

SKRIPSI

**PENGARUH KADAR AKTIVATOR (NAOH) TERHADAP SIFAT
MEKANIS MORTAR RINGAN GEOPOLIMER**

OLEH:

**Devina Puspa Hastira
0723 1911 104**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KHAIRUN
2024**

PENGARUH KADAR AKTIVATOR (NAOH) TERHADAP SIFAT MEKANIS MORTAR RINGAN GEOPOLIMER

Oleh:

Nama: Devina Puspa Hastira

Npm: 07231911104

Program studi: Teknik sipil

Pembimbing I: Prof. Dr. Ir. Mufti Amir Sultan, S.T., M.T.,
IPM

Pembimbing II: Dr. Ir. Kusnadi, S.T.,M.T

Diajukan guna melengkapi syarat
Dalam mencapai gelar sarjana (S-1)



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KHAIRUN
TERNATE
2024**

SKRIPSI
PENGARUH KADAR AKTIVATOR (NAOH) TERDAHAP SIFAT MEKANIS
MORTAR RINGAN GEOPOLIMER

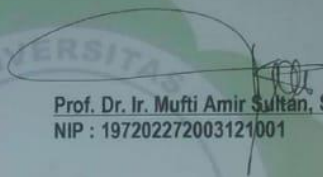
Oleh
DEVINA PUSPA HASTIRA
0723 1911 104
Telah Dipertahankan Didepan Penguji
Pada Tanggal 23 Januari 2024

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Kusnadi, S.T., M.T.
NIP : 197705062006041003

Pembimbing Pendamping



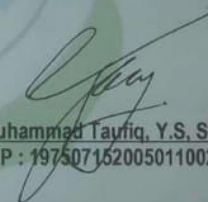
Prof. Dr. Ir. Mufti Amir Sultan, ST., MT., IPM
NIP : 197202272003121001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Khairun



Endah Harisun, ST., MT
NIP : 197511302005011013

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Khairun



Muhammad Tauriq, Y.S., ST., MT
NIP : 197507152005011002

SKRIPSI
PENGARUH KADAR AKTIVATOR (NAOH) TERDAHAP SIFAT MEKANIS
MORTAR RINGAN GEOPOLIMER

Disusun Oleh :

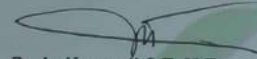
DEVINA PUSPA HASTIRA

0723 1911 104

Telah Dipertahankan Didepan Penguji

Pada Tanggal 23 Januari 2024

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Kusnadi, S.T., M.T
NIP : 197705062006041003

Ketua Penguji



Dr. Ir. Arbain Tata, S.T., M.T., IPM
NIP : 197712092003121002

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Ir. Mufti Amir Sultan, ST., MT., IPM
NIP : 197202272002121001

Anggota Penguji



Ir. Imran, ST., M Eng
NIP : 197904012005011003

Anggota Penguji



Sary Shandy, S.T., M.T
NIP: 198709272020122013

Mengetahui
Koordinator Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Taufiq Yuda Saputra, S.T., M.T
NIP : 197507152005011002

LEMBARAN PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Devina Puspa Hastira
NPM : 0723 1911 104
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Kadar Aktivator (NaOH) Terhadap Sifat Mekanis Mortar Ringan Geopolimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan skripsi ini merupakan hasil penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan dan menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku di Universitas Khairun.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan.

Ternate, 23 Januari 2024

Penulis

Devina Puspa Hastira

v

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji serta syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga dengan keterbatasan dan kemampuan yang ada, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“PENGARUH KADAR AKTIVATOR (NAOH) TERHADAP SIFAT MEKANIS MORTAR RINGAN GEOPOLIMER”**. Adapun proposal ini diajukan untuk melengkapi persyaratan akademik guna memperoleh gelar sarjana Strata (S1) pada program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Khairun.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini melalui proses yang panjang mulai dari bangku kuliah, penelitian hingga penyusunan sampai terbentuk seperti sekarang ini. Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan karena banyak pihak yang turut serta membantu, membimbing, memberi petunjuk, saran, dan motivasi. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan rasa terimakasih sedalam-dalamnya, terutama kepada yang terhormat:

1. Rektor Universitas Khairun Ternate, bapak Dr.Ridha Adjam, M. Hum
2. Dekan Fakultas Teknik Bapak Endah Harisun, S.T., M.T. beserta jajaran pimpinan.
3. Bapak Muhammad Taufiq Yuda Saputra, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Sipil.

4. Bapak Dr. Ir. Kusnadi, S.T., M.T selaku pembimbing utama dan Bapak Prof. Dr. Ir. Mufti Amir Sultan, S.T., M.T., IPM selaku pembimbing pendamping yang telah membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini
5. Para dosen penguji, Dr. Ir. Arbain Tata, S.T., M.T. selaku ketua penguji, Ir. Imran, S.T., M.T selaku anggota penguji dan Ibu Sary Shandy, S.T., M.T. selaku anggota penguji. Yang telah bersedia meluangkan waktu untuk hadir sebagai penguji pada sidang skripsi ini. Terima kasih atas masukan dan saran untuk perbaikan skripsi ini
6. Seluruh dosen dan staf Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan pengalaman selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan berguna agar penulisan selanjutnya dapat menghasilkan karya yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya. Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Ternate, 23 Januari 2024

Penulis

Devina Puspa Hastira

ABSTRAK

DEVINA PUSPA HASTIRA

PENGARUH KADAR AKTIVATOR (NAOH) TERHADAP SIFAT MEKANIS MORTAR RINGAN GEOPOLIMER

Kata Kunci: Aktivator, Mortar Ringan Geopolimer, Sifat Mekanis

Mortar ringan menjadi salah satu alternatif untuk pengembangan inovasi material ringan sebagai bentuk pencegahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa. produksi semen menjadi penyumbang terbesar pemanasan global yaitu 1 ton residu CO₂ per 1 ton produksi OPC. Sehingga diperlukan inovasi material ramah lingkungan dalam bidang rekayasa bahan yaitu menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengikat pengganti semen sekaligus sebagai pemanfaatan limbah. Konsentrasi alkali aktivator sangat berpengaruh pada hasil kekuatan mortar. oleh Karena itu, perlu diadakan penelitian untuk mengetahui karakteristik mortar geopolimer dengan variasi aktivator tertentu sehingga diperoleh informasi tentang campuran yang optimum dan dapat diketahui nilai kuat tekan dan porositas mortar ringan geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek variasi kadar aktivator (NaOH) pada campuran mortar ringan geopolimer dengan variasi konsentrasi 7 M, 8M, 9M, dan 10M terhadap kuat tekan dan porositas mortar ringan geopolimer. Jumlah benda uji kubus 5 x 5 x 5 cm³ sebanyak 48 buah untuk pengujian kuat tekan dan porositas. Pengujian menggunakan *Testing Machine* dan timbangan dengan keranjang kawat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar molaritas NaOH semakin besar pula nilai kuat tekan. Pada mortar ringan geopolimer 7 molaritas kuat tekan rata sebesar 0.4 MPa, sedangkan pada 8 molaritas nilai kuat tekan sebesar 0.87 MPa, pada 9 molaritas sebesar 1.70 MPa, pada 10 molaritas sebesar 2.27 MPa. Sehingga didapati kuat tekan tertinggi ada pada penggunaan NaOH sebesar 10 molaritas. Sebaliknya semakin tinggi molaritas akan menurunkan nilai porositas. Pada mortar ringan geopolimer 7 molaritas kuat tekan rata sebesar 35.225%, sedangkan pada 8 molaritas nilai kuat tekan sebesar 28.025% , pada 9 molaritas sebesar 26.269%, pada 10 molaritas sebesar 26.172%. Sehingga didapati nilai porositas tertinggi ada pada penggunaan NaOH sebesar 7 molaritas

ABSTRACT

DEVINA PUSPA HASTIRA

EFFECT OF ACTIVATOR CONTENT (NAOH) ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHT GEOPOLYMER MORTAR

Keywords: Activator, Geopolymer Light Mortar, Mechanical Properties

Lightweight mortar is an alternative for developing lightweight material innovations as a form of prevention against damage caused by earthquakes. Cement production is the biggest contributor to global warming, namely 1 ton of CO₂ residue per 1 ton of OPC production. Therefore, environmentally friendly material innovation is needed in the field of materials engineering, namely using fly ash as a binder to replace cement as well as using waste. The concentration of alkali activator greatly influences the strength of the mortar. Therefore, it is necessary to conduct research to determine the characteristics of geopolymer mortar with certain variations of activator so that information about the optimum mixture can be obtained and the compressive strength and porosity values of lightweight geopolymer mortar can be known. This research aims to determine the effect of varying levels of activator (NaOH) in a mixture of light geopolymer mortar with varying concentrations of 7 M, 8M, 9M, and 10M on the compressive strength and porosity of light geopolymer mortar. The number of 5 x 5 x 5 cm³ cube test objects was 48 for testing compressive strength and porosity. Testing uses a Testing Machine and scales with wire baskets. The research results show that the greater the molarity of NaOH, the greater the compressive strength value. In light geopolymer mortar with 7 molarity the average compressive strength is 0.4 MPa, while at 8 molarity the compressive strength value is 0.87 MPa, at 9 molarity it is 1.70 MPa, at 10 molarity it is 2.27 MPa. So it was found that the highest compressive strength was when using NaOH of 10 molarity. On the other hand, the higher the molarity will reduce the porosity value. In light geopolymer mortar with 7 molarity the average compressive strength is 35.225%, while at 8 molarity the compressive strength value is 28.025%, at 9 molarity it is 26.269%, at 10 molarity it is 26.172%. So it was found that the highest porosity value was when NaOH was used at 7 molarity.

DAFTAR ISI

halaman

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman PeKATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I 1	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian.....	4
1.6 Sistematika penulisan	4
BAB II 5	
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Geopolimer	5
2.2 Mortar	6
2.2.1 Definisi Mortar.....	6
2.2.2 Spesifikasi Mortar	7
2.2.3 Spesifikasi Proporsi dan Spesifikasi Sifat Mortar	8
2.3 Pasir Batu Apung	11
2.4 Fly Ash.....	13
2.5 Alkali Aktivator	16
2.6 Pemeriksaan agregat halus.....	16
2.8.1 Analisa saringan	17

2.8.2	Berat jenis	18
2.8.3	Berat volume	20
2.8.4	Kadar air	20
2.8.5	Kadar lumpur	21
2.7	Desain Campuran Geopolimer	22
2.8	Pengujian benda uji	23
2.8.1	Kuat tekan	23
2.8.2	Porositas	25
BAB III 28		
METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1	Umum	28
3.1.1	Studi literatur	29
3.1.2	Persiapan bahan dan alat	29
3.1.3	Uji properties dan pembuatan larutan NaOH	29
3.1.4	Perencanaan campuran	30
3.1.5	Pembuatan benda uji	30
3.1.6	Perawatan benda uji	30
3.1.7	Pengujian	30
3.1.8	Pembahasan dan analisis data	30
3.1.9	Kesimpulan dan saran	30
3.2	Waktu dan lokasi	31
3.3	Benda uji	31
3.4	Persiapan Material	32
3.4.1	<i>Fly Ash</i>	32
3.4.2	Pasir batu apung	33
3.4.3	Alkali Aktivator	34
3.5	Persiapan alat	36
3.6	Pembuatan benda uji	39
3.6.1	Bagan alir pembuatan benda uji	39
3.6.2	Desain binder geopolimer	39
3.6.3	Rancangan campuran mortar geopolimer	41
3.6.4	Metode pencampuran mortar geopolimer	43

3.7	Perawatan benda uji	44
3.8	Analisa data	45
3.8.1	Analisa kuat tekan.....	45
3.8.2	Analisa porositas.....	45
BAB IV 47		
HASIL DAN PEMBAHASAN		47
4.1	Umum	47
4.2	Hasil Analisa Material.....	47
4.2.1	Pasir Batu Apung	47
4.2.2	Fly Ash.....	49
5.3	Pengujian Mortar Geopolimer	50
4.3.1	Perhitungan Rencana Adukan Beton	50
4.3.2	Proporsi Campuran	50
4.3.3	Kuat Tekan Mortar Geopolimer	51
4.3.4	Porositas Mortar Geopolimer	56
4.3.5	Hubungan Antara Kuat Tekan Dengan Porositas	61
BAB V 64		
KESIMPULAN DAN SARAN		64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....		66
LAMPIRAN		67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Persyaratan Proporsi	8
Tabel 2.2. Persyaratan Spesifikasi Sifat.....	9
Tabel 2.3. Komposisi Kimia Pasir Batu Apung	12
Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji.....	32
Tabel 3. 2 Perhitungan Komposisi Binder	41
Tabel 3. 3 Komposisi Mortar Per Kubus.....	43
Tabel 4. 1 Spesifikasi Agregat Pasir Batu Apung.....	47
Tabel 4. 2 Karakteristik <i>Fly ash</i>	49
Tabel 4. 3 Proporsi Campuran Mortar.....	51
Tabel 4. 4 Hasil Kuat Tekan MG-7 molaritas.....	52
Tabel 4. 5 Hasil Kuat Tekan MG-8 molaritas.....	52
Tabel 4. 6 Hasil Kuat tekan MG-9 molaritas	53
Tabel 4. 7 Hasil Kuat tekan MG-10 molaritas.....	54
Tabel 4. 8 Nilai porositas MG-7 molaritas	57
Tabel 4. 9 Nilai porositas MG-8 molaritas	58
Tabel 4. 10 Nilai Porositas MG-9 molaritas	59
Tabel 4. 11 Nilai porositas MG-10.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penggolongan Polisialate	6
Gambar3. 1 Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	31
Gambar 3.3 Sketsa Benda Uji.....	31
Gambar 3.4 PLTU Tidore.....	33
Gambar 3.5 Lokasi PLTU	33
Gambar 3.6 <i>Fly Ash</i>	33
Gambar 3. 7 Natrium Hidroksida.....	34
Gambar 3. 8 Larutan Natrium Silikat.....	36
Gambar 3. 9 Oven	37
Gambar 3. 10 Timbangan	37
Gambar 3. 11 Saringan Gradasi	37
Gambar 3. 12 Mixer/Mesin Pengaduk.....	38
Gambar 3. 13 Bekisting Mortar	38
Gambar 3. 14 Mesin Kuat Tekan	38
Gambar 3. 15 Bagan Alir Pembuatan Benda Uji	39
Gambar 3. 16 Uraian Komposisi	42
Gambar 4. 1 Pasir Batu Apung	49
Gambar 4. 2 <i>Fly Ash PLTU kota Tidore</i>	50
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan nilai kuat tekan	55
Gambar 4. 4 Grafik nilai rata-rata kuat tekan mortar ringan geopolimer	56
Gambar 4. 5 Grafik nilai porositas rata-rata	61

Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara kuat tekan dan porositas	62
---	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah negara dengan zona rawan gempa, khususnya provinsi Maluku Utara, yang mana berdasarkan SNI-1726-2012 menempatkan Maluku Utara sebagai daerah dengan zona gempa tinggi. Dengan pemakaian material yang ringan maka akan terjadi pengurangan pada berat sendiri struktur sehingga beban akan mengecil pada saat terjadi gempa.

Penggunaan mortar ringan menjadi salah satu alternatif untuk pengembangan inovasi material ringan. Salah satu cara untuk mendapatkan mortar ringan adalah dengan menggunakan pasir batu apung. Penggunaan material ini dapat mengurangi berat sendiri struktur.

Fly ash (abu terbang) adalah salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Limbah ini berdampak pada masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan, dan penurunan kualitas ekosistem

Disamping itu penggunaan semen dianggap mengandung bahan tak ramah lingkungan sehingga hasil emisi gas rumah kaca menjadi penyumbang terbesar pemanasan global. yaitu 1 ton residu CO₂ per 1 ton produksi OPC Sehingga diperlukan inovasi material ramah lingkungan dalam bidang rekayasa bahan yaitu menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengikat pengganti semen sekaligus sebagai pemanfaatan limbah.

Saat ini banyak dilakukan mengenai inovasi bahan dalam pembuatan mortar salah satunya adalah mortar geopolimer yang dapat mengurangi penggunaan semen dan limbah

industri agar terbentuknya daerah yang lebih ramah lingkungan. Karena pada dasarnya pembuatan mortar geopolimer dapat menggunakan material bekas limbah industri atau menggunakan material alami, yaitu material yang memiliki kandungan utama silika (SiO_2) dan aluminium (Al_2O_3) seperti kaolin maupun limbah buangan dari industri terbang, *fly ash*, abu sekam padi (*rice husk ash*), *silica fume*, ampas biji besi (*blast furnace slag*) dan lain-lain. Bahan tersebut selanjutnya ditambah air dan bahan kimia lain yang dapat mengikat, yaitu natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) (Riyanto, Widyanto, & Renaldy, 2021)

Sifat-sifat mortar geopolimer dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan dosis aktivator, modulus aktivator, suhu perawatan, lama waktu perendaman kadar air dalam larutan. Komposisi aktivator dalam jumlah yang tepat menjadi salah satu parameter untuk menghasilkan beton geopolimer yang bermutu (Hardjito, 2005 dalam Aspari, 2017).

Konsentrasi alkali aktivator sangat berpengaruh pada hasil kekuatan mortar. Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian untuk mengetahui karakteristik mortar geopolimer dengan variasi aktivator tertentu sehingga diperoleh informasi tentang campuran yang optimum dan dapat diketahui nilai kuat tekan dan porositas mortar ringan geopolimer. Dengan dasar inilah penulis ingin melakukan sebuah penelitian tentang: **“Pengaruh kadar aktivator (NaOH) terhadap sifat mekanis mortar ringan geopolimer”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi kadar aktivator (NaOH) terhadap kuat tekan mortar ringan geopolimer.

2. Bagaimana variasi kadar aktivator (NaOH) terhadap porositas mortar ringan geopolimer

1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Khairun
2. Abu terbang (*fly ash*) berasal dari PLTU Kota Tidore Kepulauan
3. Variasi alkali dan aktivator yang digunakan adalah 1:1
4. Konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 7 M, 8 M, 9 M, dan 10 M
5. Agregat halus menggunakan pasir batu apung yang berasal dari Kelurahan Dowora Kota Tidore
6. Ukuran agregat halus yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan No.4 (4,75 mm)
7. Ukuran butiran *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* yang lolos saringan No.50 (0,3 mm)

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mempelajari sifat mekanis mortar dengan penambahan variasi NaOH.

Tujuan dari penelitian variasi NaOH terhadap sifat mekanis mortar geopolimer sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui variasi kadar aktivator (NaOH) terhadap kuat tekan mortar ringan geopolimer
- 2) Untuk mengetahui variasi kadar aktivator (NaOH) terhadap porositas mortar ringan geopolimer

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan menghasilkan pengetahuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan variasi kadar aktivator (NaOH) terhadap kuat tekan mortar ringan geopolimer
2. Mendapatkan variasi kadar aktivator (NaOH) terhadap porositas mortar ringan geopolimer

1.6 Sistematika penulisan

Dalam penulisan laporan ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Dalam BAB ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Dalam BAB ini Menjelaskan tentang acuan atau landasan reori yang menjadi dasar Analisa dan evaluasi dala penelitian.

BAB III Metodologi

Dalam BAB ini menjelaskan tentang metodologi atau mengumpulkan data-data yang digunakan untuk analisa dan evaluasi dalam penelitian ini.

BAB IV Kesimpulan dan Saran

Dalam BAB ini berisi tentang rangkuman serta saran daripada runtutan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geopolimer

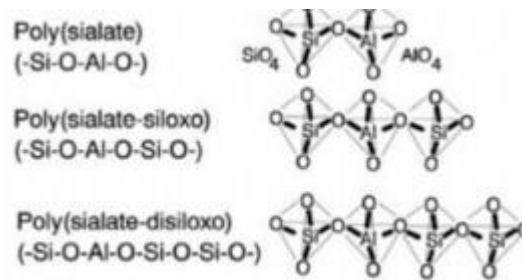
Geopolimer adalah bahan anorganik yang kaya akan silikon (Si) dan Aluminium (Al) yang bereaksi dengan alkali material bersifat *cementitious*. Beton geopolimer adalah beton yang dibuat tanpa semen namun digantikan dengan bahan sumber silika (Si) dan aluminium (Al) dengan alkali atau *binder* (Louise K. Turner, 2013).

Proses pembentukan beton geopolimer disebut dengan polimerisasi kondensasi, yaitu reaksi gugus fungsi banyak (molekul yang mengandung dua gugus fungsi atau lebih yang dapat bereaksi) yang menghasilkan satu molekul besar bergugus fungsi banyak pula dan diikuti oleh pelepasan molekul kecil (Davidovits, 2011 dalam Rachmalia, 2018).

Reaksi polimerisasi melibatkan reaksi kimia antara spesies terlarut dari silikat dan aluminium dengan aktivator yang bersifat sangat alkali, menghasilkan salah bentuk dari poli (*sialate*) Si-O-Al-O, poli (*sialate-siloxo*)-Si-O-Al-O-Si-O-, dan poli (*sialate-disiloxo*)-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O- (Reddy, M. Srinivasula, 2016 dalam Rachmalia, 2018)

Istilah geopolimer diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1976 yang mengacu pada rantai 3D polisilat. Proses polimerisasi yang terjadi pada geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi pada geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkali dengan mineral Si-Al yang konsisten (Davidovits, 1994 dalam Rachmalia, 2018)

Davidovits (1994) menyarankan penggunaan istilah "*poli (sialate)*" sebagai nama kimia geopolimer yang berbahan dasar silico-aluminate. Davidovits (1998) menggolongkan polisialate menjadi 3 jenis tipe yaitu *poly (sialate)* tipe (-Si-O-Al-O), *poly (sialate-siloxo)* tipe (-Si-O-Al-O-Si-O) dan *Poly (sialate-disiloxo)* tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O).



Gambar 2. 1 Penggolongan Polisialate

(sumber: Rachmalia,2018)

Tidak seperti reaksi hidrasi yang biasanya terjadi pada semen pozzolan, geopolimer tidak membentuk *calcium* silicate-hydrate (CSHs) untuk membentuk matrik kekuatan, tetapi menggunakan polikondensasi dari silika dan alumina sebagai proses kimia dengan menggunakan kandungan alkali yang tinggi untuk bias mencapai kekuatan struktur. Oleh karena itu geopolimer dapat dikatakan sebagai binder alkali (pengikat) yang diaktifkan dengan *alumino silicate* (Davidovits, 2008 dalam rachmalia 2018) Van Deventer, dkk (2010) dalam Rachmalia,2018 mengklasifikasikan definisi bahan alkali aktif, polimer anorganik dan geopolimer berdasarkan sumber bahan, alkali aktivator dan hasil akhir. Sumber bahan berasal dari abu terbang dengan kalsium rendah dan tanah liat dikalsinasi dengan alkali aktivator dari logam alkali hidroksida atau silikat. Polimer anorganik merupakan bagian dari bahan alkali aktif yang mempunyai jaringan silikat tidak teratur sebagai produk akhir. Alkali yang diaktifkan menghasilkan *calcium silicate-hydrate* (CSHs)

2.2 Mortar

2.2.1 Definisi Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen Portland) dan air dengan komposisi tertentu. Mortar biasa dipakai untuk perekat antar bata merah,

perekat antar bata beton pada pembuatan dinding tembok, perekat antar batu pada pasangan batu, pembuatan bata beton, genteng beton, buis beton dan sebagainya.

Adapun macam mortar adalah :

1. Mortar lumpur (mud mortar) yaitu Mortar dengan bahan perekat tanah.
2. Mortar kapur yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
3. Mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Agregat halus (pasir) merupakan butir-butir partikel yang diikat oleh pasta semen dalam mortar harus dapat terlapisi dengan sempurna agar mempunyai kohesi dan adhesi. Susunan gradasi yang seragam akan membuat banyaknya rongga udara dalam mortar sehingga dibutuhkan semen yang lebih banyak daripada gradasi yang tidak seragam. Hal ini berpengaruh pada kepadatan mortar dan daya lekat yang berkurang. Gradasi pasir yang baik (*well graded sand*) berisi butir-butir pasir yang bervariasi ukurannya, karena dapat mengurangi rongga udara, dan kebutuhan semen dan air. Sedikit campuran semen dan air akan mengurangi susut, dan susut yang kecil cenderung untuk mengurangi retak pada mortar.

2.2.2 Spesifikasi Mortar

Dalam SNI 03-6882-2002 dan ASTM C 270, mortar diklasifikasikan menjadi 4 tipe berdasarkan proporsi bahan (*proportion specifications*) dan sifat mortar (*property specifications*), yaitu : M, S, N, dan O, yang masing-masing tipe terdiri atas agregat halus (pasir), air, dan semen.

2.2.3 Spesifikasi Proporsi dan Spesifikasi Sifat Mortar

Spesifikasi mortar menurut proporsi bahan didasarkan pada volume pencampuran dari material penyusunnya harus memenuhi persyaratan proporsi mortar yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Persyaratan Proporsi

Mortar	Tipe	Campuran dalam volume (Bahan bersifat semen)				Rasio Agregat (pengukuran Kondisi lembab dan Gembur)
		Semen Portland	Semen Pasangan			
			M	S	N	
Semen Pasangan	M	1			1	2,25 - 3 kali jumlah volume bersifat semen
	M	...	1			
	S	...			1	
	S	1/2		1		
	N	...			1	
	O	...			1	

Tipe – tipe mortar adalah sebagai berikut :

1. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan 17,2 MPa menurut Tabel 2.2, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel 2.1.
2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 MPa menurut Tabel 2.2, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe S atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel 2.1.
3. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan 5,2 MPa menurut Tabel 2.2, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut **Tabel 2.1**

4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 MPa menurut Tabel 2.2, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel 2.1.

Keterangan Semen Pasangan:

1. Semen Pasangan tipe N adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe N menurut Tabel 2.1 tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam, dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar tipe S atau tipe M bila semen portland ditambahkan dengan komposisi menurut Tabel 2.1.
2. Semen pasangan tipe S adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe S tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam, dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar tipe S atau tipe M bila semen portland ditambahkan dengan komposisi menurut Tabel 2.1.
3. Semen pasangan tipe M adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe M tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam. Sedangkan persyaratan spesifikasi sifat mortar dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.2. Persyaratan Spesifikasi Sifat

Mortar	Tipe	Kekuatan rata-rata 28 hari min.(MPa)	Retensi air min (%)	Kadar Udara Max(%)	Rasio Agregat (Pengukuran kondisi lembab dan gembur)
Semen Pasangan	M	17,2	75	b)	2,25 - 3,5 kali jumlah volume bersifat semen
	S	12,4	75	b)	
	N	5,2	75	b)	
	O	2,4	75	b)	

Keterangan:

- a. Hanya untuk mortar yang dipersiapkan di laboratorium.
- b. Bila terdapat tulangan struktur dalam mortar semen pasangan maka kadar udara maksimum harus 18%.

Spesifikasi sifat mortar harus memenuhi ketentuan persyaratan bahan dan pengujian terhadap mortar yang telah disiapkan di laboratorium, dimana bahan tersebut terdiri dari suatu campuran bahan pengikat bersifat semen, agregat dan air yang telah memenuhi persyaratan mortar sesuai metode pengujian yang telah dikeluarkan oleh SNI 03-6882-2002.

1. Kecuali untuk jumlah pencampurnya, proporsi campuran yang disiapkan di laboratorium dan memenuhi ketentuan spesifikasi ini, tidak boleh diubah, bahan- bahan yang sifat fisiknya berbeda tidak boleh dipakai tanpa melakukan pengujian ulang dan memenuhi persyaratan sifat – sifat mortar.
2. Sifat – sifat mortar yang diisyaratkan dalam Tabel 2.2 adalah untuk mortar yang disiapkan di laboratorium dengan jumlah penyampur yang memberikan kelecakan (*Flow*) (110 ± 5) . Jumlah air ini tidak cukup untuk menghasilkan mortar dengan kelecakan yang sesuai untuk pekerjaan pasangan di lapangan. Mortar yang akan digunakan di lapangan harus di campur lagi dengan maksimum jumlah air yang sesuai dengan kemudahan pengerjaan nya, sehingga cukup untuk memenuhi persyaratan awal dari bahan/komponen konstruksi pasangan.
3. Sifat – sifat mortar yang disiapkan di laboratorium dengan (110 ± 5) % sebagaimana diisyaratkan dalam spesifikasi ini dimaksudkan untuk

memperkirakan besarnya kelecakan dan sifat – sifat dari mortar yang disiapkan untuk pekerjaan dilapangan setelah digunakan agar supaya penyerapan air dari komponen konstruksi pasangan terpenuhi.

4. Sifat – sifat mortar yang disiapkan dilapangan dengan jumlah air lebih banyak, sebelum digunakan pada pekerjaan konstruksi pasangan, akan berbeda dengan persyaratan sifat-sifat seperti dalam Tabel 2.2. Dengan demikian persyaratan dalam Tabel 2.2 tidak bisa dipakai sebagai persyaratan untuk pengawasan mutu mortar dilapangan. Untuk tujuan ini, dapat dipakai metode pengujian ASTM C 780.

2.3 Pasir Batu Apung

Pasir batu apung berasal dari batu apung (*pumice*) dengan gradasi yang lebih kecil. Batu apung (*pumice*) adalah batuan alam yang merupakan hasil dari aktivitas gunung api efusif yang mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat kemudian dilanjutkan proses pendinginan secara alami dan terendapkan di dalam lapisan tanah selama bertahun-tahun (muljadi,2008).

Pumice terjadi bila magma asam muncul ke permukaan dan bersentuhan dengan udara luas secara tiba-tiba. Buih gelas alam dengan gas yang terkandung di dalamnya mempunyai kesempatan untuk keluar dan magma membeku dengan tiba-tiba. *Pumice* umumnya terdapat sebagai fragmen yang terlemparkan pada saat gunung api dengan ukuran dari kerikil sampai bongkah. *Pumice* umumnya terdapat sebagai lelehan atau aliran permukaan, bahan lepas, atau fragmen dalam breksi gunung api. Batu apung dapat pula dibuat dengan cara memanaskan obsidian, sehingga gasnya keluar. Pemanasan yang

dilakukan pada obsidian dari gunung, suhu yang diperlukan untuk mengubah obsidian menjadi batu apung rata-rata 880°C . Berat jenis obsidian yang semula 2,36 turun menjadi 0,416 sesudah perlakuan tersebut oleh sebab itu mengapung didalam air. Batu apung ini mempunyai sifat hydraulis. *Pumice* berwarna putih abu-abu, kekuningan sampai merah, tekstur vesikuler dengan ukuran lubang yang bervariasi baik berhubungan satu sama lain atau tidak struktur skorious dengan lubang yang terorientasi. Kadang-kadang lubang tersebut terisi oleh zeolit atau kalsit. Batuan ini tahan terhadap pembekuan embun (*frost*), tidak begitu higroskopis (mengisap air). Mempunyai sifat pengantar panas yang rendah. Kekuatan tekan antara $30\text{--}20\text{ kg/cm}^2$. Komposisi utama mineral silikat amorf.

Sifat-sifat kimia batu apung adalah sebagai berikut:

- a. Komposisi kimianya:

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Pasir Batu Apung

SiO ₂	: 60,00 – 75,00%
Al ₂ O ₃	: 12,00 – 15,00%
Fe ₂ O ₃	: 0,90 – 4,00%
Na ₂ O	: 2,00 – 5,00%
K ₂ O	: 2,00 – 4,00%
MgO	: 1,00 – 2,00%
CaO	: 1,00 - 2,00%
Unsur lainnya	: TiO ₂ , SO ₃ , dan Cl.

- b. Hilang pijar (LOI atau *loss of ignition*) : 6%
- c. pH : 5
- d. Berwarna terang

e. Mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas.

f. Sifat fisika:

- Bobot isi ruah : $480 - 960 \text{ kg/cm}^3$
- Peresapan air : 16,67%
- Gravitasi spesifik : $0,8 \text{ gr/cm}^3$
- Hantaran suara : rendah
- Rasio kuat tekan terhadap beban : Tinggi
- Konduktivitas panas : rendah
- Ketahanan terhadap api : s.d 6 jam

2.4 Fly Ash

Di Indonesia, *fly ash* didapatkan dari limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bndar, dan bersifat pozolanik (SNI 03-6415, 2002).

Fly ash kaya silika dan alumina yang merupakan sumber utama dari proses geopolimerisasi dan agar *fly ash* dapat digunakan sebagai pengikat maka diperlukan alkali. Keuntungan dari penggunaan *fly ash* adalah material ini tersedia dalam jumlah yang banyak (Bakri, dkk, 2012).

Karakteristik fisik *fly ash* tergantung dari kerapatan, kehalusan, area permukaan, dan distribusi partikel untuk mengidentifikasi reaktivitas *fly ash* dengan semen sedangkan karakteristik kimia *fly ash* tergantung dari komposisi kimia, jenis mineral, dan fasa amorf di dalam *fly ash* (Ekaputri, dkk, 2013). Sifat fisik *fly ash* berbeda dari segi penampilan dan ukuran partikel. Beberapa partikel memiliki kerapatan rendah (berongga) kurang dari 1000 kg/m^3 , sedangkan partikel lain mungkin memiliki kepadatan lebih dari 2600 kg/m^3 . Partikel

fly ash berbentuk butiran dan lebih halus dari semen Portland dengan ukuran 1 μm sampai tidak lebih dari 150 μm (Hardjito dan Rangan, 2005).

Suatu hasil pencapaian yang penting dalam perkembangan *fly ash* untuk pembuatan beton adalah pemakaian *fly ash* hingga 60% dalam menggantikan penggunaan semen dalam beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemakaian *fly ash* dalam beton dapat membuat beton lebih tahan lama dibandingkan dengan beton yang hanya menggunakan PC (Malhotra et al. 2002).

Fly ash adalah produk yang lebih murah daripada semen portland. *Fly ash* juga dikenal meningkatkan *workability* dan mengurangi suhu internal. Peningkatan kemampuan kerja adalah hasil dari “*ball bearing*” aksi bola partikel *fly ash*. *fly ash* meningkatkan gradasi dalam campuran dengan merapikan distribusi ukuran partikel halus. Juga, *fly ash* telah terbukti mengurangi jumlah air yang dibutuhkan. *fly ash* dari pembangkit listrik modern yang digunakan dalam volume besar dapat mengurangi kadar air 15 sampai 20% (Crouch, 2007).

Banyak penelitian tentang binder geopolimer berbahan abu terbang yang telah dilakukan. Para peneliti cenderung memilih abu terbang tipe F daripada Tipe C (*High-Calcium Fly Ash*). Hal ini disebabkan kandungan unsur silika dan alumina yang terdapat dalam tipe F lebih tinggi sehingga ketika bereaksi dengan alkalin aktivator akan menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Dengan ikatan polimer ini, maka akan terbentuk padatan berupa amorf sampai semi Kristal (Pujiyanto, 2010).

Secara kimia *fly ash* merupakan material oksida anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Dari penelitian terdahulu (Utomo & Sandy, 2007) geopolimer yang menggunakan *fly ash* tipe C

menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan *fly ash* tipe F baik yang menggunakan curing dengan oven maupun pada suhu ruang. Akan tetapi, setting time pada *fly ash* tipe C berlangsung cepat dikarenakan reaksi hidroliknya meningkat seiring dengan meningkatnya kadar kalsium dan lebih sulit diprediksi (Wang, 2006 dan Roberts 2007) karena itu membutuhkan kombinasi *admixture* tertentu.

Berdasarkan ASTM C 618, *fly ash* digolongkan menjadi :

a. Fly Ash Kelas C

1. *Fly ash* yang mengandung CaO lebih dari 10%, dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batubara.
2. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%
3. Kadar Na_2O mencapai 10%
4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder.

b. Fly Ash Kelas F

1. *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10%, dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara.
2. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%
3. Kadar Na_2O < 5%
4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder .

2.5 Alkali Aktivator

Alkali aktivator digunakan untuk membuat geopolimer yaitu campuran antara sodium hidroksida (NaOH) dengan sodium silikat. Fungsi dari alkali aktivator yaitu menghasilkan geopolimerisasi serta meningkatkan laju reaksi.

NaOH sering digunakan karena harganya yang terjangkau, memiliki viskositas rendah, serta mudah diperoleh. Ion OH^- di dalam NaOH. Sangat penting dalam proses geopolimerisasi karena berperan penting dalam meningkatkan laju reaksi dari penguraian ikatan alumina dan silika

Natrium silikat (Na_2SiO_3) tersedia dalam bentuk cair dan bubuk. Material ini memiliki viskositas tinggi yang mempengaruhi pengerjaan campuran geopolimer. Sodium silikat dalam sistem geopolimer tidak hanya berguna untuk meningkatkan kekuatan pasta tetapi juga digunakan untuk mengikat material sampai terbentuk pasta padat (Jo, dkk, 2007).

Alkali Silikat harus dikombinasikan dengan alkali hidroksida, dikarenakan sifat reaksinya yang perlahan, sehingga kekuatan bahan pengikat geopolimer menjadi lebih rendah (Criado et al, 2010; palomo et al 1999). Begitu juga sebaliknya, apabila larutan hidroksida saja yang digunakan, maka mutu yang dicapai lebih rendah jika dibandingkan dengan kombinasi keduanya yang dapat mencapai mutu kuat tekan 40 – 90 MPa (Nez dan Palomo, 2003; Fernandez, Jimenez dan Palomo, 2005). Tujuan penambahan sodium silikat adalah meningkatkan pembentukan proses geopolimerisasi.

2.6 Pemeriksaan agregat halus

Pemeriksaan agregat halus meliputi pemeriksaan analisa saringan, berat jenis, berat volume, kadar air, dan kadar lumpur.

2.8.1 Analisa saringan

Analisa saringan adalah salah satu rangkaian pemeriksaan agregat halus yang bertujuan untuk menentukan gradasi atau pembagian butir agregat halus dengan menggunakan saringan. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Apabila butir agregat mempunyai ukuran yang sama maka volume pori akan besar. Sebaliknya apabila ukuran butir-butirnya bervariasi maka akan terjadi volume volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit.

Peralatan yang digunakan dalam percobaan analisis saringan agregat halus adalah:

1. Mesin pengguncang saringan (*Sieve Shaker*)
2. Saringan No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200
3. Pan dan penutup
4. Timbangan
5. Oven

Dalam pengujian ini digunakan rumus sebagai berikut:

1. Berat tertahan = (berat saringan + berat agregat) - (Berat saringan)
2. Persen berat tertahan = $\frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah agregat total}} \times 100$
3. Persen berat tertahan kumulatif = persen berat tertahan +
persen berat tertahan kumulatif saringan sebelumnya

4. Persen lolos kumulatif = persen berat tertahan - Persen berat tertahan kumulatif saringan tersebut

2.8.2 Berat jenis

Berat jenis merupakan salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan campuran adukan beton, karena dengan mengetahui variabel tersebut dapat dihitung volume agregat halus yang diperlukan oleh sebab itu dilakukan pengujian *specific gravity* untuk mengetahui nilai *bulk specific gravity* yaitu perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C, *bulk specific gravity SSD* yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C, *apparent specific gravity* yaitu perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C, dan *absorption* yaitu perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen. (SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus)

Peralatan yang digunakan yaitu:

1. timbangan, kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram
2. piknometer dengan kapasitas 500 ml
3. kerucut terpancung, diameter bagian atas (40 ± 3) mm, diameter bagian bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm

4. batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram, diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm
5. saringan No. 4 (4,75 mm)
6. oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
7. pengukuran suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C ;
8. Talam
9. bejana tempat air
10. pompa hampa udara atau tungku
11. desikator.

Dalam pengujian ini digunakan rumus sebagai berikut:

$$1. \text{ Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$$

$$2. \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{500}{(B+500-Bt)}$$

$$3. \text{ Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$

$$4. \text{ Penyerapan} = \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\%$$

Dimana:

Bk = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer berisi air (gr)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji (gr)

500 = Berat benda uji dalam SSD (gr)

2.8.3 Berat volume

Berat volume adalah berat agregat per satuan isi. Berat volume diperlukan dalam perhitungan bahan campuran apabila jumlah bahan ditakar dengan ukuran volume. Berat volume ditinjau dalam dua keadaan, yaitu berat volume kondisi lepas dan kondisi padat. Berat volume kondisi lepas merupakan perbandingan berat agregat dengan volume literan, sedangkan berat volume kondisi padat adalah perbandingan berat agregat dalam keadaan padat dengan volume literan.

Peralatan yang digunakan adalah:

1. Timbangan
2. Container
3. Batang pemadat

Dalam pengujian ini digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat volume agregat} = \frac{W_1 - W_2}{V}$$

Dimana:

W_1 = Berat *container* + agregat (kg)

W_2 = Berat *container* (kg)

V = Volume *container* (liter)

2.8.4 Kadar air

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam Pengujian untuk menentukan kadar air agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. (SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat)

Peralatan yang digunakan adalah:

1. Wadah
2. Talam
3. Oven

Dalam pengujian ini digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

Dimana:

W_3 = berat benda uji semula (gr)

W_5 = berat benda uji kering (gr)

2.8.5 Kadar lumpur

Dalam membuat suatu beton konstruksi yang baik dan seragam perlu adanya pemeriksaan terhadap kualitas bahan campuran, proporsi campuran, serta pengecoran dan perawatannya. Salah satunya dengan mengetahui kandungan lumpur pada agregat halus. Lumpur tidak diizinkan dalam jumlah banyak, untuk masing-masing agregat kadar lumpur yang diizinkan berbeda. Kadar lumpur agregat normal yang diizinkan berdasarkan SK SNI S-04-1989-F untuk agregat halus adalah maksimal 5%. Kecenderungan meningkatnya penggunaan air dalam campuran beton terjadi jika terdapat terdapat lumpur. lumpur. Lumpur tidak dapat menjadi satu dengan semen sehingga sehingga menghalangi penggabungan antara semen dan

agregat. Pada akhirnya, kekuatan tekan beton akan berkurang karena tidak dapat saling mengikat.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Aquades
2. Talam
3. Saringan No.50 dan No.200
4. Timbangan
5. Oven

Dalam pengujian ini digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

Dimana :

A = berat kering sebelum dicuci

B = Berat kering setelah dicuci

2.7 Desain Campuran Geopolimer

Terdapat dua metode pencampuran bahan pengikat geopolimer yaitu metode pencampuran kering dan pencampuran basah.

Metode pencampuran basah merupakan metode yang umum digunakan dalam proses pembuatan geopolimer. Yaitu bahan kimia alkali aktivator yang digunakan berbentuk larutan. Serpihan NaOH (Natrium Hidroksida) yang digunakan dilarutkan sesuai konsentrasi molaritas yang diinginkan dan dicampurkan dengan Na_2SiO_3 (Natrium silikat) atau yang biasa disebut *water glass* yang berwujud larutan. Larutan ini kemudian dicampurkan dengan bahan *pozzolan* yang pada wadah tersendiri.

Sedangkan metode pencampuran kering, merupakan metode dimana bahan kimia alkali aktivator digiling bersamaan dengan bahan pozzolan dengan komposisi tertentu, sehingga menghasilkan suatu butiran halus mirip semen (semen geopolimer). Semen geopolimer ini cukup ditambahkan air saja dalam aplikasi penggunaannya (susanto, 2016)

Pada penelitian terdahulu, (Ridwan,2018) pembuatan larutan 10 M, dengan mencampurkan NaOH dalam bentuk *flake*, dengan aquades atau air. Dikarenakan proses ini menghasilkan panas yang cukup tinggi, maka proses pembuatan larutan NaOH dilaksanakan 1 hari sebelum proses pengecoran agar larutan dingin terlebih dahulu. Setelah larutan NaOH siap digunakan, kemudian dilanjutkan dengan membuat larutan alkali aktivator dengan mencampur larutan NaOH dengan Na_2SiO_3 . Yang kemudian dilanjutkan dengan mencampur bahan aktivator ke dalam bahan *pozzolan* yang telah disiapkan.

2.8 Pengujian benda uji

2.8.1 Kuat tekan

Kekuatan tekan mortar adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar semen portland berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu (SNI 03-6825-2002.Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan.)

Proporsi campuran mortar mempengaruhi kuat tekan mortar itu sendiri. Kuat tekan mortar sangat dipengaruhi oleh air. Semakin rendah faktor air semen, maka semakin tinggi kuat tekannya. Namun , jika faktor air semen rendah maka sangat sulit dalam pengerjaanya. Selain itu Bahan penyusun yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume . karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan mortar, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada

agregat adalah permukaan dan bentuk agregat, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat. Maka dari itu Faktor air semen, jumlah semen, umur mortar, dan sifat agregat adalah faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kuat tekan mortar

Rumus kuat tekan adalah sebagai berikut:

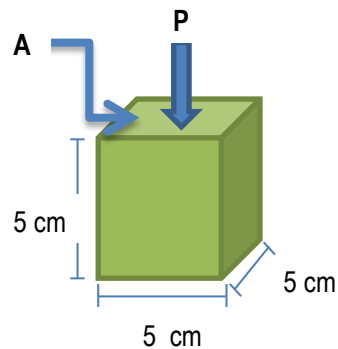
$$\sigma_m = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

σ_m = Kuat Tekan Mortar (Mpa)

P = Gaya Tekan Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)



Gambar 2. 2 mekanisme kuat tekan mortar



Gambar 2. 3 pengujian dengan *Testing Machine*

2.8.2 Porositas

Porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan salah satu factor utama yang mempengaruhi kekuatan beton. Pori-pori beton biasanya berisi udara atau berisi air yang saling berhubungan dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada walaupun air yang digunakan telah menguap, sehingga kapiler ini akan mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Dengan bertambahnya volume pori

maka nilai porositas juga akan semakin meningkat dan hal ini memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan beton. Beton mempunyai kecenderungan berisi rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan. Hal ini penting terutama untuk memperoleh campuran yang mudah untuk dikerjakan dengan menggunakan air yang berlebihan daripada yang dibutuhkan guna persenyawaan kimia dengan semen. Air ini menggunakan ruangan dan bila kemudian kering akan menimbulkan rongga-rongga udara. Dapat ditambahkan bahwa selain air yang mengawali pemakaian ruangan dan kelak menjadi rongga, terjadi juga rongga-rongga udara langsung pada jumlah persentase yang kecil. Hal lain adalah terdapatnya pengurangan volume absolut dari semen dan air setelah reaksi kimia dan terjadi pengeringan sedemikian rupa sehingga pasta semen sudah kering akan menempati volume yang lebih kecil dibandingkan dengan pasta yang masih basah, berapapun perbandingan air yang digunakan (Murdock L.J & Brook K.M., 1980)

Selain itu porositas beton timbul karena pori atau rongga yang ada di dalam butiran agregat yang terbentuk oleh adanya udara yang terjebak dalam butiran ketika pembentukan atau dekomposisi mineral. Agregat yang menempati kurang lebih 70-75% dari volume beton akan sangat berpengaruh terhadap porositas beton akibat porositas yang dimiliki oleh agregat sendiri. Gradasi atau ukuran butiran yang dimiliki oleh agregat juga berpengaruh terhadap nilai porositas beton karena dengan ukuran yang seragam maka porositas akan semakin besar sedangkan dengan ukuran yang tidak seragam porositas beton justru berkurang. Hal ini dikarenakan butiran yang kecil dapat menempati ruangan/pori diantara butiran yang lebih besar sehingga porositas beton menjadi kecil. (kurniawan, 2021)

Rumus menentukan porositas mortar sesuai dengan ASTM C 642-06 sebagai berikut:

$$porositas = \frac{C-A}{C-D} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

A = massa sampel kering oven di udara (gram)

C = massa sampel kering permukaan di udara setelah perendaman dan perebusan (gram)

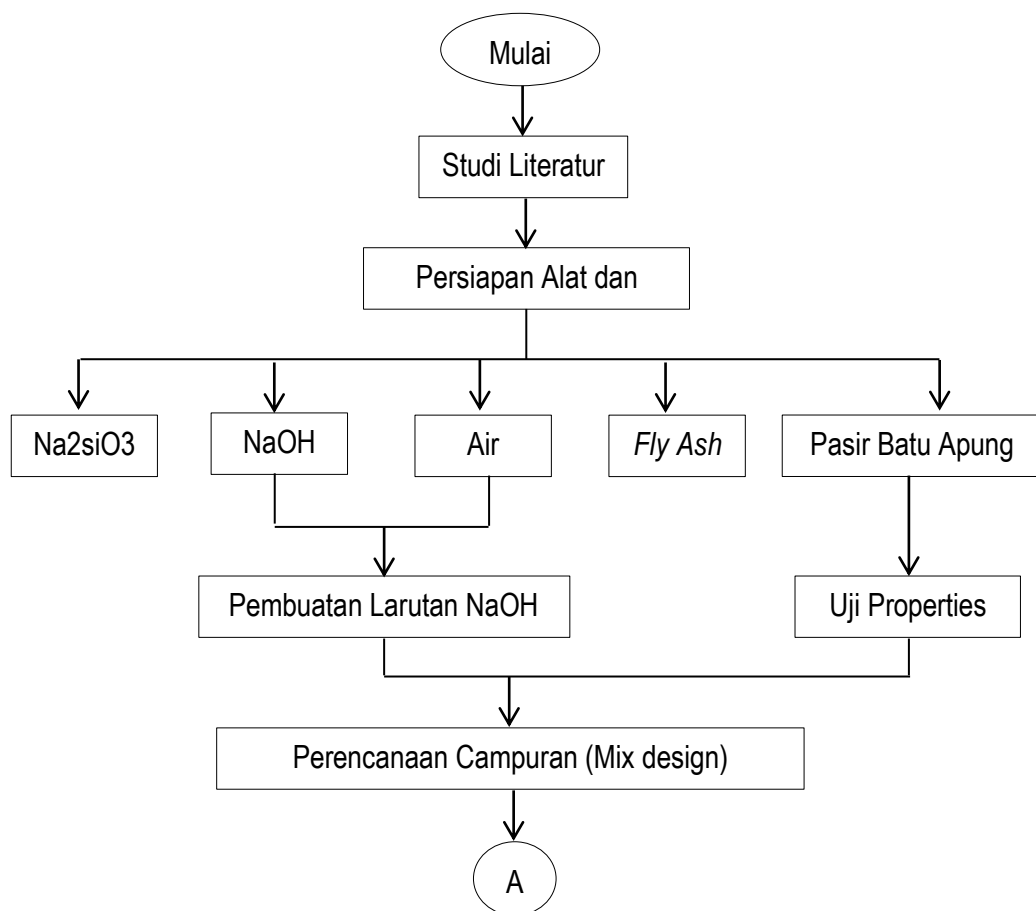
D = massa semu sampel dalam air setelah perendaman dan perebusan (gram)

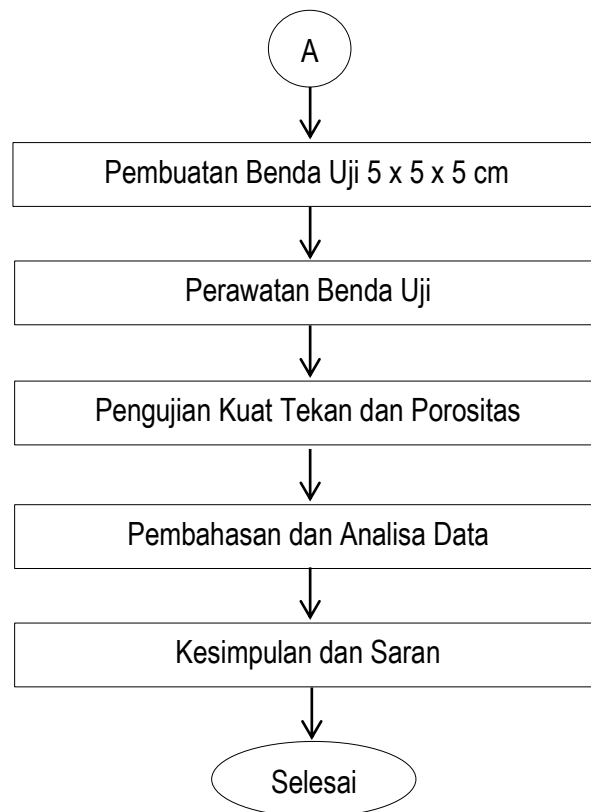
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metode penelitian adalah prosedur, tata-tata cara atau langkah yang digunakan untuk meneliti suatu masalah, kasus sehingga memperoleh data yang rasional. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Metode eksperimental adalah suatu metode untuk mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi terkontrol. Metodologi sangat diperlukan dalam suatu penelitian agar penelitian yang dilakukan dapat lebih terarah sehingga mendapatkan hasil yang optimum. Tahap- tahap penelitian dapat dilihat secara skematis dalam bagan alir berikut ini:





Gambar3. 1 Bagan Alir Penelitian

3.1.1 Studi literatur

Langkah pertama penyusunan tugas akhir ini yaitu dengan melakukan studi literatur mengenai mortar geoplimer dan segala macam jurnal yang berkaitan dengan tema tugas akhir

3.1.2 Persiapan bahan dan alat

Yaitu mempersiapkan bahan material dan alat-alat yang akan digunakan sebelum melakukan penelitian agar sesuai dengan spesifikasi.

3.1.3 Uji properties dan pembuatan larutan NaOH

Dalam tahap ini dilakukan pengujian terhadap bahan material yang akan digunakan guna mengetahui karakteristik pada pasir batu apung yang akan digunakan

sebagai campuran adukan mortar. Serta membuat larutan NaOH dengan berbagai variasi molaritas

3.1.4 Perencanaan campuran

Tahapan yang keempat yaitu perencanaan campuran (mix design) mortar ringan geopolimer

3.1.5 Pembuatan benda uji

Setelah pemeriksaan campuran mortar memenuhi, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji. Benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.

3.1.6 Perawatan benda uji

Setelah benda uji mengeras maka selanjutnya dilakukan perawatan dengan cara dipanaskan.

3.1.7 Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan dan porositas

3.1.8 Pembahasan dan analisis data

Data-data yang telah diperoleh dari hasil kemudian dianalisis dan dihitung

3.1.9 Kesimpulan dan saran

Tahapan yang terakhir yaitu membuat kesimpulan sehingga dari data yang sudah didapat dan dianalisis dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan tujuan dari penelitian

3.2 Waktu dan lokasi

Waktu penelitian direncanakan dimulai pada bulan februari 2023 sampai selesai bertempat di laboratorium Bahan dan Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Khairun.

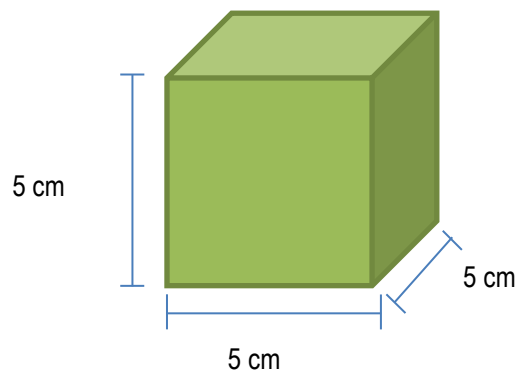


Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

3.3 Benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

Sketsa benda uji sebagai berikut:



Gambar 3.3 Sketsa Benda Uji

Adapun jumlah benda uji yang dapat dilihat dalam tabel 3.1

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Mortar	Porositas Mortar
MG-7	6 Buah	6 Buah
MG-8	6 Buah	6 Buah
MG-9	6 Buah	6 Buah
MG-10	6 Buah	6 Buah

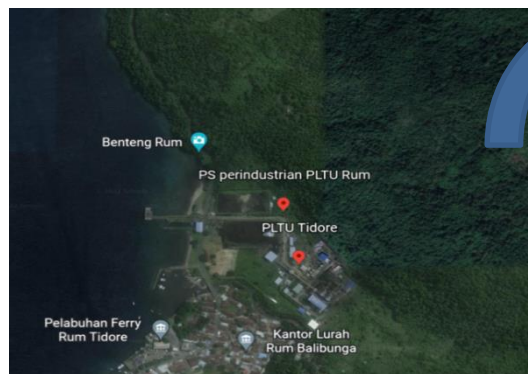
3.4 Persiapan Material

Tahapan awal dari penelitian adalah melakukan pengujian terhadap material-material yang akan digunakan serta mengacu pada standar ASTM(*American standard testing and material*). Adapun material-material yang dibutuhkan yaitu:

1. *Fly ash*
2. Pasir batu apung
3. Alkali aktivator
 - a. Natrium silikat (Na_2SiO_3)
 - b. Natrium Hidroksida (NaOH)
4. Air

3.4.1 *Fly Ash*

Dalam penelitian ini, *fly ash* yang digunakan berasal dari limbah PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) yang berlokasi di Rum kota Tidore Kepulauan



Gambar 3.5 Lokasi PLTU



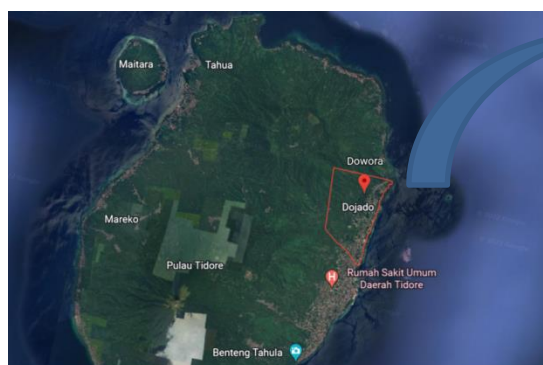
Gambar 3.4 PLTU Tidore



Gambar 3.6 Fly Ash

3.4.2 Pasir batu apung

Pasir batu apung yang digunakan merupakan material yang berasal dari kelurahan Dowora kota Tidore Kepulauan



Gambar 3.7 Lokasi Pengambilan Batu Apung



Gambar 3.8 Batu Apung

3.4.3 Alkali Aktivator

a. Natrium Hidroksida (NaOH)

Bentuk Natrium Hidroksida (NaOH) yang digunakan adalah Kristal (flake). NaOH yang akan digunakan harus dilarutkan terlebih dahulu untuk mendapatkan larutan NaOH. NaOH berbentuk serpihan yang telah dilarutkan menjadi cairan yang mengandung 98% sodium hidroksida. Konsentrasi NaOH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 7M, 8M, 9M, 10M.



Gambar 3. 7 Natrium Hidroksida

Rumus yang digunakan untuk membuat larutan NaOH adalah:

$$n = V \times M \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana :

n = jumlah mol zat terlarut (mol)

M = kemolaran larutan (mol/liter)

V = volume larutan (liter)

Massa NaOH = n mol x mr

n mol = jumlah mol zat terlarut (mol)

Mr = massa relative atom (gram/mol)

Pembuatan larutan NaOH adalah sebagai berikut:

a. Alat

- Gelas ukur volume 1 liter
- Timbangan
- Alat pengaduk

b. Bahan:

- Air
- Natrium hidroksida (NaOH)

c. Langkah kerja

- Menghitung kebutuhan NaOH yang digunakan:

$$\begin{aligned} n &= V \times M \\ &= 1 \text{ liter} \times (\text{kemolaran yang diinginkan, contoh } 8\text{M}) \\ &= 8 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana :

n = jumlah mol zat tersebut

M = kemolaran larutan

V = volume larutan

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu,
Na= 23, O=16, H=1)

Massa NaOH= $n \text{ mol} \times M_r$

$$= 8 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/ mol}$$

$$= 320 \text{ gram}$$

- Menimbang NaOH seberat 320 gram dan masukan pada gelas ukur
- Tuang air ke dalam gelas ukur sampai volumenya 1 liter
- Aduk hingga larut
- Diamkan pada suhu ruang hingga dingin setelah reaksi

b. Natrium silikat (Na_2SiO_3)

Natrium silikat yang digunakan berupa cairan kental mengandung 96% sodium silikat yang didapat dari toko kimia dengan keadaan siap pakai seperti yang tertera pada gambar



Gambar 3. 8 Larutan Natrium Silikat

3.5 Persiapan alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Oven

Digunakan untuk memanaskan dan mengeringkan sampel, melakukan proses sterilisasi dll. Prinsip kerja dari oven adalah melakukan pemanasan secara tertutup sehingga suhu dan waktunya bisa diatur.



Gambar 3. 9 Oven

2. Timbangan

Digunakan untuk menghitung berat atau masa suatu benda.



Gambar 3. 10 Timbangan

3. Saringan gradasi



Gambar 3. 11 Saringan Gradasi

4. *Mixer*/mesin molen



Gambar 3. 12 Mixer/Mesin Pengaduk

5. Bekisting mortar



Gambar 3. 13 Bekisting Mortar

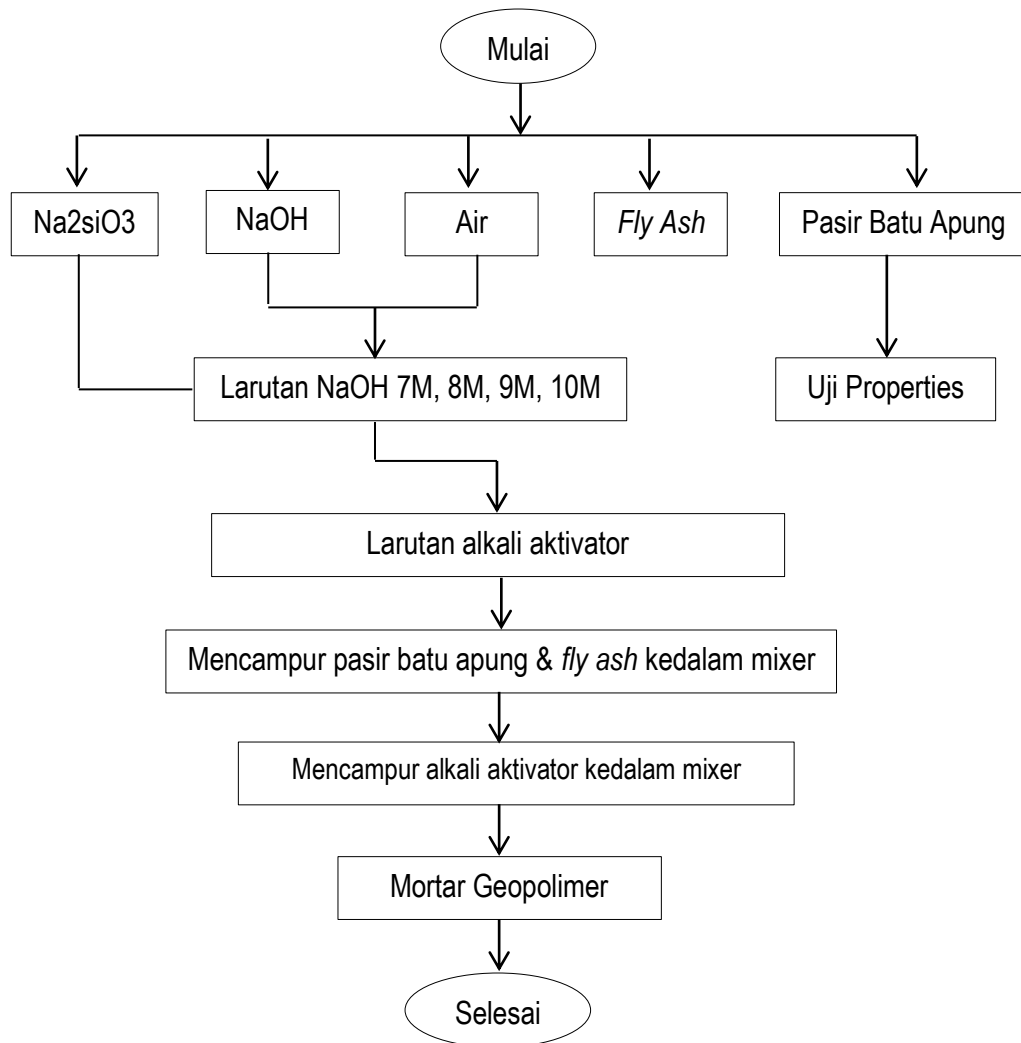
6. Mesin kuat tekan



Gambar 3. 14 Mesin Kuat Tekan

3.6 Pembuatan benda uji

3.6.1 Bagan alir pembuatan benda uji



Gambar 3. 15 Bagan Alir Pembuatan Benda Uji

3.6.2 Desain binder geopolimer

Untuk dapat melaksanakan pembuatan binder geopolimer maka diperlukan perhitungan jumlah bahan yang digunakan. Mengadopsi penelitian sebelumnya dengan berat jenis mortar ringan geopolimer sebesar 1470 kg/m^3 (Sultan, Kusnadi, & Adingku, 2022) maka dibutuhkan *flyash* sebanyak $404,25 \text{ kg/m}^3$.

Berdasarkan kebutuhan tersebut maka dapat dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan bahan untuk 1 kubus.

a. Kubus 5 x 5 x 5 cm

Desain campuran kubus geopolimer berukuran 5 x 5 x 5 cm sebagai berikut:

Massa 1 kubus geopolimer ukuran 5 x 5 x 5 cm

$$\begin{aligned}\text{Volume 1 kubus} &= s \times s \times s \\ &= 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 125 \text{ cm}^3 \\ &= 0.000125 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fly ash 1 kubus} &= \text{fly ash total} \times \text{Volume kubus} \\ &= 404,25 \text{ kg/m}^3 \times 0.000125 \text{ m}^3 \\ &= 0,05053125 \text{ kg}\end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan air, NaOH dan Na_2SiO_3 . Contoh perhitungan jumlah kebutuhan bahan dengan konsentrasi larutan NaOH sebesar 7 M.

Dalam 1 kubus dibutuhkan 41,34 gr aktivator dengan perbandingan NaOH dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1:1$. Dimana setiap senyawa memiliki berat 20,67 gr

Kebutuhan larutan NaOH : 20,67 gr

Kebutuhan Na_2SiO_3 : 20,67 gr

Kebutuhan Air untuk membuat larutan NaOH 7M :

$$7 \text{ M} = \frac{20,67 \text{ gr}}{40} \times \frac{1000}{V}$$

$$7 \text{ M} = 0,52 \times 1000V$$

$$V = 74 \text{ ml (volume larutan total)}$$

$$\text{Kebutuhan air} = 74 - 20,67$$

$$= 53 \text{ ml}$$

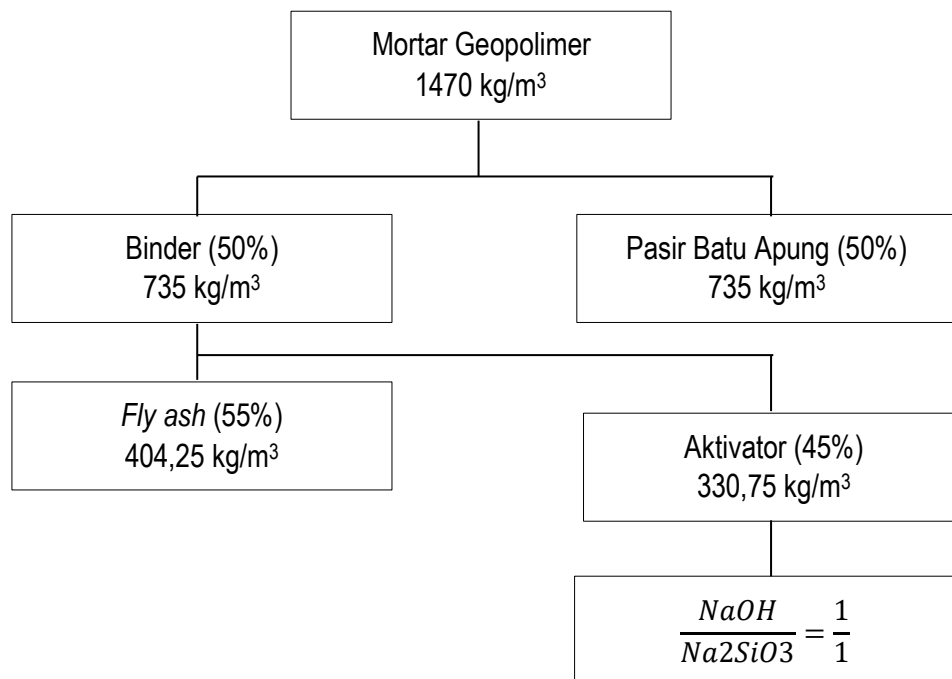
Berdasarkan contoh perhitungan di atas maka dapat dilakukan perhitungan dengan metode yang sama untuk semua variasi.

Tabel 3. 2 Perhitungan Komposisi Binder

Kode Binder	<i>Fly ash</i> (gram)	NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)	Air (ml)
MG - 7M	50,53	20,67	20,67	53
MG - 8M	50,53	20,67	20,67	44
MG - 9M	50,53	20,67	20,67	37
MG - 10M	50,53	20,67	20,67	31

3.6.3 Rancangan campuran mortar geopolimer

Rancangan campuran ini bertujuan untuk mendapatkan massa bahan yang akan digunakan dalam pembuatan 1 m³ mortar geopolimer. Bahan yang digunakan yaitu *fly ash*, pasir batu apung, larutan NaOH, dan Na₂SiO₃.



Gambar 3. 16 Uraian Komposisi

Kebutuhan pasir batu apung per 1 kubus :

$$\text{Pasir batu apung total} \times \text{volume kubus} = 735 \text{ kg/m}^3 \times 0.000125 \text{ m}^3$$

$$= 0.091875 \text{ kg}$$

Komposisi mortar geopolimer yaitu:

$$\text{Massa mortar} = 50\% \text{ massa pasir batu apung} + 50\% \text{ massa binder}$$

$$= 735 \text{ kg/m}^3 + 735 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Massa pasir batu apung} = 735 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Massa binder} = \text{massa fly ash} + \text{massa aktivator}$$

$$= 55\% + 45\%$$

$$= 404,25 \text{ kg/m}^3 + 330,75 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Massa aktivator} = \text{massa NaOH} + \text{massa Na}_2\text{SiO}_3$$

$$= 50\% + 50\%$$

$$= 165,375 \text{ kg/m}^3 + 165,375 \text{ kg/m}^3$$

Desain campuran mortar ringan geopolimer per kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$

Tabel 3. 3 Komposisi Mortar Per Kubus

Kode Binder	<i>Fly ash</i> (gram)	NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)	Air (ml)	Pasir (gram)
MG - 7M	50,53	20,67	20,67	53	91,875
MG - 8M	50,53	20,67	20,67	44	91,875
MG - 9M	50,53	20,67	20,67	37	91,875
MG - 10M	50,53	20,67	20,67	31	91,875

3.6.4 Metode pencampuran mortar geopolimer

1. Membuat larutan NaOH dengan mencampurkan NaOH dalam bentuk serpihan dengan air. Karena menghasilkan panas yang cukup tinggi maka larutan harus didiamkan selama 24 jam. Agar suhu turun dan siap digunakan.
2. Setelah larutan NaOH siap digunakan, kemudian dilanjutkan dengan membuat larutan alkali aktivator. Dengan cara mencampurkan dengan Na₂SiO₃ dengan variasi tertentu.
3. Masukkan pasir batu apung kedalam mixer/ mesin molen
4. Tambahkan *fly ash* kedalam mixer/mesin molen bersama dengan pasir batu apung. Tunggu hingga campuran merata
5. Tambahkan alkali aktivator sedikit demi sedikit, tunggu hingga adukan merata.
6. Masukkan campuran mortar ke dalam cetakan mortar yang sudah disiapkan.
7. Diamkan hingga campuran mengeras, lepaskan dari cetakan untuk selanjutnya dilakukan perawatan.

3.7 Perawatan benda uji

Menurut SNI 2493-2011 perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut ini.

1. Penutupan setelah penyelesaian, yaitu benda uji ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif dan dapat menjaga kelembaban sampai saat benda uji dilepas dari cetakan.
2. Perawatan untuk pemeriksaan proporsi campuran untuk kekuatan atau sebagai dasar untuk penerimaan atau pengendalian mutu sebagai berikut ini :
 - a. Perawatan awal sesudah pencetakan dijelaskan sebagai berikut ini :
 - 1) Benda uji harus disimpan dalam suhu antara 16 °C sampai 27°C dan dalam lingkungan yang lembab selama 48 jam, harus terlindungi dari sinar matahari langsung atau alat yang memancarkan panas,
 - 2) Benda uji dilepas dari cetakan dan diberi perawatan standar,
 - 3) Jika benda uji tidak akan diangkat selama 48 jam, cetakan harus dilepas dalam waktu 24 jam $\pm$ 8 jam dan diberi perawatan standar sampai tiba waktu pengangkutan.
 - b. Perawatan standar sebagai berikut:
 - 2) Benda uji mortar ringan geopolimer:
 - a. Setelah benda uji dibuka dari cetakan, kemudian dilakukan perawatan terhadap benda uji dalam penelitian ini, perawatan benda uji menggunakan metode pemanasan dalam oven dengan suhu 80° C
 - b. Setelah 8 jam kemudian benda uji didiamkan pada suhu ruangan sampai benda uji dilakukan tahap pengujian selanjutnya

3.8 Analisa data

3.8.1 Analisa kuat tekan

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban/tekanan hingga benda uji runtuh. Kuat tekan diuji dengan menggunakan mesin kuat tekan. Benda uji untuk pengujian kuat tekan berbentuk kubus dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.

Adapun langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Sebelum pengujian benda uji terlebih dahulu diangin-anginkan
2. Benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat benda uji.
3. Benda uji diletakan pada mesin uji tekan *compression testing machine* (CTM). Kemudian benda uji diuji sampai pecah dan dilakukan peninjauan kekuatan tekan.
4. Kemudian dilakukan perhitungan seperti pada rumus (2.1)

3.8.2 Analisa porositas

Pengujian porositas dilakukan pada sampel berbentuk kubus dengan ukuran $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$. tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya prosentase pori-pori beton terhadap volume beton padat.

Adapun langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam.
2. Benda uji dikeluarkan dari oven dan diangin-anginkan pada suhu kamar (25°C) kemudian ditimbang dan didapatkan berat beton kondisi kering oven (A).

3. Benda uji dididihkan selama 5 jam lalu biarkan dingin dengan kehilangan panas alami selama tidak kurang dari 14 jam hingga suhu akhir 20° hingga 25°C .
4. Hapus kelembaban permukaan dengan handuk untuk mendapatkan kondisi SSD kemudian timbang benda uji.
5. Tangguhkan spesimen, setelah direndam dan dididihkan dengan keranjang kawat dan timbang berat semu dalam air. Setelah itu hasil pengukuran berat tersebut kemudian diolah dengan menggunakan rumus (2.2)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4. 1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang telah diperoleh dari tiap-tiap pengujian, kemudian akan dianalisa dan ditarik kesimpulan. Hasil penelitian terdiri dari hasil uji karakteristik agregat, *fly ash*, hasil kuat tekan, dan hasil porositas. Data-data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah dalam menganalisa.

4. 2 Hasil Analisa Material

4.2.1 Pasir Batu Apung

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir batu apung yang berasal dari Kelurahan Dowora Kecamatan Tidore Timur, Kota Tidore Kepulauan. Hasil pengujian agregat halus terdapat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Spesifikasi Agregat Pasir Batu Apung

No	Pemeriksaan/ Pengujian	Spesifikasi Pengujian Agregat			
		Standar	Spesifikasi / interval	Hasil pemeriksaan	Keterangan
1	Kadar Lumpur	ASTM C 117 - 84 SNI 03-4142-1996	0.2 - 5,0 %	12.83 %	Lebih Besar
2	Kadar Air	ASTM C 556 SNI 03-1971-1990	3.0 - 5.0 %	30.39 %	Lebih Besar
3	Berat Volume				
	a. Kondisi Padat	ASTM C 29 - 78 SNI 03-4804-1998	1,6- 1,9 gr/cm ³	1.14 gr/cm ³	Lebih kecil
	b. Kondisi Lepas	ASTM C 29 - 78 SNI 03-4804-1998	1,6- 1,9 gr/cm ³	1.03 gr/cm ³	Lebih kecil

4	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat				
	a. Penyerapan (<i>water absorption</i>)	ASTM C 127 SNI 1969 -1990 - F	0,2 -2,0%	43.30 %	Lebih besar
	b. Berat Jenis Kering Oven (<i>bulk specific on dry basic</i>)	ASTM C 127 SNI 1969 -1990 - F	1,6 - 3,2 gr/m ³	0.92 gr/cm ³	Lebih kecil
	c. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (<i>bulk specific on SSD basic</i>)	ASTM C 127 SNI 1969 -1990 - F	1,6 - 3,2 gr/m ³	1.31 gr/cm ³	Lebih kecil
	d. Berat Jenis Semu (<i>apparent specific gravity</i>)	ASTM C 127 SNI 1969 -1990 - F	1,6 - 3,2 gr/m ³	1.51 gr/cm ³	Lebih kecil
5	Analisa Saringan / Modulus Kehalusan (<i>fine modulus</i>)	ASTM C 33 & C 136 SNI 1968 - 1990 - F	1,5 - 3,8 %	4.39 %	Lebih besar

(Sumber: hasil pengujian, 2023)

Pengujian karakteristik agregat halus (pasir batu apung) dimaksudkan untuk mengetahui sifat dan karakteristik material tersebut. Hasil pengujian dari agregat halus (Pasir Batu Apung) yang terdapat pada Tabel 4.1 disandarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia).

Pada hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus (Pasir Batu Apung) didapat kadar air sebesar 30.39% hal ini disebabkan karena porositas dan penyerapan pasir batu apung yang tinggi.

Pada pemeriksaan berat volume kondisi lepas dan kondisi padat didapat nilai sebesar 1.14 gr/cm^3 dan 1.03 gr/cm^3 . Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus (pasir batu apung) lebih ringan dari agregat normal.



(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2023)

Gambar 4. 1 Pasir Batu Apung

4.2.2 Fly Ash

Pengujian karakteristik *fly ash* diperlukan untuk mengetahui komposisi unsur kimia yang terkandung dalam *fly as*. *Fly ash* ini berasal dari PLTU kota Tidore.

Hasil pengujian *fly ash* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 2 Karakteristik *Fly ash*

Senyawa	Komposisi		Senyawa	Komposisi
SiO ₂	38.97		SrO	0.166
Fe ₂ O ₃	19.93		BaO	0.098
CaO	15.05		ZrO ₂	0.06
Al ₂ O ₃	13.84		Nb ₂ O ₅	0.0257
SO ₃	8.36		Rb ₂ O	0.0193
K ₂ O	2.15		MoO ₃	0.0185
TiO ₂	0.92		SnO ₂	0.0079
P ₂ O ₅	0.37			

(Sumber: Sultan & Kusnadi, 2022)

Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapat *fly ash* mengandung SiO₂ sebesar 38.97%, Al₂O₃ sebesar 13.84%, dan Fe₂O₃ sebesar 19.93%. Hasil ini

menunjukkan bahwa *fly ash* PLTU kota Tidore tergolong kelas F karena $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70\%$ (ASTM).



(Sumber : Dokumentasi Hasil Penulis, 2023)

Gambar 4. 2 *Fly Ash* PLTU kota Tidore

5.3 Pengujian Mortar Geopolimer

4.3.1 Perhitungan Rencana Adukan Beton

Perhitungan perencanaan mortar dilakukan dengan cara *trial and error* perencanaan mortar dimaksudkan untuk mendapatkan proporsi campuran yang optimum dengan kekuatan yang maksimum, hal ini dilakukan agar memenuhi syarat teknis dan ekonomis.

Mortar yang direncanakan yaitu mortar dengan campuran 1 binder : 1 Pasir, dengan variasi molaritas NaOH sebanyak 7 molaritas, 8 molaritas, 9 molaritas, dan 10 molaritas.

4.3.2 Proporsi Campuran

Dari hasil perhitungan rancangan campuran mortar, untuk menentukan kebutuhan agregat halus, *fly ash*, air, NaOH, serta silikat, maka didapat proporsi material penyusun mortar ringan geopolimer sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Proporsi Campuran Mortar

Jumlah Sampel	Volume Kubus (cm ³)	Bahan Mortar	Kebutuhan Bahan(kg)	
			1 sampel	48 sampel
48	125	Agregar Halus	0.091875	4.41
		<i>Fly ash</i>	0.05053	2.42544
		NaOH	0.02067	0.99216
		Na ₂ SiO ₃	0.02067	0.99216
		Air	0.165	7.92

4.3.3 Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Setelah penentuan komposisi mortar geopolimer, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji 5x5x5 cm untuk pengujian kuat tekan dilakukan setelah dilakukan pengovenan selama 8 jam dengan suhu 80 derajat Celsius. Pengujian dilakukan di laboratorium Material dan Beton Unkhair Ternate

Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban sehingga benda uji tersebut hancur dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Saat mortar hancur maka didapat beban/gaya tekan maksimum dari benda uji. Data ini kemudian diolah sehingga diperoleh nilai kuat tekan mortar.

a. Kuat Tekan Mortar 7 Molaritas

Hasil kuat tekan mortar ringan geopolimer setelah benda uji di oven selama 8 jam pada suhu 80 derajat celcius memiliki kuat tekan yang seragam, yang mana hasil kuat tekan tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 4 Hasil Kuat Tekan MG-7 molaritas

No	Kode Benda Uji	Berat (Kg)	Berat isi (Kg)	Luas (A) (mm ²)	Tanggal		Beban (kN)	Beban (N)	$\sigma_m = P_{mask} / A$ (MPa)	Ket
					Cor	Test				
1	MG-7	0.148	0.0011	2500	13 juli 23	1 agu 23	1	1000	0.4	kubus
2	MG-7	0.146	0.0011	2500			1	1000	0.4	kubus
3	MG-7	0.158	0.0012	2500			1	1000	0.4	kubus
4	MG-7	0.140	0.0011	2500			1	1000	0.4	kubus
5	MG-7	0.153	0.0012	2500			1	1000	0.4	kubus

$$\Sigma = 2$$

$$\sigma_m = \frac{\Sigma \sigma_m}{n} = \frac{2}{5} = 0.4 \text{ MPa}$$

Dari hasil yang diperoleh dari pengujian kuat pada mortar geopolimer 7 molaritas menunjukkan nilai kuat tekan relatif rendah, rata-rata yang diperoleh pada mortar 7 molaritas yaitu sebesar 0,4 MPa.

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa mortar dengan 7 molaritas memiliki nilai kuat tekan yang sama yaitu 0.4 MPa pada setiap sampel.

b. Kuat Tekan Mortar 8 Molaritas

Nilai kuat tekan pada mortar ringan geopolimer 8 molaritas setelah dioven selama 8 jam dengan suhu 80 derajat memiliki nilai kuat tekan yang bervariasi, yang mana hasil kuat tekan tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 5 Hasil Kuat Tekan MG-8 molaritas

No	Kode Benda Uji	Berat	Berat isi	Luas (A) (mm ²)	Tanggal		Beban (kN)	Beban (N)	$\sigma_m = P_{mask} / A$ (MPa)	ket
		(Kg)	(Kg/cm ³)		Cor	Test				
1	MG-8	0.152	0.0012	2500	20 juli 23	14 agu 23	3	3000	1.2	kubus
2	MG-8	0.156	0.0012	2500			2	2000	0.8	kubus
3	MG-8	0.151	0.0012	2500			3	3000	1.2	kubus
4	MG-8	0.153	0.0012	2500			3	3000	1.2	kubus

$$\Sigma = 4.4$$

$$\sigma_m = \frac{\sum \sigma_m}{n} = \frac{4.4}{4} = 1,1 \text{ MPa}$$

rata-rata nilai kuat tekan yang diperoleh pada mortar ringan geopolimer 8 molaritas memiliki nilai 1.1 MPa

Dari tabel di atas menunjukkan kuat tekan yang hampir seragam pada sampel 1, 3, dan 4 menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 1.2 MPa. Sedangkan pada sampel 2 menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 0.8 MPa.

c. Tekan Mortar 9 Molaritas

Nilai kuat tekan pada mortar ringan geopolimer 9 molaritas setelah dioven selama 8 jam dengan suhu 80 derajat memiliki nilai kuat tekan yang bervariasi, yang mana hasil kuat tekan tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini

Tabel 4. 6 Hasil Kuat tekan MG-9 molaritas

NO	Kode BendaUji	Berat	Berat isi	Luas(A)	Tanggal		Beban	Beban	$\sigma_m = P / A$	ket
		(Kg)	(Kg/cm)	(mm ²)	cor	Tes	(kN)	(N)	(mpa)	
1	MG-9	0.163	0.00130	2500	27 Jul 23	14 Agu 23	4.5	4500	1.8	kubus
2	MG-9	0.166	0.00132	2500			4	4000	1.6	kubus
3	MG-9	0.161	0.00128	2500			4	4000	1.6	kubus
4	MG-9	0.162	0.00129	2500			6	6000	2.4	kubus
5	MG-9	0.164	0.00131	2500			4	4000	1.6	kubus
6	MG-9	0.159	0.00127	2500			3	3000	1.2	kubus

$$\Sigma = 10.2$$

$$\sigma_m = \frac{\sum \sigma_m}{n} = \frac{10,2}{6} = 1,7 \text{ MPa}$$

rata-rata nilai kuat tekan yang diperoleh pada mortar ringan geopolimer 9 molaritas memiliki nilai 1.7 Mpa

pada tabel di atas menunjukkan hasil kuat tekan yang bervariasi, nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada sampel 4 yaitu sebesar 2.4 MPa, Sampel 1 sebesar 1.8 MPa, sampel 2,3,dan 5 memiliki nilai kuat tekan sebesar 1.6 MPa, dan sampel 6 sebesar 1.2 MPa

d. Kuat Tekan Mortar 10 Molaritas

Nilai kuat tekan pada mortar ringan geopolimer 10 molaritas setelah dioven selama 8 jam dengan suhu 80 derajat memiliki nilai kuat tekan yang bervariasi, yang mana hasil kuat tekan tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 7 Hasil Kuat tekan MG-10 molaritas

NO	Kode Benda Uji	Berat	Berat isi	Luas(A)	Tanggal		Beban	Beban	$\sigma_m = P / A$	ket
		(Kg)	(Kg/cm ³)	(mm ²)	Cor	Test	(kN)	(N)	(mpa)	
1	MG-10	0.17	0.00136	2500	3 Agu 23	22 Agu 23	6	6000	2.4	kubus
2	MG-10	0.168	0.001344	2500			6	6000	2.4	kubus
3	MG-10	0.164	0.001312	2500			5	5000	2	kubus
4	MG-10	0.175	0.0014	2500			7	7000	2.8	kubus
5	MG-10	0.169	0.001352	2500			5	5000	2	kubus
6	MG-10	0.164	0.001312	2500			5	5000	2	kubus

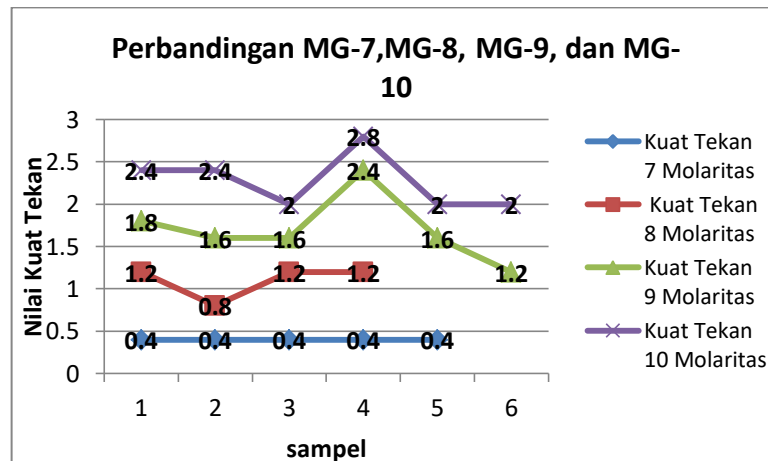
$$\Sigma = 13.6$$

$$\sigma_m = \frac{\Sigma \sigma_m}{n} = \frac{13.6}{6} = 2.2667 \text{ MPa}$$

rata-rata nilai kuat tekan yang diperoleh pada mortar ringan geopolimer 10 molaritas memiliki nilai 2.2667 Mpa

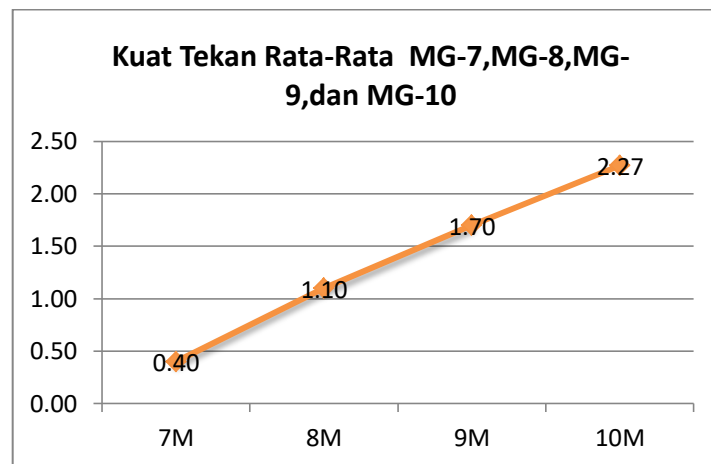
Pada tabel di atas menunjukkan nilai kuat tekan yang hampir seragam dimana selisih antar satu sampel dengan sampel yang lain relatif kecil yaitu pada sampel 1 dan 2 nilai kuat tekan sebesar 2.4

MPa pada sampel 3,5,dan 6 nilai kuat tekan sebesar 2 MPa dan nilai kuat tekan tertinggi pada sampel 4 yaitu 2.8 MPa.



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan nilai kuat tekan
MG-7, MG-8, MG-8, dan MG-10

Pada Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan antara mortar ringan geopolimer 7 Molaritas, 8 Molaritas, 9 molaritas, dan 10 molaritas. Pada gambar 4.3 menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan seiring dengan pertambahan Molaritas dimana mortar ringan geopolimer 10 molaritas memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan mortar ringan geopolimer 7 molaritas, 8 molaritas, dan 9 molaritas.



Gambar 4. 4 Grafik nilai rata-rata kuat tekan mortar ringan geopolimer

Pada Gambar 4.10 menunjukkan Nilai Kuat Tekan Rata-rata pada mortar ringan 7 molaritas, 8 molaritas, 9 molaritas dan 10 molaritas. Seiring pada peningkatan konsentrasi NaOH yang digunakan dalam campuran aktivator semakin tinggi pula nilai kuat tekan mortar tersebut. Pada mortar ringan geopolimer 7 molaritas kuat tekan rata sebesar 0.4 MPa, sedangkan pada 8 molaritas nilai kuat tekan sebesar 1.1 MPa, pada 9 molaritas sebesar 1.70 MPa, pada 10 molaritas sebesar 2.27 MPa. Sehingga didapati kuat tekan tertinggi ada pada penggunaan NaOH sebesar 10 molaritas.

4.3.4 Porositas Mortar Geopolimer

Setelah penentuan komposisi mortar geopolimer, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji 5x5x5 cm untuk pengujian porositas mortar dilakukan setelah dilakukan perebusan selama 5 jam dan diangin-anginkan selama 14 jam.

Pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang benda uji dalam keadaan SSD dan menimbang berat semu benda uji. Setelah ditimbang kemudian dihitung

menggunakan rumus porositas untuk mengetahui presentase ruang kosong pada mortar.

a. Porositas mortar ringan geopolimer 7 molaritas

Hasil pengujian porositas setelah dilakukan penimbangan terhadap benda uji dalam keadaan SSD dan menimbang berat semu benda uji memiliki nilai porositas yang beragam yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 8 Nilai porositas MG-7 molaritas

No	Benda Uji	Berat Kering Oven (A) (gr)	Berat Jenuh Setelah Mendidih(C) (gr)	Berat Semu Terendam (D) (gr)	Volume Ruang Pori (%)
1	MG-7	102	148	13	34.074
2	MG-7	92	138	19	38.655
3	MG-7	95	135	25	36.364
4	MG-7	110	160	4	32.051
5	MG-7	102	148	13	34.074
6	MG-7	95	138	19	36.134
Rata-Rata					35.225

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat rata-rata porositas mortar ringan geopolimer 7 molaritas yaitu sebesar 35.225%

Dari tabel di atas nilai porositas mortar ringan geopolimer 7 molaritas pada sampel 1 yaitu 34.074%, pada sampel 2 sebesar 38.655%, pada sampel 3 sebesar 36.364%, pada sampel 4 sebesar 32.051%, pada sampel 5 sebesar 34.074%, pada sampel 6 sebesar 36,134%. nilai porositas tertinggi terdapat pada sampel 2 yaitu sebesar 38.655%

b. Porositas mortar ringan geopolimer 8 molaritas

Hasil pengujian porositas setelah dilakukan penimbangan terhadap benda uji dalam keadaan SSD dan menimbang berat semu benda uji memiliki nilai porositas yang beragam yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 9 Nilai porositas MG-8 molaritas

No	Benda Uji	Berat Kering Oven (A) (gr)	Berat Jenuh Setelah Mendidih(C) (gr)	Berat Semu Terendam (D) (gr)	Volume Ruang Pori (%)
1	Mg-8	102	140	0	27.143
2	Mg-8	98	136	0	27.941
3	Mg-8	106	144	8	27.941
4	Mg-8	103	143	11	30.303
5	Mg-8	94	127	10	28.205
6	Mg-8	117	154	15	26.619
Rata-Rata					28.025

Dari Tabel 4.9 dapat dilihat rata-rata porositas mortar ringan geopolimer 8 molaritas yaitu sebesar 28.025%

Dari tabel di atas nilai porositas mortar ringan geopolimer 8 molaritas pada sampel 1 yaitu 27.143%, pada sampel 2 sebesar 27.941%, pada sampel 3 sebesar 27.941%, pada sampel 4 sebesar 30.303%, pada sampel 5 sebesar 28.205%, pada sampel 6 sebesar 26.619%. nilai porositas tertinggi terdapat pada sampel 4 yaitu sebesar 30.303%.

Jika dibandingkan dengan nilai porositas mortar ringan geopolimer 7 molaritas maka terdapat penurunan nilai porositas ketika konsentrasi NaOH dinaikan menjadi 8 molaritas. Selisih rata-rata antara mortar ringan

geopolimer 7 molaritas dengan mortar ringan geopolimer 8 molaritas yaitu 20%

c. Porositas mortar ringan geopolimer 9 molaritas

Hasil pengujian porositas setelah dilakukan penimbangan terhadap benda uji dalam keadaan SSD dan menimbang berat semu benda uji memiliki nilai porositas yang beragam yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 10 Nilai Porositas MG-9 molaritas

No	Benda Uji	Berat Kering Oven (A) (gr)	Berat Jenuh Setelah Mendidih(C) (gr)	Berat Semu Terendam (D) (gr)	Volume Ruang Pori (%)
1	MG-9	121	163	13	28.000
2	MG-9	126	172	10	28.395
3	MG-9	129	174	6	26.786
4	MG-9	130	166	10	23.077
5	MG-9	128	172	8	26.829
6	MG-9	125	164	5	24.528
Rata-Rata					26.269

Dari Tabel 4.10 dapat dilihat rata-rata porositas mortar ringan geopolimer 9 molaritas yaitu sebesar 26.269%

Dari tabel di atas nilai porositas mortar ringan geopolimer 9 molaritas pada sampel 1 yaitu 28%, pada sampel 2 sebesar 28.395%, pada sampel 3 sebesar 26.786%, pada sampel 4 sebesar 23.077%, pada sampel 5 sebesar 26.829%, pada sampel 6 sebesar 24.528%. nilai porositas tertinggi terdapat pada sampel 2 yaitu sebesar 28.395%.

Jika dibandingkan dengan nilai porositas mortar ringan geopolimer 8 molaritas maka terdapat penurunan nilai porositas ketika konsentrasi NaOH

dinaikan menjadi 9 molaritas. Selisih rata-rata antara mortar ringan geopolimer 8 molaritas dengan mortar ringan geopolimer 9 molaritas yaitu 6.68%

d. Porositas mortar ringan geopolimer 10 molaritas

Hasil pengujian porositas setelah dilakukan penimbangan terhadap benda uji dalam keadaan SSD dan menimbang berat semu benda uji memiliki nilai porositas yang beragam yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 11 Nilai porositas MG-10

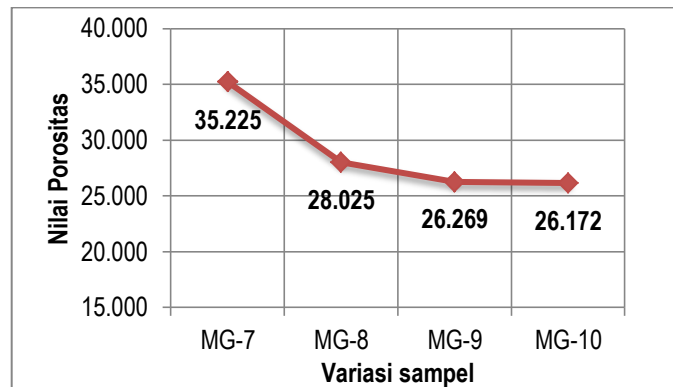
No	Benda Uji	Berat Kering Oven (A) (gr)	Berat Jenuh Setelah Mendidih(C) (gr)	Berat Semu Terendam (D) (gr)	Volume Ruang Pori %
1	MG-10	129	176	10	28.313
2	MG-10	140	182	8	24.138
3	MG-10	134	181	7	27.011
4	MG-10	142	190	10	26.667
5	MG-10	133	178	9	26.627
6	MG-10	140	182	9	24.277
				Rata-Rata	26.172

Dari Tabel 4.11 dapat dilihat rata-rata porositas mortar ringan geopolimer 9 molaritas yaitu sebesar 26.172%

Dari tabel di atas nilai porositas mortar ringan geopolimer 10 molaritas pada sampel 1 yaitu 28.313%, pada sampel 2 sebesar 24.138%, pada sampel 3 sebesar 27.011%, pada sampel 4 sebesar 26.667%, pada sampel 5 sebesar 26.627%, pada sampel 6 sebesar 24.277%. nilai porositas tertinggi terdapat pada sampel 1 yaitu sebesar 28.313%.

Jika dibandingkan dengan nilai porositas mortar ringan geopolimer 9 molaritas maka terdapat penurunan nilai porositas ketika konsentrasi NaOH dinaikan menjadi 10 molaritas. Selisih rata-rata antara mortar ringan

geopolimer 8 molaritas dengan mortar ringan geopolimer 10 molaritas yaitu 0.4%



Gambar 4. 5 Grafik nilai porositas rata-rata mortar ringan geopolimer

Pada Grafik 4.5 menunjukan porositas rata-rata pada mortar ringan 7 molaritas, 8 molaritas, 9 molaritas dan 10 molaritas. Seiring pada peningkatan konsentrasi NaOH yang digunakan dalam campuran aktivator semakin rendah pula nilai porositas mortar tersebut. Pada mortar ringan geopolimer 7 molaritas kuat tekan rata sebesar 35.225%, sedangkan pada 8 molaritas nilai kuat tekan sebesar 28.025% , pada 9 molaritas sebesar 26.269%, pada 10 molaritas sebesar 26.172%. Sehingga didapati nilai porositas tertinggi ada pada penggunaan NaOH sebesar 7 molaritas.

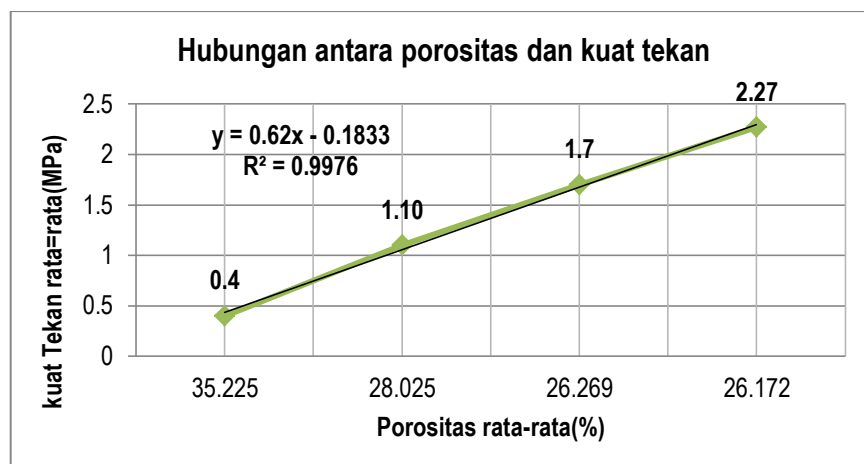
4.3.5 Hubungan Antara Kuat Tekan Dengan Porositas

Hubungan antara kuat tekan beton dan porositas dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4. 12 Hubungan Antara kuat tekan dan porositas

Variasi Konsentrasi Aktivator Naoh (M)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Porositas Rata-Rata (%)
7 M	0.4	35.225
8 M	1.1	28.025
9 M	1.70	26.269
10 M	2.27	26.172

Dari Tabel 4.12 dibuat grafik hubungan antara kuat tekan dan porositas seperti Grafik 4.6 berikut:



Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara kuat tekan dan porositas

Pengaruh antara porositas dan kuat tekan dinyatakan dengan persamaan $y = 0.62x - 0.1833$, dengan x adalah porositas rata-rata dan y adalah kuat tekan rata-rata. Dari grafik hubungan antar kuat tekan dan porositas tersebut didapat, pada pengujian mortar ringan geopolimer dengan menggunakan aktivator sebesar 7 molaritas didapat kuat tekanb rata-rata sebesar 0,4 MPa dan porositas sebesar 35.225%. mortar ringan geopolimer dengan menggunakan aktivator sebesar 8 molaritas didapat kuat tekan rata-rata sebesar 1.1 MPa dan porositas rata-rata sebesar 29.025%. pada mortar

ringan geopolimer dengan menggunakan kadar aktivator sebesar 9 molaritas didapat kuat tekan rata-rata sebesar 1.7 MPa dan porositas sebesar 26.269%. pada mortar ringan geopolimer dengan kadar aktivator sebesar 10 molaritas didapat kuat tekan rata-rata sebesar 2.27 MPa dan porositas sebesar 26.172%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dalam penelitian tentang “Pengaruh Kadar Aktivator (Naoh) Terhadap Sifat Mekanis Mortar Ringan Geopolimer”, maka didapat kesimpulan :

1. Penambahan aktivator (NaOH) terhadap mortar ringan geopolimer adalah dapat meningkatkan nilai kuat tekan seiring dengan penambahan variasi kadar aktivator. Pada mortar ringan geopolimer 7 molaritas kuat tekan rata sebesar 0.4 MPa, sedangkan pada 8 molaritas nilai kuat tekan sebesar 1.1 MPa, pada 9 molaritas sebesar 1.70 MPa, pada 10 molaritas sebesar 2.27 MPa. Sehingga didapati kuat tekan tertinggi ada pada penggunaan NaOH sebesar 10 molaritas.
2. Efek penambahan aktivator (NaOH) terhadap mortar ringan geopolimer adalah dapat menurunkan nilai porositas seiring dengan penambahan variasi kadar aktivator. Pada mortar ringan geopolimer 7 molaritas kuat tekan rata sebesar 35.225%, sedangkan pada 8 molaritas nilai kuat tekan sebesar 28.025% , pada 9 molaritas sebesar 26.269%, pada 10 molaritas sebesar 26.172%. Sehingga didapati nilai porositas tertinggi ada pada penggunaan NaOH sebesar 7 molaritas.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan Analisa data maka diberikan saran :

1. diperlukan penelitian lanjutan pada mortar ringan geopolimer dengan tambahan variasi aktivator (NaOH) di atas 10 molaritas untuk mengetahui

2. apakah ada penurunan atau peningkatan kuat tekan maupun porositas terhadap mortar ringan geopolimer
3. Dibuat standarisasi yang lebih jelas terkait pembuatan benda uji pada hal-hal teknis dilaboratorium

DAFTAR PUSTAKA

- Apsari, D. N. (2017). PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI MOLARITAS NaOH TERHADAP KUAT TEKAN . *Rekayasa Teknik Sipil*, 244.
- Hardjito, D. W., Sumajouw, D., & Rangan, B. (2005). Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *ACI Materials Journal*.
- kurniawan. (2021). KETAHANAN MORTAR DENGAN BAHAN TAMBAH FLY ASH PADA LINGKUNGAN ASAM.
- Louise K. Turner, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials*.
- Murdock L.J, & Brook K.M. (1980). *Bahan dan Praktek*. (H. Stepanus, Trans.) jakarta: Erlangga.
- Rachmalia, Q. (2018). PENGARUH URUTAN PENAMBAHAN ALKALI AKTIVATOR PADA BETON GEOPOLIMER. surabaya: PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL.
- Riyanto, E., Widyananto, E., & Renaldy, R. R. (2021). Analisis Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Silica Fume dan Kapur Tohor. *INERSIA*, 20.
- SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. (n.d.).
- SNI 03-6825-2002. Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan. (n.d.). Badan standarisasi Nasional.
- SNI-1726-2012. (n.d.). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Badan Sandarisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat . (1990).
- Sultan, M. A., Kusnadi, & Adingku, J. (2022). DETERMINATION OF GEOPOLYMER MORTAR CHARACTERIZATION USING FLY ASH AND PUMICE SAND. *International Journal of GEOMATE*, 89.
- susanto, T. E. (2016). *semen geopolimer*. PT. Semen Indonesia(persero),Tbk.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Pemeriksaan kadar lumpur

 UNIVERSITAS KHAIRUN FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN Kampus II, Kel. Gambesi Ternate Selatan				
Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat				
Pekerjaan : Tugas Akhir (T.A) Jenis Material : Pasir Sumb. Material : Pasir Batu Apung (Kel. Dowora) Berat Contoh (A): 1500 gr				
Dikerjakan : Devina P. Hastira Berat Contoh (B : 1500 gr				
Nomor contoh			A	B
Berat Talam	(gram)	(W ₁)	95.00	95.00
Berat contoh kering awal	(gram)	(W ₂)	1500.00	1500.00
Berat Talam + Contoh kering	(gram)	W ₃ = W ₁ + W ₂	1595.00	1595.00
Berat Talam + berat contoh kering setelah dicuci	(gram)	W ₄	1409.00	1396.00
Berat contoh kering setelah pencucian	(gram)	W ₅ = W ₄ - W ₁	1314.00	1301.00
Kadar Lumpur	%	$((W_2 - W_5)/W_2) \times 100\%$	12.40	13.27
Rata-rata			12.83	

Lampiran 2: Pemeriksaan kadar air

 LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS KHAIRUN Jl. Pertamina Kampus II Gambesi Kel. Gambesi, Ternate				
Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus				
Jenis Material : Pasir Sumb. Material : Lab. Struktur dan bahan Tgl. Pengujian : 18 Maret 2020 Berat Contoh (A) : 1500 gr Berat Contoh (B) : 1500 gr				
Dikerjakan : kelompok IV Diperiksa : Imran, ST., M. Eng				
Nomor contoh			A	B
Berat Talam	(gram)	(W ₁)	110.00	110.00
Berat contoh	(gram)	(W ₂)	1500.00	1500.00
Berat Talam + Contoh Basah	(gram)	W ₃ = W ₁ + W ₂	1610.00	1610.00
Berat Talam + Contoh Kering	(gram)	W ₄	1288.00	1234.00
Berat Air	(gram)	W ₅ = W ₃ - W ₄	322.00	376.00
Berat contoh kering oven	(gram)	W ₆ = W ₄ - W ₁	1178.00	1124.00
Kadar air	%	$((W_2 - W_6)/W_2) \times 100\%$	27.33	33.45
Rata-rata			30.39	

Lampiran 3: pemeriksaan berat volume

 UNIVERSITAS KHAIRUN FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN Kampus II, Kel. Gambesi Ternate Selatan				
Pemeriksaan Berat Volume Agregat				
Pekerjaan : Tugas Akhir (T.A) Jenis Material : Pasir Batu Apung Sumb. Material : Pasir Batu Apung (Kel. Dowora)				
Dikerjakan : Devina P.Hastira				
Kode	Keterangan	Kondisi Lepas		Rata - rata
		Sampel 1	Sampel 2	
A	Volume wadah (liter)	5.30	5.30	5.30
B	Berat wadah kosong (kg)	1.51	1.52	1.51
C	Berat wadah + benda uji (kg)	7.15	6.78	6.97
D	Berat benda uji (kg)	5.64	5.26	5.45
Berat volume = $\frac{D}{A}$ (kg/liter)		1.06	0.99	1.03
Kode	Keterangan	Kondisi Padat		Rata - rata
		Sampel 1	Sampel 2	
A	Volume wadah (liter)	5.30	5.30	5.30
B	Berat wadah kosong (kg)	1.50	1.52	1.51
C	Berat wadah + benda uji (kg)	7.66	7.43	7.55
D	Berat benda uji (kg)	6.16	5.91	6.04
Berat volume = $\frac{D}{A}$ (kg/liter)		1.16	1.12	1.14

Lampiran 4: Pemeriksaan Berat jenis

 UNIVERSITAS KHAIRUN FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN Kampus II, Kel. Gambesi Ternate Selatan				
Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat				
Pekerjaan : Tugas Akhir (T.A) Jenis Material : Pasir Sumb. Material : Pasir Batu Apung (Kel. Dowora) Berat Contoh (A) : 500 gr				
Dikerjakan : Devina P.Hastira Berat Contoh (B) : 500 gr				
Nomor contoh			A	B
Berat Picnometer	(gram)	(W ₁)	169.00	154.00
Berat Talam	(gram)	(W ₂)	229.00	230.00
Berat contoh Kering permukaan jenuh (SSD)	(gram)	(W ₃)	250.00	250.00
Berat Picnometer + air	(gram)	B	667.00	652.00
Berat Picnometer + air + contoh SSD	(gram)	B _t	719.00	718.00
Berat Talam + contoh kering oven	(gram)	(W ₄)	401.00	407.00
Berat contoh kering oven	(gram)	B _k = W ₄ - W ₂	172.00	177.00
Berat Jenis (Bulk) Kering Oven	(B _k) / (B + W ₃ - B _t)		0.87	0.96
	Rata - rata		0.92	
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	(W ₃) / (B + W ₃ - B _t)		1.26	1.36
	Rata - rata		1.31	
Berat Jenis Semu (Apparent)	(B _k) / (B + B _k - B _t)		1.43	1.59
	Rata - rata		1.51	
Penyerapan (Absorption)	((W ₃ -B _k) / B _k) x 100 %		45.35	41.24
	Rata - rata		43.30	

Lampiran 5: Pemeriksaan Analisa Saringan



UNIVERSITAS KHAIRUN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
Kampus II, Kel. Gambesi Temate Selatan

Pemeriksaan Analisa Saringan

Pekerjaan : Tugas Akhir (T.A)
Dikerjakan Oleh : Devina P.Hastira

Jenis Material : Pasir Batu Apung (Kel. Dowora)

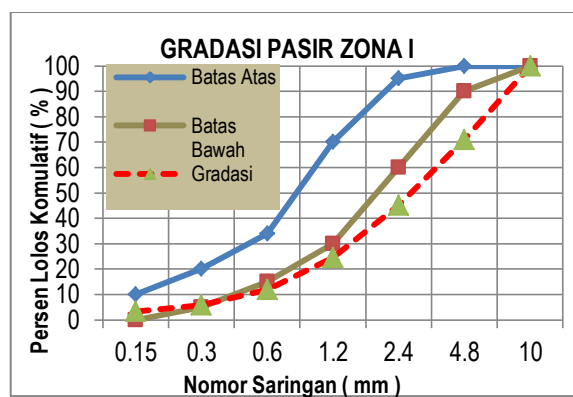
Berat Contoh (A) : 1500 gr
Berat Contoh (B) 0 1500 gr

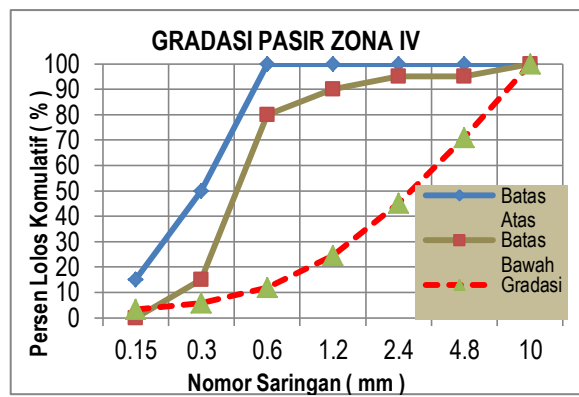
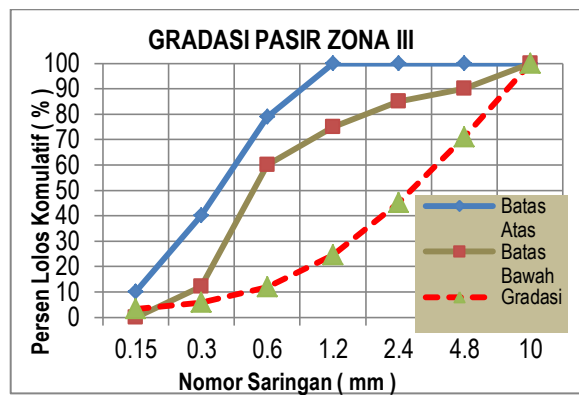
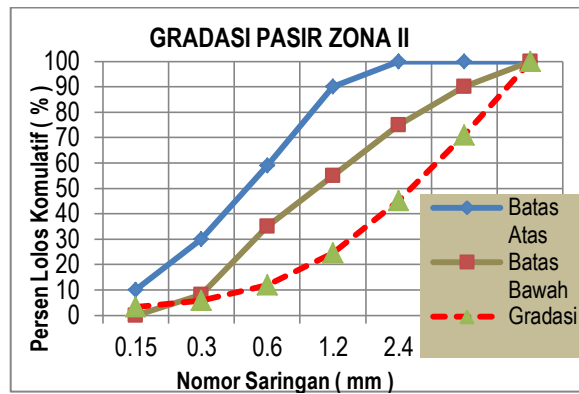
Ukuran Saringan		Berat Tertahan (gram)	Persen Berat Tertahan (%)	Persen Berat Tert. Komulatif	Persen Lolos Komulatif (%)	Berat Tertahan (gram)	Persen Berat Tertahan (%)	Persen Berat Tert. Komulatif	Persen Lolos Komulatif (%)	Persen Lolos Rata-rata	Spec.
ASTM	(mm)										
3/8 "	10.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
No. 4	4.80	532.00	35.56	35.56	64.44	337.00	22.47	22.47	77.53	70.99	90-100
No. 8	2.40	399.00	26.67	62.23	37.77	376.00	25.07	47.53	52.47	45.12	75-100
No. 16	1.20	284.00	18.98	81.22	18.78	335.00	22.33	69.87	30.13	24.46	55-90
No. 30	0.60	163.00	10.90	92.11	7.89	217.00	14.47	84.33	15.67	11.78	35-59
No. 50	0.30	68.00	4.55	96.66	3.34	109.00	7.27	91.60	8.40	5.87	8-30
No. 100	0.15	27.00	1.80	98.46	1.54	53.00	3.53	95.13	4.87	3.20	0-10
No. 200	Pan	23.00	1.54	-		73.00	4.87	-			
Jumlah		1496.00	100.00	466.24		1500.00	100.00	410.93			

Modulus Halus Butir (MHB) Pasir (P) Contoh A = $\frac{466.24}{100.00} = 4.66 \%$

Modulus Halus Butir (MHB) Pasir (P) Contoh B = $\frac{410.93}{100.00} = 4.11 \%$

Rata - rata = 4.39 %





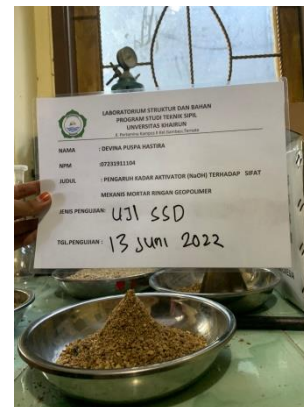
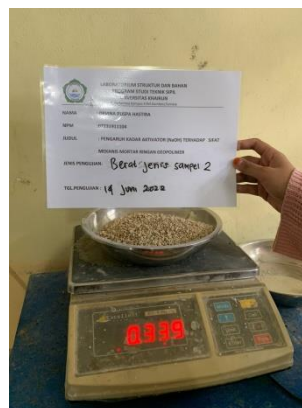
Lampiran 6: Dokumentasi Pengujian

Pengujian Kadar lumpur



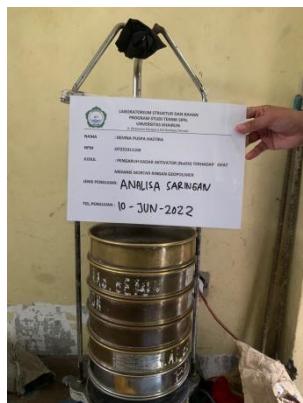
Pengujian Berat jenis



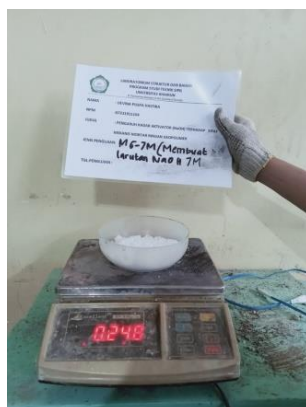


Pengujian Analisa Saringan





Pembuatan Larutan NaOH



Menimbang *Fly ash* dan Pasir Batu Apung



Mencampur *Fly Ash* Dengan Pasir Batu Apung





Mencampur Larutan Aktivator Dengan Campuran *Fly Ash* dan Pasir Batu Apung



Penampakan Campuran Setelah Dicampur Larutan Aktivator

(Motar ringan geopolimer 7 M)



(Motar ringan geopolimer 8 M)



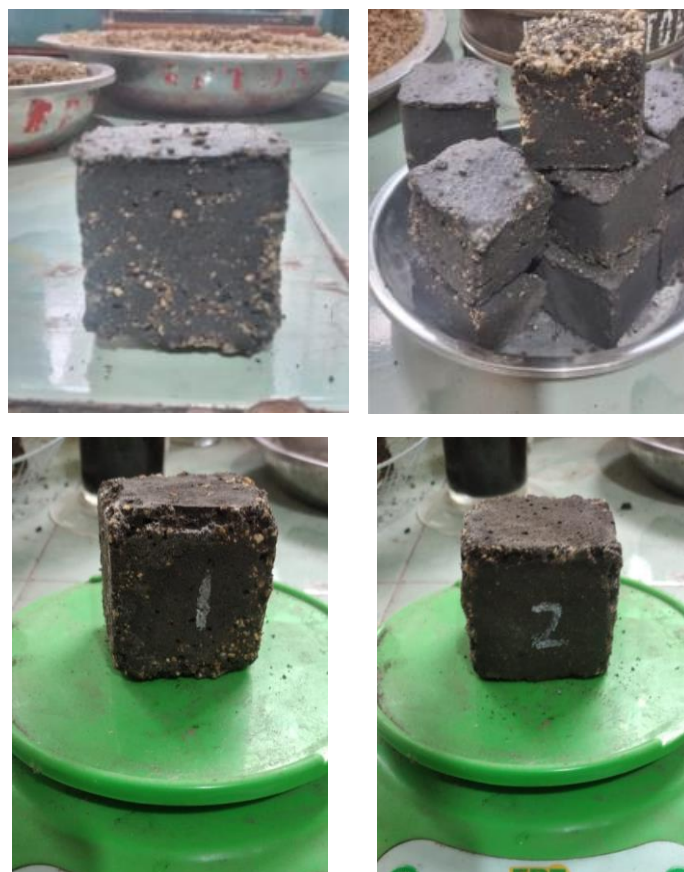
(Motar ringan geopolimer 9 M)



(Mortar ringan geopolimer 10 M)

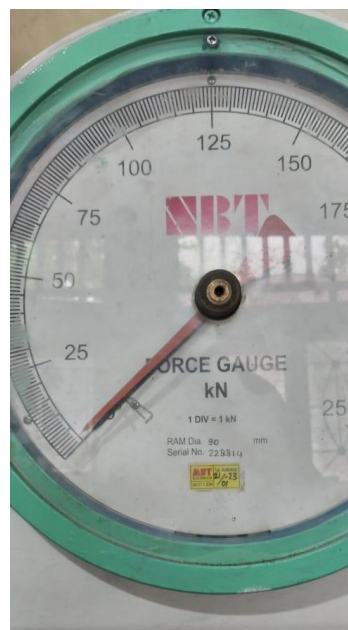


Penampakan Mortar Setelah Kering





Pengujian Kuat Tekan





Pengujian porositas

