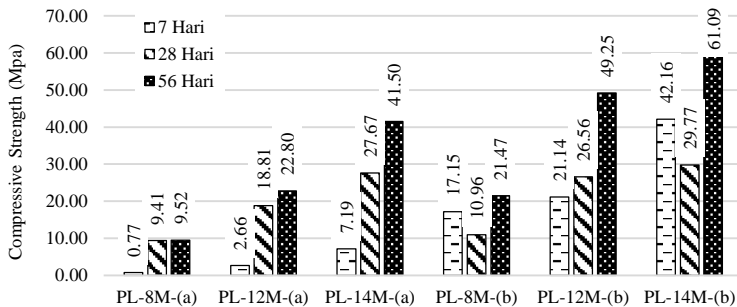
Berikut merupakan hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada umur 7, 28, dan 56 hari (*data terlampir pada Lampiran 2*):

- a) Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan menggunakan pasir lumajang (PL).

**Tabel 4. 20** Hasil kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa) |         |         |
|----|------------|----------------------------|---------|---------|
|    |            | 7 Hari                     | 28 Hari | 56 Hari |
| 1  | PL-8M-(a)  | 0.77                       | 9.41    | 9.52    |
| 2  | PL-12M-(a) | 2.66                       | 18.81   | 22.80   |
| 3  | PL-14M-(a) | 7.19                       | 27.67   | 41.50   |
| 4  | PL-8M-(b)  | 17.15                      | 10.96   | 21.47   |
| 5  | PL-12M-(b) | 21.14                      | 26.56   | 49.25   |
| 6  | PL-14M-(b) | 42.16                      | 29.77   | 61.09   |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing



**Gambar 4. 20** Grafik nilai kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang

**Tabel 4. 21** Perkembangan kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang terhadap kuat tekan usia 56 hari

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata |         |         |
|----|------------|----------------------|---------|---------|
|    |            | 7 Hari               | 28 Hari | 56 Hari |
| 1  | PL-8M-(a)  | 8%                   | 99%     | 100%    |
| 2  | PL-12M-(a) | 12%                  | 83%     | 100%    |
| 3  | PL-14M-(a) | 17%                  | 67%     | 100%    |
| 4  | PL-8M-(b)  | 80%                  | 51%     | 100%    |
| 5  | PL-12M-(b) | 43%                  | 54%     | 100%    |
| 6  | PL-14M-(b) | 69%                  | 49%     | 100%    |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing

Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan menggunakan pasir lumajang menunjukkan bahwa:

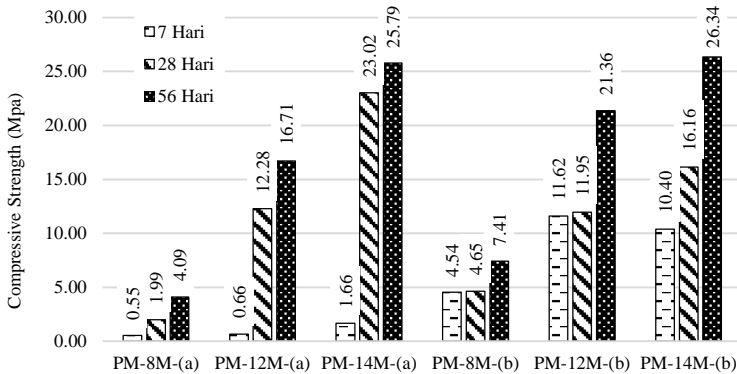
- Kuat tekan rata-rata tertinggi dengan metode curing ambient dan curing oven masing-masing adalah: variabel PL-14M-(a) yakni 41.50 Mpa dan variabel PL-14M-(b) yakni 61.09 Mpa di umur 56 hari. Sedangkan kuat tekan rata-rata terendah dengan metode curing ambient dan curing oven masing-masing adalah: variabel PL-8M-(a) yakni 0.77 Mpa di umur 7 hari dan variabel PL-8M-(b) yakni 10.96 Mpa di umur 28 hari.
- Pemanasan mortar geopolimer memiliki pengaruh terhadap nilai kuat tekan awal mortar geopolimer. Hal ini dapat ditunjukkan dari peningkatan kekuatan umur 7 hari mortar geopolimer dengan molaritas NaOH yakni 8 molar, 12 molar dan 14 molar terhadap nilai kuat tekan akhir berturut-turut adalah sebesar: 72% dari 0.77 Mpa (tanpa pemanasan) menjadi 17.15 Mpa (pemanasan 24 jam), 31% dari 2.66 Mpa (tanpa pemanasan) menjadi 21.14 Mpa, dan 52% dari 7.19 Mpa menjadi 42.16 Mpa.
- Terjadi penurunan nilai rata-rata kuat tekan mortar geopolimer dengan pemanasan (metode curing oven) pada variabel PL-8M-(b) dan PL-14M-(b) di umur 28 hari berturut-turut adalah: turun sebesar 29% dari 17.15 Mpa (umur 7 hari) menjadi 10.96 Mpa (umur 28 hari) dan turun sebesar 20% dari 42.16 Mpa (umur 7 hari) menjadi 29.77 Mpa (umur 28 hari). Namun, di umur 56 hari terjadi kenaikan nilai rata-rata kuat tekan berturut-turut sebesar: 49 % dari 10.96 Mpa (umur 28 hari) menjadi 21.47 Mpa (umur 56 hari) dan 51% dari 29.77 Mpa (umur 28 hari) menjadi 61.09 Mpa (umur 56 hari).

b) Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan menggunakan pasir mojosokerto (PM).

**Tabel 4. 22** Hasil kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir mojosokerto

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa) |         |         |
|----|------------|----------------------------|---------|---------|
|    |            | 7 Hari                     | 28 Hari | 56 Hari |
| 1  | PM-8M-(a)  | 0.55                       | 1.99    | 4.09    |
| 2  | PM-12M-(a) | 0.66                       | 12.28   | 16.71   |
| 3  | PM-14M-(a) | 1.66                       | 23.02   | 25.79   |
| 4  | PM-8M-(b)  | 4.54                       | 4.65    | 7.41    |
| 5  | PM-12M-(b) | 11.62                      | 11.95   | 21.36   |
| 6  | PM-14M-(b) | 10.40                      | 16.16   | 26.34   |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing



**Gambar 4. 21** Grafik nilai kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir mojosokerto

**Tabel 4. 23** Perkembangan kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir mojosokerto terhadap kuat tekan usia 56 hari

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata |         |         |
|----|------------|----------------------|---------|---------|
|    |            | 7 Hari               | 28 Hari | 56 Hari |
| 1  | PM-8M-(a)  | 14%                  | 49%     | 100%    |
| 2  | PM-12M-(a) | 4%                   | 74%     | 100%    |
| 3  | PM-14M-(a) | 6%                   | 89%     | 100%    |
| 4  | PM-8M-(b)  | 61%                  | 63%     | 100%    |
| 5  | PM-12M-(b) | 54%                  | 56%     | 100%    |
| 6  | PM-14M-(b) | 39%                  | 61%     | 100%    |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing

Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan menggunakan pasir mojosokerto menunjukkan bahwa:

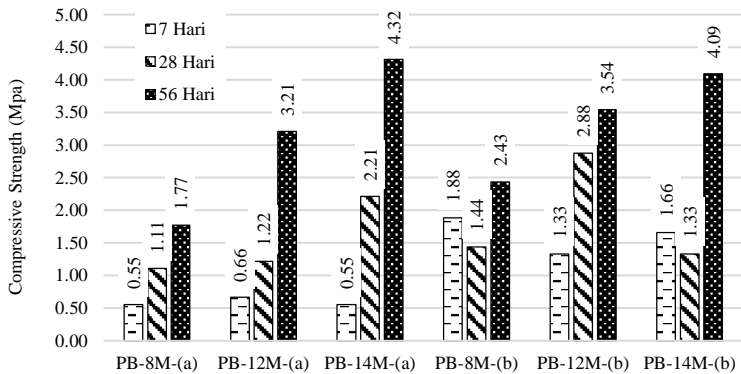
- Kuat tekan rata-rata tertinggi dengan metode curing ambient dan curing oven masing-masing adalah: variabel PM-14M-(a) yakni 25.79 Mpa dan variabel PM-14M-(b) yakni 26.34 Mpa di umur 56 hari. Sedangkan kuat tekan rata-rata terendah dengan metode curing ambient dan curing oven masing-masing adalah: variabel PM-8M-(a) yakni 0.55 Mpa dan variabel PM-8M-(b) yakni 4.54 Mpa di umur 28 hari.
- Pemanasan mortar geopolimer memiliki pengaruh terhadap nilai kuat tekan awal mortar geopolimer. Hal ini dapat ditunjukkan dari peningkatan kekuatan umur 7 hari mortar geopolimer dengan NaOH 8 molar, 12 molar dan 14 molar terhadap nilai kuat tekan akhir berturut-turut adalah sebesar: 48% dari 0.55 Mpa (tanpa pemanasan) menjadi 4.54 Mpa (pemanasan 24 jam), 50% dari 0.66 Mpa (tanpa pemanasan) menjadi 11.62 Mpa, dan 33% dari 1.66 Mpa menjadi 10.40 Mpa.

- c) Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan menggunakan pasir bojonegoro (PB).

**Tabel 4. 24** Hasil kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa) |         |         |
|----|------------|----------------------------|---------|---------|
|    |            | 7 Hari                     | 28 Hari | 56 Hari |
| 1  | PB-8M-(a)  | 0.55                       | 1.11    | 1.77    |
| 2  | PB-12M-(a) | 0.66                       | 1.22    | 3.21    |
| 3  | PB-14M-(a) | 0.55                       | 2.21    | 4.32    |
| 4  | PB-8M-(b)  | 1.88                       | 1.44    | 2.43    |
| 5  | PB-12M-(b) | 1.33                       | 2.88    | 3.54    |
| 6  | PB-14M-(b) | 1.66                       | 1.33    | 4.09    |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing



**Gambar 4. 22** Grafik nilai kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro

**Tabel 4. 25** Perkembangan kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro terhadap kuat tekan usia 56 hari

| No | Variabel   | Kuat Tekan Rata-Rata |         |         |
|----|------------|----------------------|---------|---------|
|    |            | 7 Hari               | 28 Hari | 56 Hari |
| 1  | PB-8M-(a)  | 31%                  | 63%     | 100%    |
| 2  | PB-12M-(a) | 21%                  | 38%     | 100%    |
| 3  | PB-14M-(a) | 13%                  | 51%     | 100%    |
| 4  | PB-8M-(b)  | 77%                  | 59%     | 100%    |
| 5  | PB-12M-(b) | 38%                  | 81%     | 100%    |
| 6  | PB-14M-(b) | 41%                  | 32%     | 100%    |

\*(a): ambient curing, (b): oven curing

Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan menggunakan pasir bojonegoro menunjukkan bahwa:



- Kuat tekan rata-rata tertinggi dengan metode curing ambient dan curing oven masing-masing adalah: variabel PB-14M-(a) yakni 4.32 Mpa dan variabel PB-14M-(b) yakni 4.09 Mpa di umur 56 hari. Sedangkan kuat tekan rata-rata terendah dengan metode curing ambient dan curing oven masing-masing adalah: variabel PB-8M-(a) dan PB-14M-(a) yakni 0.55 Mpa dan variabel PB-12M-(b) yakni 1.33 Mpa di umur 28 hari.
- Pemanasan mortar geopolimer memiliki pengaruh terhadap nilai kuat tekan awal mortar geopolimer. Hal ini dapat ditunjukkan dari peningkatan kekuatan umur 7 hari mortar geopolimer dengan NaOH 8 molar, 12 molar dan 14 molar terhadap nilai kuat tekan akhir berturut-turut adalah sebesar: 46% dari 0.55 Mpa (tanpa pemanasan) menjadi 1.88 Mpa (pemanasan 24 jam), 17% dari 0.66 Mpa (tanpa pemanasan) menjadi 1.33 Mpa, dan 28% dari 0.55 Mpa menjadi 1.66 Mpa.
- Terjadi penurunan nilai rata-rata kuat tekan mortar geopolimer dengan pemanasan (metode curing oven) pada variabel PB-8M-(b) dan PB-14M-(b) di umur 28 hari berturut-turut adalah: turun sebesar 18% dari 1.88 Mpa (umur 7 hari) menjadi 1.44 Mpa (umur 28 hari) dan turun sebesar 8% dari 1.66 Mpa (umur 7 hari) menjadi 1.33 Mpa (umur 28 hari). Namun, di umur 56 hari terjadi kenaikan nilai rata-rata kuat tekan berturut-turut sebesar: 41 % dari 1.44 Mpa (umur 28 hari) menjadi 2.43 Mpa (umur 56 hari) dan 68% dari 1.66 Mpa (umur 28 hari) menjadi 4.09 Mpa (umur 56 hari).

Dari hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pasir lumajang sebagai bahan pengisi mortar geopolimer menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi, kemudian disusul oleh pasir mojosongo, dan pasir bojonegoro. Nilai kuat tekan maksimum dari setiap variabel mortar geopolimer dengan pasir lumajang, pasir mojosongo dan pasir bojonegoro berturut-turut adalah: variabel PL-14M-(b) yakni 61.09

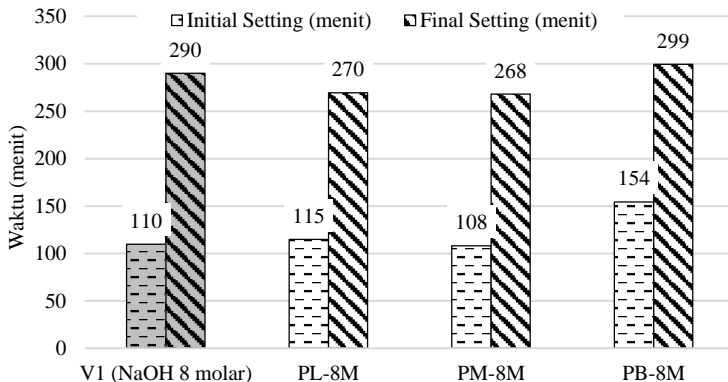
Mpa, variabel PM-14M-(b) yakni 26.34 Mpa dan variabel PB-14M-(a) yakni 4.32 Mpa.

Nilai rata-rata kuat tekan mortar geopolimer yang di sajikan dalam Tabel 4. 20, Tabel 4. 22, dan Tabel 4. 24 menunjukkan bahwa peningkatan molaritas NaOH yang digunakan akan memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan. Semakin tinggi kadar molaritas NaOH maka semakin tinggi kuat tekan mortar geopolimer.

#### 4.4.4. Hubungan Pengujian Setting Time Pasta Semen Geopolimer dan Mortar Geopolimer

**Tabel 4. 26** Data setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 8 molar)

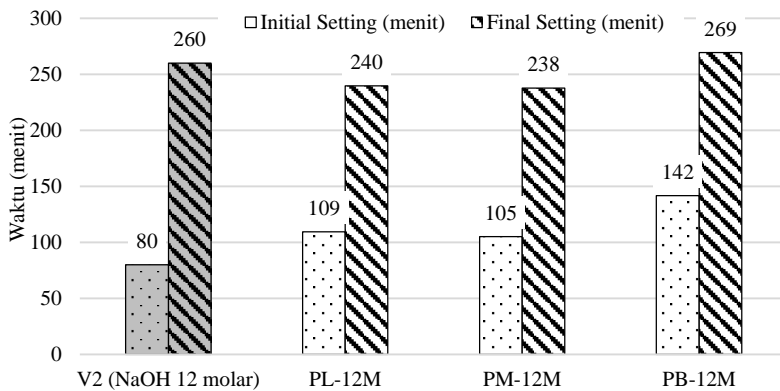
| Variabel          | Initial Setting (menit) | Final Setting (menit) |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| V1 (NaOH 8 molar) | 110                     | 290                   |
| PL-8M             | 115                     | 270                   |
| PM-8M             | 108                     | 268                   |
| PB-8M             | 154                     | 299                   |



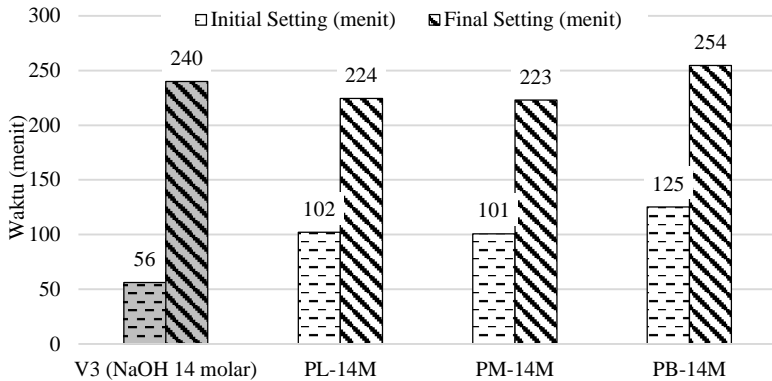
**Gambar 4. 23** Hubungan setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 8 molar)

**Tabel 4. 27** Data setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 12 molar)

| Variabel           | Initial Setting (menit) | Final Setting (menit) |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| V2 (NaOH 12 molar) | 80                      | 260                   |
| PL-12M             | 109                     | 240                   |
| PM-12M             | 105                     | 238                   |
| PB-12M             | 142                     | 269                   |

**Gambar 4. 24** Hubungan setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 12 molar)**Tabel 4. 28** Data setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 14 molar)

| Variabel           | Initial Setting (menit) | Final Setting (menit) |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| V3 (NaOH 14 molar) | 56                      | 240                   |
| PL-14M             | 102                     | 224                   |
| PM-14M             | 101                     | 223                   |
| PB-14M             | 125                     | 254                   |



**Gambar 4. 25** Hubungan setting time pasta semen geopolimer dan mortar geopolimer (NaOH = 14 molar)

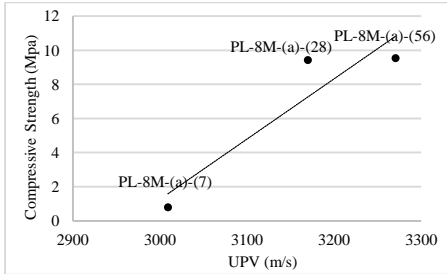
Hasil pengujian disimpulkan bahwa, penambahan agregat halus dengan campuran pasta semen geopolimer memberikan pengaruh terhadap waktu setting geopolimer. Penambahan agregat halus berupa pasir lumajang dan mojoserto dalam campuran pasta semen geopolimer memberikan percepatan terhadap waktu setting mortar rata-rata 20 menit lebih cepat dari waktu setting pasta semen geopolimer baik untuk NaOH 8 molar, 12 molar dan 14 molar. Sedangkan dengan penambahan pasir bojonegoro memberikan pengaruh waktu setting mortar menjadi lebih lambat yakni rata-rata 10 menit dari waktu setting pasta semen geopolimer baik NaOH 8 molar, 12 molar dan 14 molar.

#### 4.4.5. Kolerasi Kuat Tekan dan UPV Mortar Geopolimer

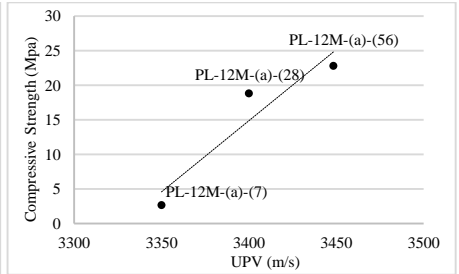
**Tabel 4. 29** Data hasil nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer

| No | Benda Uji           | Kode Variabel   | Kuat Tekan | UPV   |
|----|---------------------|-----------------|------------|-------|
|    |                     |                 | (Mpa)      | (m/s) |
| 1  | PL-8M-(a); 7 hari   | PL-8M-(a)-(7)   | 0.77       | 3009  |
| 2  | PL-8M-(a); 28 hari  | PL-8M-(a)-(28)  | 9.41       | 3170  |
| 3  | PL-8M-(a); 56 hari  | PL-8M-(a)-(56)  | 9.52       | 3271  |
| 4  | PL-12M-(a); 7 hari  | PL-12M-(a)-(7)  | 2.66       | 3350  |
| 5  | PL-12M-(a); 28 hari | PL-12M-(a)-(28) | 18.81      | 3400  |
| 6  | PL-12M-(a); 56 hari | PL-12M-(a)-(56) | 22.80      | 3448  |
| 7  | PL-14M-(a); 7 hari  | PL-14M-(a)-(7)  | 7.19       | 3371  |
| 8  | PL-14M-(a); 28 hari | PL-14M-(a)-(28) | 27.67      | 3497  |
| 9  | PL-14M-(a); 56 hari | PL-14M-(a)-(56) | 41.50      | 3547  |
| 10 | PM-8M-(a); 7 hari   | PM-8M-(a)-(7)   | 0.55       | 2250  |
| 11 | PM-8M-(a); 28 hari  | PM-8M-(a)-(28)  | 1.99       | 2316  |
| 12 | PM-8M-(a); 56 hari  | PM-8M-(a)-(56)  | 4.09       | 2321  |
| 13 | PM-12M-(a); 7 hari  | PM-12M-(a)-(7)  | 0.66       | 2334  |
| 14 | PM-12M-(a); 28 hari | PM-12M-(a)-(28) | 12.28      | 2398  |
| 15 | PM-12M-(a); 56 hari | PM-12M-(a)-(56) | 16.71      | 2417  |
| 16 | PM-14M-(a); 7 hari  | PM-14M-(a)-(7)  | 1.66       | 2542  |
| 17 | PM-14M-(a); 28 hari | PM-14M-(a)-(28) | 23.02      | 2773  |
| 18 | PM-14M-(a); 56 hari | PM-14M-(a)-(56) | 25.79      | 2884  |
| 19 | PB-8M-(a); 7 hari   | PB-8M-(a)-(7)   | 0.55       | 1747  |
| 20 | PB-8M-(a); 28 hari  | PB-8M-(a)-(28)  | 1.11       | 1886  |
| 21 | PB-8M-(a); 56 hari  | PB-8M-(a)-(56)  | 1.77       | 1890  |
| 22 | PB-12M-(a); 7 hari  | PB-12M-(a)-(7)  | 0.66       | 1837  |
| 23 | PB-12M-(a); 28 hari | PB-12M-(a)-(28) | 1.22       | 1951  |
| 24 | PB-12M-(a); 56 hari | PB-12M-(a)-(56) | 3.21       | 1968  |
| 25 | PB-14M-(a); 7 hari  | PB-14M-(a)-(7)  | 0.55       | 1885  |
| 26 | PB-14M-(a); 28 hari | PB-14M-(a)-(28) | 2.21       | 1971  |
| 27 | PB-14M-(a); 56 hari | PB-14M-(a)-(56) | 4.32       | 1995  |
| 28 | PL-8M-(b); 7 hari   | PL-8M-(b)-(7)   | 17.15      | 3023  |
| 29 | PL-8M-(b); 28 hari  | PL-8M-(b)-(28)  | 10.96      | 3159  |
| 30 | PL-8M-(b); 56 hari  | PL-8M-(b)-(56)  | 21.47      | 3388  |
| 31 | PL-12M-(b); 7 hari  | PL-12M-(b)-(7)  | 21.14      | 3326  |
| 32 | PL-12M-(b); 28 hari | PL-12M-(b)-(28) | 26.56      | 3440  |
| 33 | PL-12M-(b); 56 hari | PL-12M-(b)-(56) | 49.25      | 3474  |
| 34 | PL-14M-(b); 7 hari  | PL-14M-(b)-(7)  | 42.16      | 3170  |
| 35 | PL-14M-(b); 28 hari | PL-14M-(b)-(28) | 29.77      | 3643  |
| 36 | PL-14M-(b); 56 hari | PL-14M-(b)-(56) | 61.09      | 3691  |
| 37 | PM-8M-(b); 7 hari   | PM-8M-(b)-(7)   | 4.54       | 2233  |
| 38 | PM-8M-(b); 28 hari  | PM-8M-(b)-(28)  | 4.65       | 2323  |
| 39 | PM-8M-(b); 56 hari  | PM-8M-(b)-(56)  | 7.41       | 2701  |
| 40 | PM-12M-(b); 7 hari  | PM-12M-(b)-(7)  | 11.62      | 2459  |
| 41 | PM-12M-(b); 28 hari | PM-12M-(b)-(28) | 11.95      | 2710  |

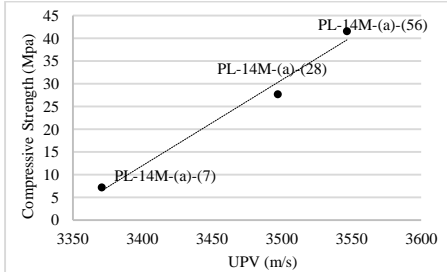
| No | Benda Uji           | Kode Variabel   | Kuat Tekan | UPV   |
|----|---------------------|-----------------|------------|-------|
|    |                     |                 | (Mpa)      | (m/s) |
| 42 | PM-12M-(b); 56 hari | PM-12M-(b)-(56) | 21.36      | 2845  |
| 43 | PM-14M-(b); 7 hari  | PM-14M-(b)-(7)  | 10.40      | 2330  |
| 44 | PM-14M-(b); 28 hari | PM-14M-(b)-(28) | 16.16      | 2542  |
| 45 | PM-14M-(b); 56 hari | PM-14M-(b)-(56) | 26.34      | 2551  |
| 46 | PB-8M-(b); 7 hari   | PB-8M-(b)-(7)   | 1.88       | 1583  |
| 47 | PB-8M-(b); 28 hari  | PB-8M-(b)-(28)  | 1.44       | 1643  |
| 48 | PB-8M-(b); 56 hari  | PB-8M-(b)-(56)  | 2.43       | 1779  |
| 49 | PB-12M-(b); 7 hari  | PB-12M-(b)-(7)  | 1.33       | 1625  |
| 50 | PB-12M-(b); 28 hari | PB-12M-(b)-(28) | 2.88       | 1630  |
| 51 | PB-12M-(b); 56 hari | PB-12M-(b)-(56) | 3.54       | 1703  |
| 52 | PB-14M-(b); 7 hari  | PB-14M-(b)-(7)  | 1.66       | 1623  |
| 53 | PB-14M-(b); 28 hari | PB-14M-(b)-(28) | 1.33       | 1657  |
| 54 | PB-14M-(b); 56 hari | PB-14M-(b)-(56) | 4.09       | 1841  |



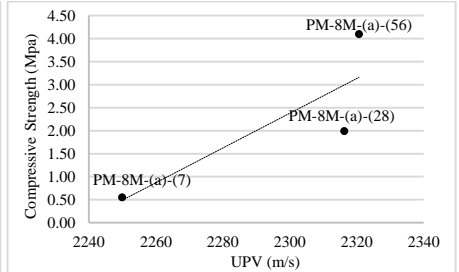
Gambar 4. 27 Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-8M-(a)



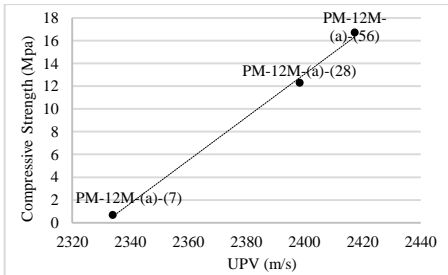
Gambar 4. 26 Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-12M-(a)



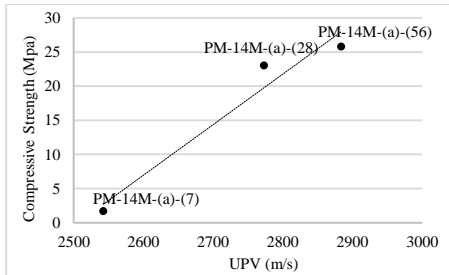
Gambar 4. 29 Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-14M-(a)



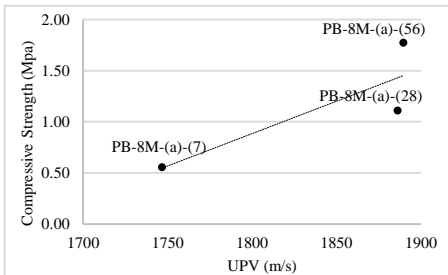
Gambar 4. 28 Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-8M-(a)



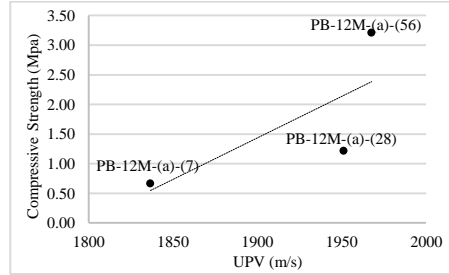
**Gambar 4. 31** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-12M-(a)



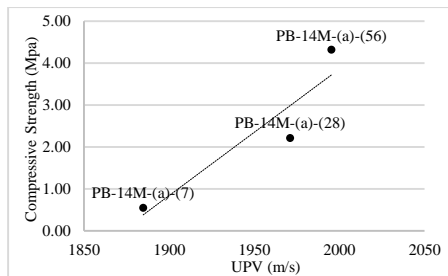
**Gambar 4. 30** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-14M-(a)



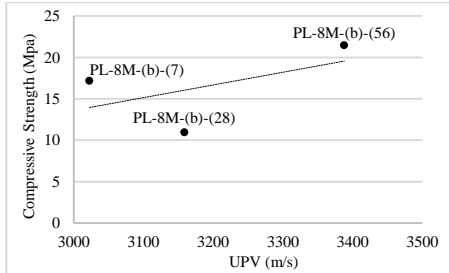
**Gambar 4. 33** Hubungan kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-8M-(a)



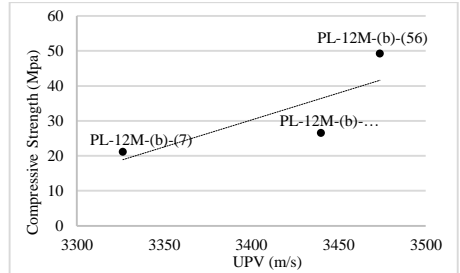
**Gambar 4. 32** Hubungan kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-12M-(a)



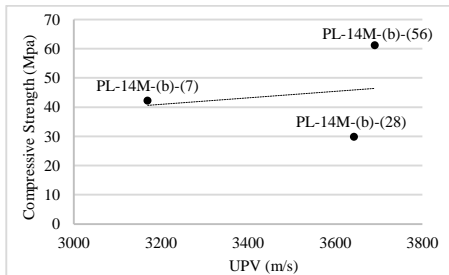
**Gambar 4. 34** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-14M-(a)



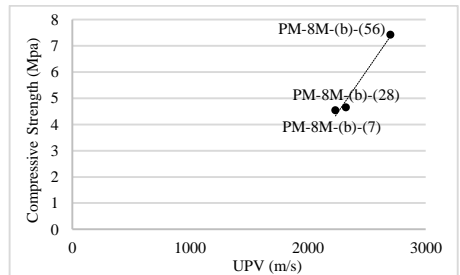
**Gambar 4. 35** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-8M-(b)



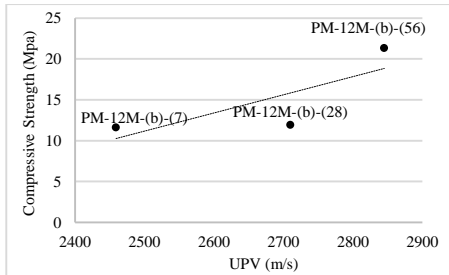
**Gambar 4. 36** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-12M-(b)



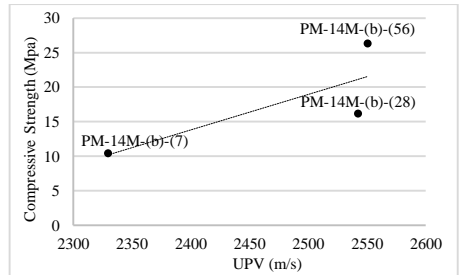
**Gambar 4. 37** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PL-14M-(b)



**Gambar 4. 38** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-8M-(b)

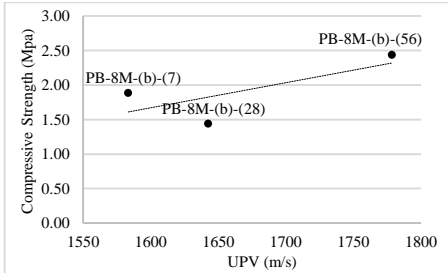


**Gambar 4. 40** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-12M-(b)

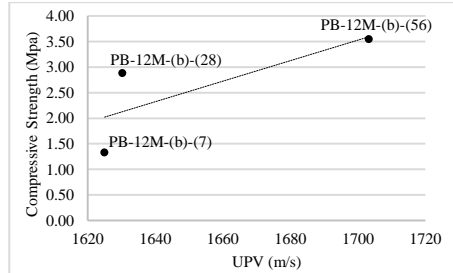


**Gambar 4. 39** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PM-14M-(b)

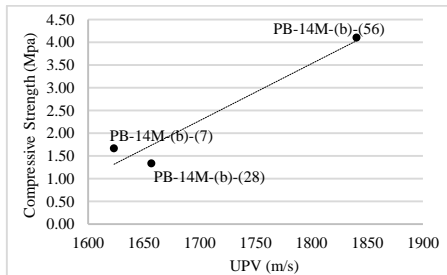




**Gambar 4. 41** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-8M-(b)



**Gambar 4. 42** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-12M-(b)



**Gambar 4. 43** Kolerasi nilai kuat tekan dan UPV mortar geopolimer variasi PB-14M-(b)

Pengujian UPV merupakan uji kepadatan beton melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada benda uji. Untuk mengetahui nilai mutu dari benda uji maka dilakukan pengujian kuat tekan. Hasil grafik kolerasi kuat tekan dan UPV mortar geopolimer berbanding lurus karena apabila nilai kuat tekan mortar geopolimer tinggi maka nilai UPV mortar geopolimer yang dihasilkan tinggi dan sebaliknya.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari uraian pembahasan laporan tugas akhir terapan ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari pengujian material diperoleh hasil:
  - a) *Fly ash* yang digunakan ialah Tipe C (*High Calcium*) dan memiliki diameter rata-rata ukuran partikel halus sebesar 2.255  $\mu\text{m}$  dan rata-rata ukuran partikel kasar sebesar 19.267  $\mu\text{m}$ .
  - b) Agregat halus (pasir)
    - Analisa Saringan  
Hasil analisa saringan urutan modulus kehalusan dari yang paling kasar hingga yang paling halus berturut-turut adalah: pasir bojonegoro yakni 3.652; pasir lumajang yakni 2.904; dan pasir Mojokerto yakni 2.898. Semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa semakin besar butir-butir agregatnya (SNI 03-1750-1990).
    - Berat jenis pasir.  
ASTM C128 mengisyaratkan berat jenis pasir yakni diantara 2.4  $\text{gram/cm}^3$  sampai 2.7  $\text{gram/cm}^3$ . Hasil pengujian berat jenis pasir Mojokerto dan pasir lumajang berturut-turut adalah: 2.463  $\text{gram/cm}^3$  dan 2.541  $\text{gram/cm}^3$  sehingga memenuhi persyaratan. Sedangkan, berat jenis pasir bojonegoro kurang dari yang disyaratkan yakni 2.261  $\text{gram/cm}^3$ .
    - Kelembaban pasir.  
ASTM C566 mengisyaratkan pasir memiliki kelembaban diantara 0.5% hingga 0.2%. Hasil pengujian kadar kelembaban pasir Mojokerto, pasir lumajang dan pasir bojonegoro berturut-turut adalah: 2.987%, 5.463%, dan 10.497%, sehingga ketiga jenis pasir belum sepenuhnya dalam kondisi kering.

- Kadar resapan air.  
ASTM C128 mengisyaratkan batas maksimum kadar air resapan pasir sebesar 4%. Hasil pengujian kadar air resapan pasir Mojokerto, pasir Bojonegoro dan pasir Lumajang berturut-turut adalah: 1.153%, 1.999%, dan 1.399%. Sehingga, ketiga jenis pasir telah memenuhi persyaratan.
  - Kebersihan pasir terhadap lumpur  
ASTM C33 mengisyaratkan kandungan lumpur didalam agregat maksimum 5%. Hasil pengujian kandungan lumpur pasir Mojokerto dan pasir Lumajang berturut-turut adalah: 3.846% dan 2.273%, sehingga memenuhi persyaratan. Sedangkan, kandungan lumpur pasir Bojonegoro melebihi yang diisyaratkan yakni 31.034% sehingga tidak diijinkan untuk digunakan sebagai bahan pengisi campuran mortar geopolimer.
2. Dari hasil pengujian benda uji mortar geopolimer:
- a) Penambahan agregat halus dalam campuran pasta semen geopolimer memberikan pengaruh terhadap waktu setting geopolimer. Penambahan agregat halus berupa pasir Lumajang dan Mojokerto dalam campuran pasta semen geopolimer memberikan percepatan terhadap waktu setting mortar yaitu rata-rata 20 menit lebih cepat dari waktu setting pasta semen geopolimer baik untuk NaOH 8 molar, 12 molar dan 14 molar. Sedangkan dengan penambahan pasir Bojonegoro memberikan pengaruh waktu setting mortar menjadi lebih lambat yaitu rata-rata 10 menit dari waktu setting pasta semen geopolimer baik untuk NaOH 8 molar, 12 molar dan 14 molar. Hal ini dikarenakan kemungkinan kandungan lumpur yang tinggi dapat memperlambat waktu pengerasan. Kandungan lumpur yang tinggi menyebabkan proses pengikatan semen menjadi lebih lambat.

- b) Hasil pengujian UPV menunjukkan bahwa penggunaan pasir lumajang, pasir mojokerto dan pasir bojonegoro dalam campuran mortar geopolimer memberikan hasil kualitas mortar yang berbeda-beda. Benda uji mortar geopolimer dengan menggunakan pasir lumajang sebagai bahan pengisi memberikan kualitas yang paling baik dari ketiga jenis pasir yang digunakan. Sedangkan, penggunaan pasir bojonegoro sebagai bahan pengisi memberikan kualitas yang paling buruk diantara ketiga pasir yang digunakan. Hal ini juga dapat dikolerasikan dengan hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa penggunaan pasir lumajang (PL) sebagai bahan pengisi mortar geopolimer menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi, kemudian disusul oleh pasir mojokerto (PM), dan pasir bojonegoro (PB). Nilai kuat tekan maksimum dari setiap variabel mortar geopolimer dengan pasir lumajang, pasir mojokerto dan pasir bojonegoro berturut-turut pada umur 56 hari adalah: variabel PL-14M-(b) yakni 61.09 Mpa, variabel PM-14M-(b) yakni 26.34 Mpa dan variabel PB-14M-(a) yakni 4.32 Mpa. Nilai rata-rata kuat tekan mortar geopolimer yang di sajikan dalam Tabel 4. 20, Tabel 4. 22, dan Tabel 4. 24 menunjukkan bahwa peningkatan molaritas NaOH yang digunakan akan memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan. Semakin tinggi kadar molaritas NaOH maka semakin tinggi kuat tekan mortar geopolimer.

## 5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang perlu diperbaiki sebagai saran untuk menyempurnakan penelitian ini dikemudian hari adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus dengan kadar lumpur lebih dari 5% tidak seharusnya digunakan sebagai bahan pengisi sesuai dengan

persyaratan didalam ASTM C33. Adapun jika digunakan maka agregat terlebih dahulu dilakukan pencucian hingga kadar lumpur memenuhi persyaratan. Hal ini dikarenakan kandungan lumpur yang tinggi dalam agregat halus dapat mempengaruhi *workability* menjadi lebih sulit dan kuat tekan yang dihasilkan sangat kecil.

2. Perlu diperhatikan dalam menentukan temperatur suhu yang digunakan untuk melakukan perawatan benda uji dengan metode oven, agar memberikan pengaruh yang efektif untuk kuat tekan benda uji. Temperatur suhu yang disarankan yakni berkisar 30°C sampai 90°C (Hardjito, 2005).

## DAFTAR PUSTAKA

- Ais, N. S. (2017). Pengaruh Rasio Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat Pada Moertar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser Pada Aplikasi Spesi Batu Bata. *Rekayasa Teknik Sipil Vol. 02 Nomor 02/rekat/17*, 211-218.
- Akmalia, R., Olivia, M., & Kamaldi, A. (2016). Kuat Tekan dan Sorptivity Beton Dengan Serbuk Kulit Kerang (Anadara Granosa). *Jom FTEKNIK*, 5.
- Anggraeni, H. S., Susilo, E. E., & Wedhanto, S. (2013). Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Hasil Ultrasonic Pulse Velocity Test Dengan Uji Tekan (020M). *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7* (hal. 10). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Arianto, R., Kurniawandy, A., & Ermiyati. (2014). Kuat Tekan Beton dan Waktu Ikat Semen Portland Pozzolan. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 4.
- Arifin, I. A. (2018). Pengaruh Subtitusi Limbah Marmer Pada Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Geopolimer Pada Molaritas 10M. *Rekayasa Teknik Sipil*, 16-23.
- ASTM C 117. (t.thn.). *Standart Test Method for Materials Finer than 75 mikro-m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. UAS: Annual Books of ASTM Standart.
- ASTM C 128. (t.thn.). *Standart Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. USA: Annual Books of ASTM Standart.
- ASTM C 1329. (2004). *Standard Spesification fo Mortar Cemen*. USA: Annual Books of ASTM Standart.
- ASTM C 33. (2003). *Standart Specification for Concrete Aggregates*. USA: Annual Books of ASTM Standart.
- ASTM C 40. (t.thn.). *Standart Test Method for Organic Impurities in Fine Aggegates for Concrete*. USA: Annual Books of ASTM Standart.

- ASTM C 566. (t.thn.). *Standart Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. USA: Annual Books of ASTM Standart.
- ASTM C 618-05. (2005). *Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. USA: Annual Books of ASTM Standart.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications 2nd Edition*. France: Geopolymer Institut.
- Ekaputri, J. J., Triwulan, & Damayanti, O. (2007). Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif. *Jurnal PONDASI*, 124-134.
- Febriyatno, H. (2012). Pemanfaatan Limbah Bahan Padat Sebagai Agregat Kasar Pada Pembuatan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil*, 50-71.
- Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. s.l: Curtin University of Technology.
- International Atomic Energy Agency. (2002). *Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. Vienna: Training Course Series No.17.
- J K Tishmack, J. O. (1999). Characterization of High-Calcium Fly Ashes and Their Potential Influence on Etringite Formation in Cementitious System. *CCAGDP*, 82-92.
- Jamaludin, A., & Adiantoro, D. (2012). Analisis Kerusakan X-Ray Fluoresnce (XRF). *Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir Batan*, 19-28.
- Joseph, B., & Mathew, G. (2012). Influence of Aggregate Content on The Behavior of Fly Ash Based Geopolymer Concrete. *Scientia Iranica*, 1188-1194.
- Kasyanto, H. (2012). Tinjauan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dengan Aktivator Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat. *Industrial Reasearch Workshop and National Seminar* (hal. 254-259). Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

- Kurniasari, P. T. (2017). *Pemanfaatan Penggunaan Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolimer*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Liannasari, A. E. (2013). Potensi Batu Bauksit Pulau Bintan Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 155-160.
- Mane, S., & Jadhv, H. S. (2012). Investigation of Geopolymer Mortar and Concrete Under High Temperature. *IJETAE*, 384.
- Marthin D. J, S. R. (2014). Pengaruh Variasi Kadar Superplasticizer Terhadap Nilai Slump Beton Geopolimer. *Jurnal Sipil Statik*, 283-291.
- Mermerdas, K., Manguri, S., Nassani, D. E., & Oleiwi, S. M. (2017). Effect of Aggregate Properties on The Mechanical and Absorption Characteristics of Geopolymer Mortar. *Engineering Science and Technology an International Journal*, 1642-1652.
- Pantakar, S. V., Ghugal, Y. M., & Jamkar, S. S. (2015). *Mix Design of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. India: Departement Of Civil Engineering SRES'S College of Engineering.
- Pilehvar, S., Cao, V. D., Szczotok, A. M., Carmona, M., Valentini, L., Lanzon, M., . . . Kjoniksen, A. L. (2018). Physical and Mechanical Properties of Fly Ash and Slag Geopolymer Concrete Containing Different Types of Micro-encapsulated Phase Change Materials. *Construction and Building Materials*, 28-39.
- Rachmalia, Q. (2018). *Pengaruh Urutan Penambahan Alkali Aktivator Pada Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C*. Surabaya: ITS.
- Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH Solution on The Synthesis of Fly Ash Geopolymer. *Mineral Engineering*, 1073-1078.
- Rawle, A. (2015). *A Basic Guide to Particle Characterization*. United Kingdom: Malvern Instruments Limited.



- Rifky, M. (2011). *Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas pada Beton Menggunakan Pasir Normal dan Pasir Merapi serta Penambahan Pozzolan Lumpur Lapindo*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Rizqi, A. (2018). *Optimalisasi Waktu Ikut dan Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Menggunakan Metode Pencampuran Kering*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rizqi, A. (2018). *Optimalisasi Waktu Ikut dan Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Menggunakan Metode Pencampuran Kering*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Setiawan, A., Risman, A. B., Yuliyatna, Fathurachman, R., & S, S. O. (2015). Beton Geopolimer Abu Serabut Kelapa. *Jurnal Konstruksia*, 91-97.
- Sharma, A., & Ahmad, J. (2017). Factors Affecting Compressive Strength of Geopolymer Concrete-A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2026-2031.
- Simanjuntak, R. (2016). *Pengaruh Konsentrasi Alkali Terhadap Penetrasi Ion Chlorida pada Beton Geopolimer*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- SNI 03 1974 1990. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Badan Standart Indonesia.
- SNI 03 6825. (2002). *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15 2049 2004. (2004). *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standart Indonesia.
- SNI ASTM C403/C403M. (2012). *Metode Uji Waktu Pengikatan Campuran Beton Dengan Ketahanan Penetrasi*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI ASTM C597. (2012). *Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton*. Jakarta: Badan Standart Indonesia.
- Sreenivasulu, C., Jawahar, G., Reddy, M. V., & Kumar, D. P. (2016). Effect of Fine Aggregate Blending on Short-Term

- Mechanical Properties of Geopolymer Concrete. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 537-550.
- Takeuchi, Y. (2016). *Buku Teks Pengantar Kimia*. Tokyo: Iwanami Shoten Publisher.
- Triwulan, Ekaputri, J. J., & Adiningtyas, T. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*, 33-45.
- Triwulan; Januarti; Ulum, B M. (2014). Karakteristik Fisik dan Kimia Fly Ash dari Perusahaan Ready Mix Beton dan Limbah Pabrik Terhadap Sifat Mekanik Pasta dan Mortar. *ITS-PAPER*.
- Wallah, S. E. (2014). Pengaruh Perawatan dan Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 1-7.
- Wedhanto, S. (2015). Penggunaan Metode Ultrasonic Pulse Velocity Test Untuk Memperkiraan Kekuatan dan Keseragaman Mutu Beton K 200 Secara Non Destruktif. *Jurnal Bangunan*, 43-52.
- Yasin, A. K. (2017). *Rekayasa Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zuraidah, S., & Jatmiko, R. A. (2007). Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 15-14.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Dania Febry Ramadhani, lahir di Surabaya, 08 Februari 1996, merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Claresta Gresik, SD Negeri Kedurus III/430 Surabaya, SMP Negeri 28 Surabaya dan SMA Negeri 13 Surabaya. Penulis merupakan mahasiswi di program studi Diploma IV Teknik Sipil ITS pada tahun 2015 dengan mengambil konsentrasi studi di

Bangunan Gedung. Pada saat kuliah, penulis pernah aktif dalam kegiatan organisasi, seperti: Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) tahun 2016/2017 (sebagai staff divisi kaderisasi) dan tahun 2017/2018 (sebagai staff ahli/ketua divisi PPSDM). Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan kepanitian dan pelatihan yang pernah diadakan di ITS diantaranya seperti: GERIGI ITS tahun 2016 (sebagai fasilitator acara), 1<sup>st</sup> *International Conference of Applied Science and Technology for Infrastructure Engineering* tahun 2017 (sebagai bendahara), peserta pelatihan LKMM Pra-Tingkat Dasar (Pra-TD) tahun 2015 dan pelatihan LKMM Tingkat Dasar (TD) Zephyr tahun 2017, dll. Penulis sempat mengikuti kegiatan kerja praktek di PT. PP (Persero) Tbk pada proyek pembangunan Tower Caspian Apartemen Grand Sungkono Lagoon Surabaya, Jawa Timur.


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LAMPIRAN**

# Lampiran 1

Untuk lampiran ini dicantumkan hasil uji bahan:

## a) Hasil Uji XRF dan XRD pada *Fly ash*

|  <b>PT SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk.</b><br><b>DEPARTEMEN LITBANG PRODUK &amp; APLIKASI</b><br>Jl. Veteran, Gresik 61122, JAWA TIMUR-INDONESIA<br>Telp.(031) 3981731-3 Fax. (031) 3983209, 3972264 |        |           |
|--|--------|-----------|
| <b>HASIL PENGUJIAN BAHAN</b><br>No.29/PP.02.01/23300000/07.2017  |        |           |
| Nama Bahan : FA Jawa Power ITS   |        |           |
| JENIS PENGUJIAN  | SATUAN | HASIL UJI |
| <b>PENGUJIAN XRF</b>   |        |           |
| SiO <sub>2</sub>   | %      | 33,89     |
| CaO  | %      | 19,86     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | %      | 17,68     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | %      | 12,54     |
| MgO  | %      | 9,023     |
| SO <sub>3</sub>  | %      | 2,16      |
| Na <sub>2</sub> O  | %      | 2,04      |
| K <sub>2</sub> O   | %      | 1,03      |
| TiO <sub>2</sub>   | %      | 0,691     |
| BaO  | %      | 0,215     |
| MnO  | %      | 0,168     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %      | 0,154     |
| SrO  | %      | 0,0955    |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | %      | 0,0592    |
| Cl   | %      | 0,039     |
| ZnO  | %      | 0,0213    |
| ZrO <sub>2</sub>   | %      | 0,0162    |
| CuO  | %      | 0,011     |
| NiO  | %      | 0,008     |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | %      | 0,006     |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %      | 0,006     |
| Rb <sub>2</sub> O  | %      | 0,003     |
| Br   | %      | 0,003     |
| SUM  | %      | 99,70     |
| <b>PENGUJIAN XRD</b>   |        |           |
| Quartz   | %      | 8,493     |
| Arcanite   | %      | 3,149     |
| Periclase  | %      | 8,894     |
| Hematite   | %      | 2,873     |
| Anhydrite  | %      | 3,585     |
| Maghemite  | %      | 3,352     |
| Magnetite  | %      | 3,307     |
| Lime   | %      | 1,061     |
| Magnesite  | %      | 6,541     |
| Brownmillerite   | %      | 14,656    |
| Amorphous  | %      | 44,088    |
| R_wp   | %      | 2,737     |
| <b>PENGUJIAN KIMIA</b>   |        |           |
| LoI  | %      | 0.5027    |
| <b>Keterangan :</b><br>- Hasil Pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk contoh yang bersangkutan<br>Laporan ini tidak boleh diperbanyak kecuali secara keseluruhan  |        |           |

## b) Hasil Uji PSD pada Fly ash



# MASTERSIZER



### Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Fly Ash Type C - Average

**Sample Source & type:**  
1.850

**Sample bulk lot ref:**

**SOP Name:**  
Cement OPC

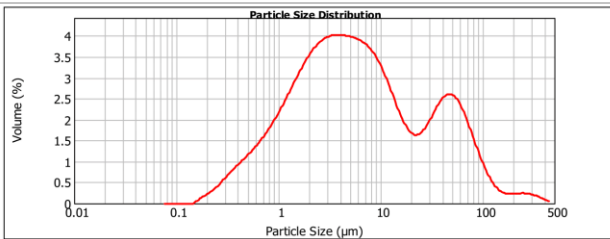
**Measured by:**  
MALVERN INSTRUMENTS

**Measured:**  
Friday, January 05, 2018 1:20:59 PM

**Analysed:**  
Friday, January 05, 2018 1:21:01 PM

|  |   |   |                                |
|--|---|---|--------------------------------|
| <b>Particle Name:</b><br>Cement OPC                          | <b>Accessory Name:</b><br>Scirocco 2000                     | <b>Analysis model:</b><br>General purpose (fine)          | <b>Sensitivity:</b><br>Normal  |
| <b>Particle RI:</b><br>1.850                                 | <b>Absorption:</b><br>0.1                                   | <b>Size range:</b><br>0.020 to 2000.000 $\mu\text{m}$     | <b>Obscuration:</b><br>2.24 %  |
| <b>Dispersant Name:</b>                                      | <b>Dispersant RI:</b><br>1.000                              | <b>Weighted Residual:</b><br>0.303 %                      | <b>Result Emulation:</b><br>On |
| <b>Concentration:</b><br>0.0002 %Vol                         | <b>Span :</b><br>9.961                                      | <b>Uniformity:</b><br>3.15                                | <b>Result units:</b><br>Volume |
| <b>Specific Surface Area:</b><br>0.729 $\text{m}^2/\text{g}$ | <b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b><br>2.255 $\mu\text{m}$ | <b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b><br>19.267 $\mu\text{m}$ |                                |

d(0.1): 0.892  $\mu\text{m}$                       d(0.5): 5.392  $\mu\text{m}$                       d(0.9): 54.603  $\mu\text{m}$



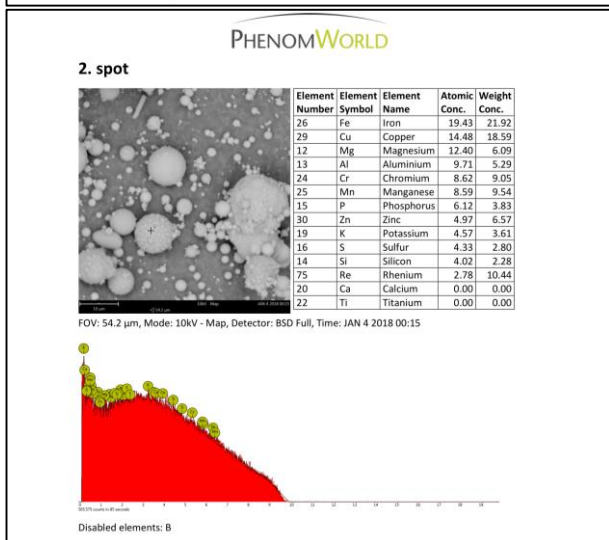
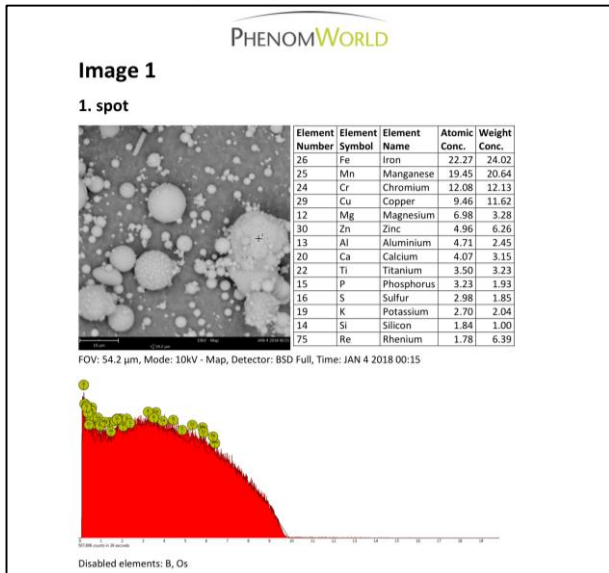
Fly Ash Type C - Average, Friday, January 05, 2018 1:20:59 PM

| Size ( $\mu\text{m}$ ) | Vol Under % | Size ( $\mu\text{m}$ ) | Vol Under % | Size ( $\mu\text{m}$ ) | Vol Under % | Size ( $\mu\text{m}$ ) | Vol Under % | Size ( $\mu\text{m}$ ) | Vol Under % | Size ( $\mu\text{m}$ ) | Vol Under % |
|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| 0.500                  | 4.24        | 10.000                 | 65.04       | 50.000                 | 88.51       | 140.000                | 96.43       | 355.000                | 99.85       | 900.000                | 100.00      |
| 1.000                  | 11.53       | 12.181                 | 68.97       | 56.000                 | 90.41       | 150.000                | 98.57       | 400.000                | 99.94       | 1000.000               | 100.00      |
| 1.044                  | 12.18       | 15.000                 | 72.37       | 60.000                 | 92.24       | 160.000                | 98.68       | 425.000                | 99.97       | 1100.000               | 100.00      |
| 1.487                  | 16.20       | 20.000                 | 75.80       | 71.000                 | 93.88       | 180.000                | 98.85       | 450.000                | 100.00      | 1180.000               | 100.00      |
| 1.500                  | 16.37       | 25.000                 | 78.33       | 75.000                 | 94.55       | 200.000                | 99.01       | 500.000                | 100.00      | 1250.000               | 100.00      |
| 1.555                  | 16.44       | 32.000                 | 81.38       | 80.000                 | 95.28       | 212.000                | 99.10       | 560.000                | 100.00      | 1400.000               | 100.00      |
| 1.716                  | 21.14       | 36.000                 | 83.07       | 90.000                 | 96.35       | 224.000                | 99.18       | 600.000                | 100.00      | 1600.000               | 100.00      |
| 2.000                  | 24.56       | 38.000                 | 83.92       | 100.000                | 97.10       | 250.000                | 99.36       | 630.000                | 100.00      | 1700.000               | 100.00      |
| 2.500                  | 29.98       | 40.000                 | 84.74       | 100.000                | 97.44       | 280.000                | 99.54       | 710.000                | 100.00      | 1800.000               | 100.00      |
| 3.000                  | 34.65       | 45.000                 | 86.72       | 110.000                | 97.71       | 300.000                | 99.64       | 800.000                | 100.00      | 2000.000               | 100.00      |
| 5.000                  | 48.04       | 50.000                 | 88.52       | 125.000                | 98.12       | 315.000                | 99.70       | 850.000                | 100.00      |                        |             |

Operator notes:



c) Hasil Uji SEM-EDX pada *Fly ash*  
 - SEM-EDX (3000x)



## Lampiran 2

Untuk lampiran ini dicantumkan hasil pengujian benda uji:

### 1. Hasil Pengujian Pasta Semen (binder) Geopolimer.

#### a) Hasil Pengujian *Setting Time* Pasta Semen Geopolimer.

| Waktu<br>(menit) | Penurunan (cm) |     |     |
|------------------|----------------|-----|-----|
|                  | Kode Variasi   |     |     |
|                  | V1             | V2  | V3  |
| 10               | 4.1            | 4.2 | 4.3 |
| 20               | 4.1            | 4.2 | 4.3 |
| 30               | 4.1            | 3.8 | 3.5 |
| 40               | 3.7            | 3.2 | 3.4 |
| 50               | 3.5            | 3.0 | 3.0 |
| 60               | 3.1            | 2.8 | 2.2 |
| 70               | 3.0            | 2.7 | 2.1 |
| 80               | 3.0            | 2.5 | 2.0 |
| 90               | 2.8            | 2.4 | 1.9 |
| 100              | 2.6            | 2.3 | 1.9 |
| 110              | 2.5            | 2.1 | 1.8 |
| 120              | 2.1            | 2.0 | 1.7 |
| 130              | 2.0            | 1.8 | 1.6 |
| 140              | 1.9            | 1.6 | 1.5 |
| 150              | 1.8            | 1.5 | 1.3 |
| 160              | 1.7            | 1.4 | 1.2 |
| 170              | 1.6            | 1.3 | 1.1 |
| 180              | 1.5            | 1.2 | 0.8 |
| 190              | 1.5            | 1.0 | 0.7 |
| 200              | 1.3            | 0.8 | 0.6 |
| 210              | 1.2            | 0.6 | 0.5 |
| 220              | 1.1            | 0.5 | 0.3 |
| 230              | 0.9            | 0.4 | 0.2 |
| 240              | 0.8            | 0.3 | 0.0 |
| 250              | 0.6            | 0.2 |     |
| 260              | 0.5            | 0.0 |     |
| 270              | 0.4            |     |     |
| 280              | 0.2            |     |     |
| 290              | 0.0            |     |     |

b) Hasil pengujian kuat tekan pasta semen geopolimer umur 28 hari.

| Variabel | Molaritas NaOH | Berat  | A                  | P    | f <sub>c</sub> | f <sub>c</sub> Rata-rata | S. Deviasi | Klasifikasi S.Deviasi |
|----------|----------------|--------|--------------------|------|----------------|--------------------------|------------|-----------------------|
|          |                | (gram) | (mm <sup>2</sup> ) | (kN) | (Mpa)          | (Mpa)                    | (Mpa)      |                       |
| V1       | 8 Molar        | 259.9  | 2500               | 59   | 19.59          | 18.48                    | 1.0        | Istimewa              |
|          |                | 250.8  | 2500               | 55   | 18.26          |                          |            |                       |
|          |                | 252.4  | 2500               | 53   | 17.60          |                          |            |                       |
| V2       | 12 Molar       | 260.2  | 2500               | 75   | 24.90          | 25.12                    | 1.7        | Baik                  |
|          |                | 254.4  | 2500               | 71   | 23.57          |                          |            |                       |
|          |                | 253.3  | 2500               | 81   | 26.89          |                          |            |                       |
| V3       | 14 Molar       | 245.6  | 2500               | 105  | 34.86          | 33.31                    | 1.9        | Baik                  |
|          |                | 230.5  | 2500               | 94   | 31.21          |                          |            |                       |
|          |                | 252.8  | 2500               | 102  | 33.86          |                          |            |                       |

## 2. Hasil Pengujian Mortar Geopolimer.

### 1) Hasil Pengujian *Setting Time* Mortar Geopolimer

#### a. *Setting Time* Mortar Geopolimer Dengan Molaritas NaOH = 8 Molar

- Mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang (PL-8M)

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 1  | 645                | 15               | 10.22 | 100.23 | 0.16               |
| 2  | 645                | 30               | 30.35 | 297.64 | 0.46               |
| 3  | 323                | 45               | 21.03 | 206.22 | 0.64               |
| 4  | 323                | 60               | 29.37 | 288.05 | 0.89               |
| 5  | 215                | 75               | 23.24 | 227.95 | 1.06               |
| 6  | 215                | 90               | 33.34 | 326.95 | 1.52               |
| 7  | 65                 | 105              | 21.03 | 206.22 | 3.17               |
| 8  | 65                 | 120              | 24.35 | 238.82 | 3.67               |
| 9  | 65                 | 135              | 30.35 | 297.64 | 4.58               |
| 10 | 65                 | 150              | 37.56 | 368.37 | 5.67               |
| 11 | 32                 | 165              | 19.92 | 195.36 | 6.10               |
| 12 | 32                 | 180              | 27.42 | 268.87 | 8.40               |
| 13 | 32                 | 195              | 34.33 | 336.71 | 10.52              |
| 14 | 16                 | 210              | 21.03 | 206.22 | 12.89              |
| 15 | 16                 | 225              | 25.95 | 254.48 | 15.91              |
| 16 | 16                 | 240              | 32.34 | 317.18 | 19.82              |
| 17 | 16                 | 255              | 37.56 | 368.37 | 23.02              |
| 18 | 16                 | 270              | 45.27 | 443.96 | 27.75              |

- Mortar geopolimer menggunakan pasir mojkerto (PM-8M)

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 1  | 645                | 15               | 14.22 | 139.46 | 0.22               |
| 2  | 645                | 30               | 31.35 | 307.41 | 0.48               |
| 3  | 323                | 45               | 22.14 | 217.09 | 0.67               |
| 4  | 323                | 60               | 33.34 | 326.95 | 1.01               |
| 5  | 215                | 75               | 28.39 | 278.46 | 1.30               |
| 6  | 215                | 90               | 34.33 | 336.71 | 1.57               |

| No | Luas Jarum         | Waktu | Beban |        | Penetrasi |
|----|--------------------|-------|-------|--------|-----------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |       | (kgf) | (N)    |           |
| 7  | 65                 | 105   | 22.14 | 217.09 | 3.34      |
| 8  | 65                 | 120   | 27.42 | 268.87 | 4.14      |
| 9  | 65                 | 135   | 33.34 | 326.95 | 5.03      |
| 10 | 65                 | 150   | 38.68 | 379.32 | 5.84      |
| 11 | 32                 | 165   | 24.35 | 238.82 | 7.46      |
| 12 | 32                 | 180   | 30.35 | 297.64 | 9.30      |
| 13 | 32                 | 195   | 38.68 | 379.64 | 11.85     |
| 14 | 16                 | 210   | 22.14 | 217.09 | 13.57     |
| 15 | 16                 | 225   | 27.42 | 268.87 | 16.80     |
| 16 | 16                 | 240   | 34.33 | 336.71 | 21.04     |
| 17 | 16                 | 255   | 39.79 | 390.26 | 24.39     |
| 18 | 16                 | 270   | 45.78 | 448.94 | 28.06     |

- Mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro (PB-8M)

| No | Luas Jarum         | Waktu | Beban |        | Penetrasi |
|----|--------------------|-------|-------|--------|-----------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |       | (kgf) | (N)    |           |
| 1  | 645                | 15    | 7.13  | 69.92  | 0.11      |
| 2  | 645                | 30    | 17.10 | 167.70 | 0.26      |
| 3  | 645                | 45    | 25.46 | 249.69 | 0.39      |
| 4  | 323                | 60    | 15.22 | 149.26 | 0.46      |
| 5  | 323                | 75    | 24.35 | 238.82 | 0.74      |
| 6  | 323                | 90    | 30.35 | 297.64 | 0.92      |
| 7  | 215                | 105   | 19.92 | 195.36 | 0.91      |
| 8  | 215                | 120   | 27.42 | 268.87 | 1.25      |
| 9  | 215                | 135   | 33.34 | 326.95 | 1.52      |
| 10 | 65                 | 150   | 21.03 | 206.22 | 3.17      |
| 11 | 65                 | 165   | 28.39 | 278.46 | 4.28      |
| 12 | 65                 | 180   | 34.33 | 336.71 | 5.18      |
| 13 | 32                 | 195   | 24.35 | 238.82 | 7.46      |
| 14 | 32                 | 210   | 35.33 | 346.48 | 10.83     |
| 15 | 32                 | 225   | 41.21 | 404.11 | 12.63     |
| 16 | 16                 | 240   | 22.14 | 217.09 | 13.57     |
| 17 | 16                 | 255   | 27.42 | 268.87 | 16.80     |
| 18 | 16                 | 270   | 32.34 | 317.18 | 19.82     |

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 19 | 16                 | 285              | 38.68 | 379.32 | 23.71              |
| 20 | 16                 | 300              | 45.27 | 443.96 | 27.75              |

b. *Setting Time* Mortar Geopolimer Dengan Molaritas NaOH = 12 Molar

- Mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang (PL-12M)

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 1  | 645                | 15               | 18.04 | 176.92 | 0.27               |
| 2  | 645                | 30               | 31.35 | 307.41 | 0.48               |
| 3  | 323                | 45               | 21.03 | 206.22 | 0.64               |
| 4  | 323                | 60               | 30.35 | 297.64 | 0.92               |
| 5  | 215                | 75               | 22.14 | 217.09 | 1.01               |
| 6  | 215                | 90               | 28.39 | 278.46 | 1.30               |
| 7  | 65                 | 105              | 21.03 | 206.22 | 3.17               |
| 8  | 65                 | 120              | 28.39 | 278.46 | 4.28               |
| 9  | 32                 | 135              | 22.14 | 217.09 | 6.78               |
| 10 | 32                 | 150              | 33.34 | 326.95 | 10.22              |
| 11 | 32                 | 165              | 37.56 | 368.37 | 11.51              |
| 12 | 16                 | 180              | 23.24 | 227.95 | 14.25              |
| 13 | 16                 | 195              | 30.35 | 297.64 | 18.60              |
| 14 | 16                 | 210              | 33.84 | 331.83 | 20.74              |
| 15 | 16                 | 225              | 37.56 | 368.37 | 23.02              |
| 16 | 16                 | 240              | 45.27 | 443.96 | 27.75              |

- Mortar geopolimer menggunakan pasir mojkerto (PM-12M)

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 1  | 645                | 15               | 24.35 | 238.82 | 0.37               |
| 2  | 645                | 30               | 47.30 | 463.89 | 0.72               |
| 3  | 323                | 45               | 27.42 | 268.87 | 0.83               |
| 4  | 323                | 60               | 45.27 | 443.96 | 1.37               |
| 5  | 215                | 75               | 31.35 | 307.41 | 1.43               |

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 6  | 215                | 90               | 38.68 | 379.32 | 1.76               |
| 7  | 65                 | 105              | 23.24 | 227.95 | 3.51               |
| 8  | 65                 | 120              | 27.42 | 268.87 | 4.14               |
| 9  | 32                 | 135              | 24.35 | 238.82 | 7.46               |
| 10 | 32                 | 150              | 34.33 | 336.71 | 10.52              |
| 11 | 32                 | 165              | 38.68 | 379.32 | 11.85              |
| 12 | 16                 | 180              | 25.46 | 249.69 | 15.61              |
| 13 | 16                 | 195              | 32.34 | 317.18 | 19.82              |
| 14 | 16                 | 210              | 35.33 | 346.48 | 21.66              |
| 15 | 16                 | 225              | 40.91 | 401.20 | 25.08              |
| 16 | 16                 | 240              | 45.78 | 448.94 | 28.06              |

- Mortar geopolimer menggunakan pasir bojongegoro (PB-12M)

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 1  | 645                | 15               | 12.22 | 119.84 | 0.19               |
| 2  | 645                | 30               | 25.46 | 249.69 | 0.39               |
| 3  | 645                | 45               | 28.39 | 278.46 | 0.43               |
| 4  | 323                | 60               | 18.04 | 176.92 | 0.55               |
| 5  | 323                | 75               | 27.42 | 268.87 | 0.83               |
| 6  | 215                | 90               | 21.03 | 206.22 | 0.96               |
| 7  | 215                | 105              | 28.39 | 278.46 | 1.30               |
| 8  | 215                | 120              | 33.34 | 326.95 | 1.52               |
| 9  | 65                 | 135              | 19.92 | 195.36 | 3.01               |
| 10 | 65                 | 150              | 27.42 | 268.87 | 4.14               |
| 11 | 65                 | 165              | 34.33 | 336.71 | 5.18               |
| 12 | 32                 | 180              | 23.24 | 227.95 | 7.12               |
| 13 | 32                 | 195              | 28.39 | 278.46 | 8.70               |
| 14 | 32                 | 210              | 33.84 | 331.83 | 10.37              |
| 15 | 16                 | 225              | 23.24 | 227.95 | 14.25              |
| 16 | 16                 | 240              | 32.34 | 317.18 | 19.82              |
| 17 | 16                 | 255              | 38.68 | 379.32 | 23.71              |
| 18 | 16                 | 270              | 45.27 | 443.96 | 27.75              |

c. *Setting Time* Mortar Geopolimer Dengan Molaritas NaOH = 14 Molar

- Mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang (PL-14M)

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 1  | 645                | 15               | 25.46 | 249.69 | 0.39               |
| 2  | 645                | 30               | 33.34 | 326.95 | 0.51               |
| 3  | 323                | 45               | 28.88 | 283.26 | 0.88               |
| 4  | 323                | 60               | 30.35 | 297.64 | 0.92               |
| 5  | 215                | 75               | 26.44 | 259.28 | 1.21               |
| 6  | 215                | 90               | 33.34 | 326.95 | 1.52               |
| 7  | 65                 | 105              | 26.44 | 259.28 | 3.99               |
| 8  | 65                 | 120              | 34.33 | 336.71 | 5.18               |
| 9  | 32                 | 135              | 27.42 | 268.87 | 8.40               |
| 10 | 32                 | 150              | 32.34 | 317.18 | 9.91               |
| 11 | 32                 | 165              | 36.45 | 357.43 | 11.17              |
| 12 | 16                 | 180              | 28.39 | 278.46 | 17.40              |
| 13 | 16                 | 195              | 34.33 | 336.71 | 21.04              |
| 14 | 16                 | 210              | 38.68 | 379.32 | 23.71              |
| 15 | 16                 | 225              | 45.27 | 443.96 | 27.75              |

- Mortar geopolimer menggunakan pasir mojkerto (PM-14M)

| No | Luas Jarum         | Waktu<br>(menit) | Beban |        | Penetrasi<br>(Mpa) |
|----|--------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) |                  | (kgf) | (N)    |                    |
| 1  | 645                | 15               | 34.33 | 336.71 | 0.52               |
| 2  | 645                | 30               | 48.32 | 473.85 | 0.73               |
| 3  | 323                | 45               | 40.91 | 401.20 | 1.24               |
| 4  | 323                | 60               | 48.83 | 478.84 | 1.48               |
| 5  | 215                | 75               | 37.56 | 368.37 | 1.71               |
| 6  | 215                | 90               | 43.53 | 426.86 | 1.99               |
| 7  | 65                 | 105              | 27.42 | 268.87 | 4.14               |
| 8  | 65                 | 120              | 36.45 | 357.43 | 5.50               |
| 9  | 32                 | 135              | 28.50 | 279.50 | 8.73               |
| 10 | 32                 | 150              | 30.35 | 297.64 | 9.30               |
| 11 | 32                 | 165              | 38.68 | 379.32 | 11.85              |



| No | Luas Jarum         | Waktu   | Beban |        | Penetrasi |
|----|--------------------|---------|-------|--------|-----------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) | (menit) | (kgf) | (N)    | (Mpa)     |
| 12 | 16                 | 180     | 29.37 | 288.05 | 18.00     |
| 13 | 16                 | 195     | 32.34 | 317.18 | 19.82     |
| 14 | 16                 | 210     | 37.56 | 368.37 | 23.02     |
| 15 | 16                 | 225     | 46.29 | 453.93 | 28.37     |

- Mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro (PB-14M)

| No | Luas Jarum         | Waktu   | Beban |        | Penetrasi |
|----|--------------------|---------|-------|--------|-----------|
|    | (mm <sup>2</sup> ) | (menit) | (kgf) | (N)    | (Mpa)     |
| 1  | 645                | 15      | 18.04 | 176.92 | 0.27      |
| 2  | 645                | 30      | 27.42 | 268.87 | 0.42      |
| 3  | 323                | 45      | 19.92 | 195.36 | 0.60      |
| 4  | 323                | 60      | 28.88 | 283.26 | 0.88      |
| 5  | 323                | 75      | 30.35 | 297.64 | 0.92      |
| 6  | 215                | 90      | 22.14 | 217.09 | 1.01      |
| 7  | 215                | 105     | 30.35 | 297.64 | 1.38      |
| 8  | 65                 | 120     | 21.03 | 206.22 | 3.17      |
| 9  | 65                 | 135     | 27.42 | 268.87 | 4.14      |
| 10 | 65                 | 150     | 35.33 | 346.48 | 5.33      |
| 11 | 32                 | 165     | 24.35 | 238.82 | 7.46      |
| 12 | 32                 | 180     | 30.35 | 297.64 | 9.30      |
| 13 | 32                 | 195     | 34.33 | 336.71 | 10.52     |
| 14 | 16                 | 210     | 23.24 | 227.95 | 14.25     |
| 15 | 16                 | 225     | 32.34 | 317.18 | 19.82     |
| 16 | 16                 | 240     | 38.68 | 379.32 | 23.71     |
| 17 | 16                 | 255     | 45.27 | 443.96 | 27.75     |

## 2) Hasil Pengujian UPV Mortar Geopolimer

### a. Hasil pengujian UPV mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang (PL).

| Variabel   | Age of test | t    | l    | v     | v rata-rata | Klasifikasi |
|------------|-------------|------|------|-------|-------------|-------------|
|            | (days)      | (s)  | (m)  | (m/s) | (m/s)       |             |
| PL-8M-(a)  | 7           | 0.05 | 17.4 | 2873  | 3009        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 16.0 | 3125  |             |             |
|            |             | 0.05 | 16.5 | 3030  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 16.3 | 3070  | 3170        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 15.9 | 3150  |             |             |
|            |             | 0.05 | 15.2 | 3290  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 14.7 | 3401  | 3271        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 15.9 | 3144  |             |             |
|            |             | 0.05 | 15.3 | 3267  |             |             |
| PL-12M-(a) | 7           | 0.05 | 14.8 | 3380  | 3350        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 15.3 | 3270  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.7 | 3400  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 14.2 | 3400  | 3400        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 14.4 | 3400  |             |             |
|            |             | 0.05 | 15.1 | 3400  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 14.4 | 3472  | 3448        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 14.7 | 3401  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.4 | 3472  |             |             |
| PL-14M-(a) | 7           | 0.05 | 15.9 | 3144  | 3371        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 14.4 | 3472  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.3 | 3496  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 14.4 | 3472  | 3497        | Bagus       |
|            |             | 0.05 | 14.5 | 3448  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.0 | 3571  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 14.0 | 3570  | 3547        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 14.4 | 3470  |             |             |
|            |             | 0.05 | 13.9 | 3600  |             |             |
| PL-8M-(b)  | 7           | 0.05 | 15.7 | 3184  | 3023        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 16.7 | 2994  |             |             |
|            |             | 0.05 | 17.3 | 2890  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 15.8 | 3164  | 3159        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 16.3 | 3067  |             |             |
|            |             | 0.05 | 15.4 | 3246  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 14.7 | 3401  | 3388        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 15.3 | 3267  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.3 | 3496  |             |             |
| PL-12M-(b) | 7           | 0.05 | 14.7 | 3401  | 3326        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 15.2 | 3289  |             |             |
|            |             | 0.05 | 15.2 | 3289  |             |             |

| Variabel   | Age of test | t    | l    | v     | v rata-rata | Klasifikasi |
|------------|-------------|------|------|-------|-------------|-------------|
|            | (days)      | (s)  | (m)  | (m/s) | (m/s)       |             |
|            | 28          | 0.05 | 14.7 | 3400  | 3440        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 14.5 | 3450  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.4 | 3470  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 14.0 | 3571  | 3474        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 14.8 | 3378  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.4 | 3472  |             |             |
| PL-14M-(b) | 7           | 0.05 | 15.9 | 3170  | 3170        | Bagus       |
|            |             | 0.05 | 17.4 | 3170  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.8 | 3170  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 12.9 | 3880  | 3643        | Bagus       |
|            |             | 0.05 | 12.9 | 3880  |             |             |
|            |             | 0.05 | 15.8 | 3170  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 13.9 | 3597  | 3691        | Cukup Bagus |
|            |             | 0.05 | 12.8 | 3906  |             |             |
|            |             | 0.05 | 14.0 | 3571  |             |             |

b. Hasil pengujian UPV mortar geopolimer menggunakan pasir mojokerto (PM).

| Variabel   | Age of test | t    | l    | v     | v rata-rata | Klasifikasi |
|------------|-------------|------|------|-------|-------------|-------------|
|            | (days)      | (s)  | (m)  | (m/s) | (m/s)       |             |
| PM-8M-(a)  | 7           | 0.05 | 22.5 | 2220  | 2250        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 22.0 | 2270  |             |             |
|            |             | 0.05 | 22.1 | 2260  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 22.0 | 2272  | 2316        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 20.7 | 2415  |             |             |
|            |             | 0.05 | 22.1 | 2262  |             |             |
| 56         | 0.05        | 20.7 | 2415 | 2321  | Cukup       |             |
|            | 0.05        | 22.5 | 2222 |       |             |             |
|            | 0.05        | 21.5 | 2325 |       |             |             |
| PM-12M-(a) | 7           | 0.05 | 21.5 | 2325  | 2334        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 22.1 | 2262  |             |             |
|            |             | 0.05 | 20.7 | 2415  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 22.3 | 2242  | 2398        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 19.7 | 2538  |             |             |
|            |             | 0.05 | 20.7 | 2415  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 20.7 | 2415  | 2417        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 21.5 | 2325  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.9 | 2512  |             |             |
| PM-14M-(a) | 7           | 0.05 | 19.9 | 2512  | 2542        | Cukup       |

| Variabel   | Age of test | t    | l    | v     | v rata-rata | Klasifikasi |
|------------|-------------|------|------|-------|-------------|-------------|
|            | (days)      | (s)  | (m)  | (m/s) | (m/s)       |             |
|            |             | 0.05 | 19.8 | 2525  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.3 | 2590  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.3 | 2590  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 19.2 | 2604  | 2773        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 16.0 | 3125  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.9 | 2512  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 17.4 | 2873  | 2884        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 15.3 | 3267  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.9 | 2512  |             |             |
| PM-8M-(b)  | 7           | 0.05 | 22.1 | 2262  | 2233        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 23.1 | 2164  |             |             |
|            |             | 0.05 | 22.0 | 2272  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 22.3 | 2240  | 2323        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 22.8 | 2190  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.7 | 2540  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 21.5 | 2325  | 2701        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 15.3 | 3267  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.9 | 2512  |             |             |
| PM-12M-(b) | 7           | 0.05 | 19.8 | 2525  | 2459        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 22.1 | 2262  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.3 | 2590  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 20.7 | 2420  | 2710        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 17.4 | 2870  |             |             |
|            |             | 0.05 | 17.6 | 2840  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 17.4 | 2873  | 2845        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 19.7 | 2538  |             |             |
|            |             | 0.05 | 16.0 | 3125  |             |             |
| PM-14M-(b) | 7           | 0.05 | 19.8 | 2525  | 2330        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 22.5 | 2222  |             |             |
|            |             | 0.05 | 22.3 | 2242  |             |             |
|            | 28          | 0.05 | 19.3 | 2590  | 2542        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 19.9 | 2512  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.8 | 2525  |             |             |
|            | 56          | 0.05 | 19.2 | 2600  | 2551        | Cukup       |
|            |             | 0.05 | 19.9 | 2512  |             |             |
|            |             | 0.05 | 19.7 | 2540  |             |             |

c. Hasil pengujian UPV mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro (PB).

| Variabel   | Age of test | t    | l    | v     | v rata-rata | Klasifikasi Kualitas |
|------------|-------------|------|------|-------|-------------|----------------------|
|            | (days)      | (s)  | (m)  | (m/s) | (m/s)       |                      |
| PB-8M-(a)  | 7           | 0.05 | 33.1 | 1310  | 1747        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 31.2 | 1600  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 21.5 | 2330  |             |                      |
|            | 28          | 0.05 | 27.8 | 1798  | 1886        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 25.5 | 1960  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 26.3 | 1901  |             |                      |
|            | 56          | 0.05 | 25.9 | 1930  | 1890        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 26.3 | 1901  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 27.2 | 1838  |             |                      |
| PB-12M-(a) | 7           | 0.05 | 28.1 | 1779  | 1837        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 27.2 | 1838  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 26.4 | 1893  |             |                      |
|            | 28          | 0.05 | 25.5 | 1901  | 1951        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 25.0 | 2000  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 25.6 | 1953  |             |                      |
|            | 56          | 0.05 | 27.2 | 1838  | 1968        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 23.1 | 2164  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 26.3 | 1901  |             |                      |
| PB-14M-(a) | 7           | 0.05 | 26.5 | 1886  | 1885        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 25.9 | 1930  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 27.2 | 1838  |             |                      |
|            | 28          | 0.05 | 24.8 | 2016  | 1971        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 25.5 | 1960  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 25.8 | 1937  |             |                      |
|            | 56          | 0.05 | 24.7 | 2024  | 1995        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 25.9 | 1930  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 24.6 | 2032  |             |                      |
| PB-8M-(b)  | 7           | 0.05 | 30.2 | 1660  | 1583        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 27.2 | 1840  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 40.1 | 1250  |             |                      |
|            | 28          | 0.05 | 30.1 | 1661  | 1643        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 30.2 | 1655  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 31.0 | 1612  |             |                      |
|            | 56          | 0.05 | 26.3 | 1901  | 1779        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 27.2 | 1838  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 31.3 | 1597  |             |                      |

| Variabel   | Age of test | t    | l    | v     | v rata-rata | Klasifikasi Kualitas |
|------------|-------------|------|------|-------|-------------|----------------------|
|            | (days)      | (s)  | (m)  | (m/s) | (m/s)       |                      |
| PB-12M-(b) | 7           | 0.05 | 31.0 | 1612  | 1625        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 31.2 | 1602  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 30.1 | 1661  |             |                      |
|            | 28          | 0.05 | 33.2 | 1506  | 1630        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 32.3 | 1547  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 27.2 | 1838  |             |                      |
|            | 56          | 0.05 | 27.2 | 1840  | 1703        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 30.1 | 1660  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 31.0 | 1610  |             |                      |
| PB-14M-(b) | 7           | 0.05 | 31.3 | 1600  | 1623        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 31.0 | 1610  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 30.1 | 1660  |             |                      |
|            | 28          | 0.05 | 30.2 | 1655  | 1657        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 30.1 | 1661  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 30.2 | 1655  |             |                      |
|            | 56          | 0.05 | 30.1 | 1661  | 1841        | Kurang               |
|            |             | 0.05 | 25.5 | 1960  |             |                      |
|            |             | 0.05 | 26.3 | 1901  |             |                      |

### 3) Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

#### a. Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir lumajang (PL).

| Variabel   | Umur   | Berat  | A                  | P    | f <sub>c</sub> | f <sub>c</sub><br>Rata-rata | S.<br>Deviasi | Klasifikasi<br>S.Deviasi |
|------------|--------|--------|--------------------|------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------------------|
|            | (hari) | (gram) | (mm <sup>2</sup> ) | (kN) | (Mpa)          | (Mpa)                       | (Mpa)         |                          |
| PL-8M-(a)  | 7      | 300.6  | 2500               | 2    | 0.66           | 0.77                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 275.9  | 2500               | 3    | 1.00           |                             |               |                          |
|            |        | 304.6  | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            | 28     | 279.8  | 2500               | 27   | 8.96           | 9.41                        | 1.70          | Sangat Baik              |
|            |        | 288.1  | 2500               | 24   | 7.97           |                             |               |                          |
|            |        | 283.0  | 2500               | 34   | 11.29          |                             |               |                          |
|            | 56     | 304.3  | 2500               | 29   | 9.63           | 9.52                        | 0.51          | Istimewa                 |
|            |        | 303.7  | 2500               | 30   | 9.96           |                             |               |                          |
|            |        | 295.8  | 2500               | 27   | 8.96           |                             |               |                          |
| PL-12M-(a) | 7      | 298.5  | 2500               | 10   | 3.32           | 2.66                        | 0.66          | Istimewa                 |
|            |        | 303.5  | 2500               | 6    | 1.99           |                             |               |                          |
|            |        | 307.4  | 2500               | 8    | 2.66           |                             |               |                          |
|            | 28     | 298.2  | 2500               | 60   | 19.92          | 18.81                       | 1.38          | Istimewa                 |
|            |        | 297.3  | 2500               | 58   | 19.26          |                             |               |                          |
|            |        | 308.6  | 2500               | 52   | 17.26          |                             |               |                          |
|            | 56     | 295.8  | 2500               | 65   | 21.58          | 22.80                       | 1.17          | Istimewa                 |
|            |        | 292.9  | 2500               | 72   | 23.90          |                             |               |                          |
|            |        | 298.4  | 2500               | 69   | 22.91          |                             |               |                          |
| PL-14M-(a) | 7      | 302.9  | 2500               | 21   | 6.97           | 7.19                        | 0.69          | Istimewa                 |
|            |        | 298.8  | 2500               | 20   | 6.64           |                             |               |                          |
|            |        | 306.0  | 2500               | 24   | 7.97           |                             |               |                          |
|            | 28     | 312.3  | 2500               | 87   | 28.88          | 27.67                       | 1.17          | Istimewa                 |
|            |        | 311.9  | 2500               | 83   | 27.56          |                             |               |                          |
|            |        | 314.4  | 2500               | 80   | 26.56          |                             |               |                          |
|            | 56     | 323.6  | 2500               | 129  | 42.83          | 41.50                       | 1.52          | Sangat Baik              |
|            |        | 302.4  | 2500               | 126  | 41.83          |                             |               |                          |
|            |        | 303.5  | 2500               | 120  | 39.84          |                             |               |                          |
| PL-8M-(b)  | 7      | 272.0  | 2500               | 53   | 17.60          | 17.15                       | 0.51          | Istimewa                 |
|            |        | 279.9  | 2500               | 52   | 17.26          |                             |               |                          |
|            |        | 271.3  | 2500               | 50   | 16.60          |                             |               |                          |
|            | 28     | 280.0  | 2500               | 32   | 10.62          | 10.96                       | 0.33          | Istimewa                 |
|            |        | 274.4  | 2500               | 34   | 11.29          |                             |               |                          |
|            |        | 278.1  | 2500               | 33   | 10.96          |                             |               |                          |
|            | 56     | 280.5  | 2500               | 66   | 21.91          | 21.47                       | 1.38          | Istimewa                 |
|            |        | 287.1  | 2500               | 60   | 19.92          |                             |               |                          |
|            |        | 276.0  | 2500               | 68   | 22.58          |                             |               |                          |
| PL-12M-(b) | 7      | 293.7  | 2500               | 69   | 22.91          | 21.14                       | 1.53          | Istimewa                 |
|            |        | 285.9  | 2500               | 61   | 20.25          |                             |               |                          |

| Variabel   | Umur       | Berat  | A                  | P    | f <sub>c</sub> | f <sub>c</sub><br>Rata-rata | S.<br>Deviasi | Klasifikasi<br>S.Deviasi |          |
|------------|------------|--------|--------------------|------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------------------|----------|
|            | (hari)     | (gram) | (mm <sup>2</sup> ) | (kN) | (Mpa)          | (Mpa)                       | (Mpa)         |                          |          |
| PL-14M-(b) | 28         | 296.2  | 2500               | 61   | 20.25          | 26.56                       | 0.66          | Istimewa                 |          |
|            |            | 282.6  | 2500               | 82   | 27.22          |                             |               |                          |          |
|            |            | 299.6  | 2500               | 78   | 25.90          |                             |               |                          |          |
|            | 56         | 295.1  | 2500               | 80   | 26.56          | 49.25                       | 1.50          | Sangat Baik              |          |
|            |            | 297.8  | 2500               | 153  | 50.80          |                             |               |                          |          |
|            |            | 294.8  | 2500               | 148  | 49.14          |                             |               |                          |          |
|            | PL-14M-(b) | 7      | 302.7              | 2500 | 144            | 47.81                       | 42.16         | 0.33                     | Istimewa |
|            |            |        | 282.0              | 2500 | 126            | 41.83                       |               |                          |          |
|            |            |        | 276.2              | 2500 | 128            | 42.50                       |               |                          |          |
| 28         |            | 273.5  | 2500               | 127  | 42.16          | 29.77                       | 1.83          | Sangat Baik              |          |
|            |            | 275.7  | 2500               | 87   | 28.88          |                             |               |                          |          |
|            |            | 286.9  | 2500               | 96   | 31.87          |                             |               |                          |          |
| 56         |            | 285.2  | 2500               | 86   | 28.55          | 61.09                       | 1.52          | Sangat Baik              |          |
|            |            | 290.7  | 2500               | 183  | 60.76          |                             |               |                          |          |
|            |            | 281.1  | 2500               | 180  | 59.76          |                             |               |                          |          |
|            |            | 296.5  | 2500               | 189  | 62.75          |                             |               |                          |          |

b. Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir mojkerto (PM).

| Variabel   | Umur   | Berat  | A                  | P    | f <sub>c</sub> | f <sub>c</sub><br>Rata-rata | S.<br>Deviasi | Klasifikasi<br>S.Deviasi |
|------------|--------|--------|--------------------|------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------------------|
|            | (hari) | (gram) | (mm <sup>2</sup> ) | (kN) | (Mpa)          | (Mpa)                       | (Mpa)         |                          |
| PM-8M-(a)  | 7      | 290.6  | 2500               | 2    | 0.66           | 0.55                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 293.7  | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            |        | 290.6  | 2500               | 1    | 0.33           |                             |               |                          |
|            | 28     | 292.6  | 2500               | 6    | 1.99           | 1.99                        | 0.66          | Istimewa                 |
|            |        | 290.2  | 2500               | 4    | 1.33           |                             |               |                          |
|            |        | 283.0  | 2500               | 8    | 2.66           |                             |               |                          |
|            | 56     | 278.0  | 2500               | 17   | 5.64           | 4.09                        | 1.34          | Istimewa                 |
|            |        | 274.3  | 2500               | 10   | 3.32           |                             |               |                          |
|            |        | 274.3  | 2500               | 10   | 3.32           |                             |               |                          |
| PM-12M-(a) | 7      | 301.7  | 2500               | 2    | 0.66           | 0.66                        | 0.00          | Istimewa                 |
|            |        | 281.3  | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            |        | 309.5  | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            | 28     | 309.5  | 2500               | 42   | 13.94          | 12.28                       | 1.52          | Sangat Baik              |
|            |        | 305.4  | 2500               | 33   | 10.96          |                             |               |                          |
|            |        | 300.2  | 2500               | 36   | 11.95          |                             |               |                          |
|            | 56     | 285.6  | 2500               | 50   | 16.60          | 16.71                       | 0.51          | Istimewa                 |
|            |        | 286.5  | 2500               | 49   | 16.27          |                             |               |                          |
|            |        | 301.2  | 2500               | 52   | 17.26          |                             |               |                          |
| PM-14M-(a) | 7      | 312.1  | 2500               | 6    | 1.99           | 1.66                        | 0.33          | Istimewa                 |



| Variabel   | Umur   | Berat  | A                  | P    | f <sub>c</sub> | f <sub>c</sub><br>Rata-rata | S.<br>Deviasi | Klasifikasi<br>S.Deviasi |
|------------|--------|--------|--------------------|------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------------------|
|            | (hari) | (gram) | (mm <sup>2</sup> ) | (kN) | (Mpa)          | (Mpa)                       | (Mpa)         |                          |
|            | 28     | 308.7  | 2500               | 5    | 1.66           | 23.02                       | 1.50          | Sangat Baik              |
|            |        | 308.9  | 2500               | 4    | 1.33           |                             |               |                          |
|            |        | 308.1  | 2500               | 69   | 22.91          |                             |               |                          |
|            |        | 304.0  | 2500               | 74   | 24.57          |                             |               |                          |
|            |        | 310.3  | 2500               | 65   | 21.58          |                             |               |                          |
|            | 56     | 305.3  | 2500               | 78   | 25.90          | 25.79                       | 0.84          | Istimewa                 |
|            |        | 296.0  | 2500               | 75   | 24.90          |                             |               |                          |
|            |        | 297.0  | 2500               | 80   | 26.56          |                             |               |                          |
| PM-8M-(b)  | 7      | 264.1  | 2500               | 13   | 4.32           | 4.54                        | 0.38          | Istimewa                 |
|            |        | 266.1  | 2500               | 13   | 4.32           |                             |               |                          |
|            |        | 262.8  | 2500               | 15   | 4.98           |                             |               |                          |
|            | 28     | 268.1  | 2500               | 17   | 5.64           | 4.65                        | 0.88          | Istimewa                 |
|            |        | 261.1  | 2500               | 12   | 3.98           |                             |               |                          |
|            |        | 266.4  | 2500               | 13   | 4.32           |                             |               |                          |
|            | 56     | 267.9  | 2500               | 22   | 7.30           | 7.41                        | 0.84          | Istimewa                 |
|            |        | 273.5  | 2500               | 25   | 8.30           |                             |               |                          |
|            |        | 267.9  | 2500               | 20   | 6.64           |                             |               |                          |
| PM-12M-(b) | 7      | 259.8  | 2500               | 37   | 12.28          | 11.62                       | 1.45          | Sangat Baik              |
|            |        | 271.9  | 2500               | 38   | 12.62          |                             |               |                          |
|            |        | 265.9  | 2500               | 30   | 9.96           |                             |               |                          |
|            | 28     | 276.0  | 2500               | 32   | 10.62          | 11.95                       | 1.33          | Istimewa                 |
|            |        | 264.0  | 2500               | 36   | 11.95          |                             |               |                          |
|            |        | 270.9  | 2500               | 40   | 13.28          |                             |               |                          |
|            | 56     | 273.6  | 2500               | 65   | 21.58          | 21.36                       | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 290.7  | 2500               | 64   | 21.25          |                             |               |                          |
|            |        | 286.4  | 2500               | 64   | 21.25          |                             |               |                          |
| PM-14M-(b) | 7      | 268.2  | 2500               | 35   | 11.62          | 10.40                       | 1.57          | Sangat Baik              |
|            |        | 278.3  | 2500               | 26   | 8.63           |                             |               |                          |
|            |        | 265.4  | 2500               | 33   | 10.96          |                             |               |                          |
|            | 28     | 276.4  | 2500               | 53   | 17.60          | 16.16                       | 1.70          | Sangat Baik              |
|            |        | 271.7  | 2500               | 50   | 16.60          |                             |               |                          |
|            |        | 278.4  | 2500               | 43   | 14.28          |                             |               |                          |
|            | 56     | 275.4  | 2500               | 76   | 25.23          | 26.34                       | 1.64          | Sangat Baik              |
|            |        | 270.3  | 2500               | 85   | 28.22          |                             |               |                          |
|            |        | 281.6  | 2500               | 77   | 25.56          |                             |               |                          |




c. Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer menggunakan pasir bojonegoro (PB).




| Variabel   | Umur   | Berat  | A                  | P    | f <sub>c</sub> | f <sub>c</sub><br>Rata-rata | S.<br>Deviasi | Klasifikasi<br>S.Deviasi |
|------------|--------|--------|--------------------|------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------------------|
|            | (hari) | (gram) | (mm <sup>2</sup> ) | (kN) | (Mpa)          | (Mpa)                       | (Mpa)         |                          |
| PB-8M-(a)  | 7      | 274.5  | 2500               | 2    | 0.66           | 0.55                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 280.3  | 2500               | 1    | 0.33           |                             |               |                          |
|            |        | 273.8  | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            | 28     | 250.0  | 2500               | 3    | 1.00           | 1.11                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 251.1  | 2500               | 4    | 1.33           |                             |               |                          |
|            |        | 261.0  | 2500               | 3    | 1.00           |                             |               |                          |
|            | 56     | 264.5  | 2500               | 6    | 1.99           | 1.77                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 273.7  | 2500               | 5    | 1.66           |                             |               |                          |
|            |        | 271.8  | 2500               | 5    | 1.66           |                             |               |                          |
| PB-12M-(a) | 7      | 267.4  | 2500               | 2    | 0.66           | 0.66                        | 0.00          | Istimewa                 |
|            |        | 289    | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            |        | 275.8  | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            | 28     | 268.1  | 2500               | 3    | 1.00           | 1.22                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 270.5  | 2500               | 4    | 1.33           |                             |               |                          |
|            |        | 280.8  | 2500               | 4    | 1.33           |                             |               |                          |
|            | 56     | 265.8  | 2500               | 6    | 1.99           | 3.21                        | 1.07          | Baik                     |
|            |        | 267.9  | 2500               | 11   | 3.65           |                             |               |                          |
|            |        | 283.9  | 2500               | 12   | 3.98           |                             |               |                          |
| PB-14M-(a) | 7      | 270.2  | 2500               | 2    | 0.66           | 0.55                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 269.2  | 2500               | 2    | 0.66           |                             |               |                          |
|            |        | 273.8  | 2500               | 1    | 0.33           |                             |               |                          |
|            | 28     | 256.9  | 2500               | 8    | 2.66           | 2.21                        | 0.38          | Istimewa                 |
|            |        | 266.7  | 2500               | 6    | 1.99           |                             |               |                          |
|            |        | 270.4  | 2500               | 6    | 1.99           |                             |               |                          |
|            | 56     | 271.0  | 2500               | 14   | 4.65           | 4.32                        | 0.58          | Istimewa                 |
|            |        | 269.4  | 2500               | 14   | 4.65           |                             |               |                          |
|            |        | 265.8  | 2500               | 11   | 3.65           |                             |               |                          |
| PB-8M-(b)  | 7      | 243.8  | 2500               | 8    | 2.66           | 1.88                        | 0.84          | Istimewa                 |
|            |        | 243.0  | 2500               | 6    | 1.99           |                             |               |                          |
|            |        | 234.7  | 2500               | 3    | 1.00           |                             |               |                          |
|            | 28     | 246.6  | 2500               | 5    | 1.66           | 1.44                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 243.3  | 2500               | 4    | 1.33           |                             |               |                          |
|            |        | 241.8  | 2500               | 4    | 1.33           |                             |               |                          |
|            | 56     | 248.8  | 2500               | 7    | 2.32           | 2.43                        | 0.19          | Istimewa                 |
|            |        | 240.6  | 2500               | 8    | 2.66           |                             |               |                          |
|            |        | 252.7  | 2500               | 7    | 2.32           |                             |               |                          |
| PB-12M-(b) | 7      | 232.5  | 2500               | 4    | 1.33           | 1.33                        | 0.33          | Istimewa                 |
|            |        | 243.5  | 2500               | 5    | 1.66           |                             |               |                          |
|            |        | 253.1  | 2500               | 3    | 1.00           |                             |               |                          |
|            | 28     | 246.4  | 2500               | 7    | 2.32           | 2.88                        | 0.69          | Istimewa                 |





| Variabel   | Umur   | Berat  | A                  | P    | f <sub>c</sub> | f <sub>c</sub><br>Rata-<br>rata | S.<br>Deviasi | Klasifikasi<br>S.Deviasi |
|------------|--------|--------|--------------------|------|----------------|---------------------------------|---------------|--------------------------|
|            | (hari) | (gram) | (mm <sup>2</sup> ) | (kN) | (Mpa)          | (Mpa)                           | (Mpa)         |                          |
|            |        | 247.5  | 2500               | 11   | 3.65           |                                 |               |                          |
|            |        | 247.4  | 2500               | 8    | 2.66           |                                 |               |                          |
|            |        | 249.1  | 2500               | 11   | 3.65           |                                 |               |                          |
|            | 56     | 259.0  | 2500               | 12   | 3.98           | 3.54                            | 0.51          | Istimewa                 |
|            |        | 247.8  | 2500               | 9    | 2.99           |                                 |               |                          |
| PB-14M-(b) | 7      | 249.0  | 2500               | 5    | 1.66           | 1.66                            | 0.33          | Istimewa                 |
|            |        | 254.4  | 2500               | 6    | 1.99           |                                 |               |                          |
|            |        | 249.2  | 2500               | 4    | 1.33           |                                 |               |                          |
|            | 28     | 240.7  | 2500               | 5    | 1.66           | 1.33                            | 0.58          | Istimewa                 |
|            |        | 231.7  | 2500               | 2    | 0.66           |                                 |               |                          |
|            |        | 233.6  | 2500               | 5    | 1.66           |                                 |               |                          |
|            | 56     | 267.8  | 2500               | 12   | 3.98           | 4.09                            | 0.51          | Istimewa                 |
|            |        | 254.2  | 2500               | 11   | 3.65           |                                 |               |                          |
|            |        | 264.8  | 2500               | 14   | 4.65           |                                 |               |                          |

**Lampiran 3**  
**[LOG BOOK/JADWAL PRAKTIKUM]**

**LOG BOOK PENELITIAN TUGAS AKHIR TERAPAN  
PROTOTYPE MORTAR GEOPOLIMER DENGAN PENGARUH KARAKTERISTIK  
AGREGAT HALUS TERHADAP WAKTU PENGERASAN**



| No | Hari,Tanggal     | Kegiatan   | Tempat   | Waktu       | Kendala & Solusi                            | Dokumentasi   |
|----|------------------|--|--|-------------|---|---|
| 1  | Rabu, 26-Des-18  | Pembelian pasir mojokerto<br><br>Pelaksana : Dania, Afry,<br>Fahmi Ula   | Desa Leminggir,<br>Kecamatan Mojosari,<br>Kabupaten<br>Mojokerto | 14.00-18.00 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> |  |
| 2  | Senin, 7-Jan-19  | Pembelian pasir bojonegoro<br><br>Pelaksana : Dania, Kohar,<br>Fica  | Desa Plesungan,<br>Kecamatan Kapas,<br>Kabupaten<br>Bojonegoro   | 10:00-18:00 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> |  |
| 3  | Selasa, 8-Jan-19 | 1. Pengujian berat jenis pasir<br>mojokerto & bojonegoro<br>2. Pengujian kelembaban<br>& kadar lumpur pasir<br>mojokerto<br>3. Pengujian kadar air pasir<br>mojokerto & bojonegoro<br>Pelaksana : Dania, Jihad,<br>Honest, Ferdi, Yosi | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar                                  | 10:00-11:30 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> |  |




| No | Hari, Tanggal    | Kegiatan  | Tempat   | Waktu       | Kendala & Solusi                            | Dokumentasi   |
|----|------------------|---|--|-------------|---|---|
| 4  | Rabu, 9-Jan-19   | 1. Pengujian kelembaban pasir bojonogoro<br>2. Pengujian kadar lumpur pasir bojonogoro<br><br>Pelaksana : Dania   | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar                              | 10:00-10:30 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> - |  |
| 5  | Sabtu, 12-Jan-19 | Pembelian pasir Lumajang<br><br>Pelaksana : Dania, Hakiim   | Desa Jugosari,<br>Kecamatan Candipuro,<br>Kabupaten Lumajang | 07:00-18:00 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> - |  |
| 6  | Senin, 14-Jan-19 | 1. Pengujian berat jenis pasir lumajang<br>2. Pengujian kelembaban pasir lumajang<br>3. Pengujian kadar air pasir lumajang<br>4. Pengujian kadar lumpur pasir lumajang<br><br>Pelaksana : Dania, Mila | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar                              | 10:00-11:00 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> - |  |





| No | Hari, Tanggal    | Kegiatan   | Tempat                          | Waktu       | Kendala & Solusi                            | Dokumentasi  |
|----|------------------|--|---------------------------------|-------------|---|--|
| 7  | Senin, 18-03-19  | Grinding semen geopolimer<br>8 molar, 12 molar, 14 molar<br><br>Pelaksana : Dania, Ferdi,<br>Helmy, Bintang, Bilal             | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 15.00-17.00 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> - |   |
| 8  | Selasa, 19-03-19 | Mixing mortar geopolimer<br>umur 56 hari (metode curing<br>ambivient)<br><br>Pelaksana : Dania                                 | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-11:00 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> - |   |
| 9  | Rabu, 20-03-19   | 1. Melepas cetakan untuk<br>benda uji 56 hari<br><br>2. Uji vicat pasta geopolimer<br>variasi 8 molar<br><br>Pelaksana : Dania | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-16:00 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> - | <br> |





| No | Hari, Tanggal   | Kegiatan  | Tempat                          | Waktu       | Kendala & Solusi                            | Dokumentasi   |
|----|-----------------|---|---------------------------------|-------------|---|---|
| 10 | Kamis, 21-03-19 | Mixing mortar geopolimer umur 28 hari (metode curing ambivient)<br><br>Pelaksana : Dania                              | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-11:00 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> |  |
| 11 | Jumat, 22-03-19 | 1. Melepas cetakan untuk benda uji 28 hari<br>2. Uji vicat pasta geopolimer variasi 12 molar<br><br>Pelaksana : Dania | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-15:00 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> |  |
| 12 | Senin, 25-03-19 | Mixing mortar geopolimer umur 56 hari (metode curing oven)<br><br>Pelaksana : Dania                                   | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-11:00 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> |  |









| No | Hari, Tanggal    | Kegiatan  | Tempat  | Waktu                                | Kendala & Solusi  | Dokumentasi   |
|----|------------------|---|---|--------------------------------------|---|---|
| 13 | Selasa, 26-03-19 | <p>1. Melepas cetakan untuk benda uji 56 hari &amp; memasukkan kedalam oven selama 24 jam</p> <p>2. Mixing mortar geopolimer umur 28 hari (metode curing oven)</p> <p>Pelaksana : Dania</p> | <p>Lab Beton,<br/>Kampus ITS Manyar</p> <p>Lab Beton,<br/>Kampus ITS Manyar</p> | <p>08:00-9:00</p> <p>10:00-13:00</p> | <p><b>Kendala :</b><br/>Oven tidak bisa diatur suhunya<br/><b>Solusi : -</b><br/>suhu yang ada</p> <p><b>Kendala : -</b></p> <p><b>Solusi : -</b></p> |   |
| 14 | Rabu, 27-03-19   | <p>1. Melepas cetakan untuk benda uji 28 hari &amp; memasukkan kedalam oven selama 24 jam</p> <p>2. Mixing mortar geopolimer umur 7 hari (metode curing oven)</p> <p>Pelaksana : Dania</p>  | <p>Lab Beton,<br/>Kampus ITS Manyar</p>   | <p>08:00-13:00</p>                   | <p><b>Kendala : -</b><br/>Oven tidak bisa diatur suhunya<br/><b>Solusi : -</b><br/>Pengovenan mengikuti suhu yang ada</p>                             |   |

| No | Hari, Tanggal   | Kegiatan  | Tempat                          | Waktu       | Kendala & Solusi  | Dokumentasi   |
|----|-----------------|---|---------------------------------|-------------|---|---|
| 15 | Kamis, 28-03-19 | 1. Melepas cetakan untuk benda uji 7 hari & memasukkan kedalam oven selama 24 jam<br>2. Mixing mortar geopolimer umur 7 hari (metode curing ambivient)<br><br>Pelaksana : Dania | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-13:00 | <b>Kendala :</b> -<br>Oven tidak bisa diatur suhunya<br><b>Solusi :</b> -<br>Pengovenan mengikuti suhu yang ada |  |
| 16 | Jumat, 29-03-19 | 1. Melepas cetakan untuk benda uji 7 hari<br><br>2. Uji vicat pasta geopolimer variasi 14 molar<br><br>Pelaksana : Dania  | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-15:00 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> -   |  |
| 17 | Senin, 01-04-19 | 1. Uji setting time mortar geopolimer variasi PL-8M<br><br>Pelaksana : Dania  | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 09:00-15:00 | <b>Kendala :</b> -<br><br><b>Solusi :</b> -   |  |

| No | Hari, Tanggal    | Kegiatan  | Tempat                          | Waktu       | Kendala & Solusi                                   | Dokumentasi   |
|----|------------------|---|---------------------------------|-------------|--|---|
| 18 | Selasa, 02-04-19 | <p>1. Uji setting time mortar geopolimer variasi PM-8M</p> <p>2. Uji setting time mortar geopolimer variasi PB-8M</p> <p>Pelaksana : Dania</p>  | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 09:00-15:00 | <p><b>Kendala : -</b></p> <p><b>Solusi : -</b></p> |    |
| 19 | Kamis, 04-04-19  | <p>1. Uji upv mortar geopolimer 7 hari untuk variasi curing oven dan curing ambivient</p> <p>2. Uji kuat tekan mortar geopolimer 7 hari untuk variasi curing oven dan curing ambivient</p> <p>Pelaksana : Dania</p> | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-12:00 | <p><b>Kendala : -</b></p>                          |   |
| 20 | Senin, 08-04-19  | <p>1. Uji setting time mortar geopolimer variasi PL-12M</p> <p>2. Uji setting time mortar geopolimer variasi PM-12M</p> <p>Pelaksana : Dania</p>  | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 09:00-15:00 | <p><b>Kendala : -</b></p> <p><b>Solusi : -</b></p> |    |

| No | Hari, Tanggal    | Kegiatan  | Tempat                          | Waktu       | Kendala & Solusi                                   | Dokumentasi   |
|----|------------------|---|---------------------------------|-------------|--|---|
| 21 | Selasa, 09-04-19 | <p>1. Uji setting time mortar geopolimer variasi PB-12M</p> <p>2. Uji setting time mortar geopolimer variasi PL-14M</p> <p>Pelaksana : Dania</p>                                      | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 09:00-15:00 | <p><b>Kendala : -</b></p> <p><b>Solusi : -</b></p> |    |
| 22 | Rabu, 10-04-19   | <p>1. Uji setting time mortar geopolimer variasi PM-14M</p> <p>2. Uji setting time mortar geopolimer variasi PB-14M</p> <p>Pelaksana : Dania</p>                                      | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 09:00-15:00 | <p><b>Kendala : -</b></p> <p><b>Solusi : -</b></p> |    |
| 23 | Kamis, 18-04-19  | <p>1. Uji upv mortar geopolimer 28 hari untuk variasi curing ambivient</p> <p>2. Uji kuat tekan mortar geopolimer 28 hari untuk variasi curing ambivient</p> <p>Pelaksana : Dania</p> | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-12:00 | <p><b>Kendala : -</b></p> <p><b>Solusi : -</b></p> |   |

| No | Hari, Tanggal    | Kegiatan   | Tempat                          | Waktu       | Kendala & Solusi                            | Dokumentasi  |
|----|------------------|--|---------------------------------|-------------|---|--|
| 24 | Senin, 22-04-19  | Mixing binder geopolimer variasi V1 (8 molar), V2 (12 molar), dan V3 (14 molar) untuk umur 28 hari<br><br>Pelaksana : Dania  | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-10:00 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> |   |
| 25 | Selasa, 23-04-19 | 1. Melepas cetakan untuk binder geopolimer<br><br>2. Uji upv mortar geopolimer 28 hari untuk variasi curing oven<br><br>3. Uji kuat tekan mortar geopolimer 28 hari untuk variasi curing oven<br><br>Pelaksana : Dania | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-13:00 | <b>Kendala : -</b><br><br><b>Solusi : -</b> | <br> |
| 26 | Selasa, 14-05-19 | 1. Uji upv mortar geopolimer 56 hari untuk variasi curing ambient<br>2. Uji kuat tekan mortar geopolimer 56 hari untuk variasi curing ambient<br><br>Pelaksana : Dania   | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-13:00 | <b>Kendala : -</b>                          |   |

| No | Hari, Tanggal   | Kegiatan  | Tempat                          | Waktu       | Kendala & Solusi                                   | Dokumentasi  |
|----|-----------------|---|---------------------------------|-------------|--|--|
| 27 | Senin, 20-05-19 | <p>1. Uji upv mortar geopolimer 56 hari untuk variasi curing oven</p> <p>2. Uji kuat tekan mortar geopolimer 56 hari untuk variasi curing oven</p> <p>3. Uji kuat tekan pasta semen geopolimer 28 hari</p> <p>Pelaksana : Dania</p> | Lab Beton,<br>Kampus ITS Manyar | 08:00-13:00 | <p><b>Kendala : -</b></p> <p><b>Solusi : -</b></p> | <br> |