

EFEK PERBANDINGAN NA/SI PADA GROUT MORTAR BERBAHAN SILICIA FUME DAN ACTIVATOR ALKALI

Aulia Sagita Maulidayanti¹, Aulia Rahman²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil³

Email: gita.maulidayanti1906@gmail.com aulia.rahman@polinema.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rasio molar natrium terhadap silika (Na/Si) yang optimum pada penggunaan larutan aktivator alkali terhadap kinerja fisik *grout mortar* yang diperkuat dengan *silica fume* (kandungan 5%). Penelitian ini adalah komposisi kimia yang mendasari reaksi geopolimerisasi meningkatkan kekuatan tekan material untuk perbaikan struktur konstruksi yang keropos. Data penelitian ini melibatkan komposisi kimia material yang dianalisis menggunakan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk menentukan parameter dasar campuran. Sampel yang digunakan berupa kubus mortar berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm yang diuji pada umur 7 dan 28 hari. Rasio Na/Si pada campuran aktivator alkali dan *silica fume* 0,2 : 0,3 ; 0,4 ; 0,6. Pengujian kuat tekan dilakukan secara mekanis untuk melihat pengaruh perubahan sifat kimia terhadap kemampuan fisik mortar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio Na/Si sebesar 0,4 menghasilkan optimal dengan nilai kuat tekan tertinggi 14,2 Mpa pada umur 7 hari dan 17,6 Mpa pada umur 28 hari, sedangkan nilai kuat terendah ditemukan pada rasio 0,6 dengan kuat tekan sebesar 10,6 Mpa pada umur 7 hari dan 12 Mpa pada 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan rasio molar sangat mengoptimalkan aktivator alkali pada *grout mortar* dan modulus rupture paling tertinggi rasio 0,3 adalah modulus tertinggi pada umur 7 hari. Rasio 0,2 adalah modulus rupture terendah pada umur 7 hari. Rasio 0,2 adalah modulus rupture tertinggi pada umur 28 hari. Rasio 0,6 adalah modulus rupture terendah pada umur 28 hari.

Kata kunci : *grout mortar*, aktivator alkali, rasio Na/Si

ABSTRACT

This study aims to determine the optimal molar ratio of sodium to silica (Na/Si) in the use of alkali activator solutions on the physical performance of mortar grout reinforced with silica fume (5% content). This study is based on the chemical composition underlying the geopolymerization reaction, which increases the compressive strength of materials for the repair of porous construction structures. The research data involved the chemical composition of the materials, which were analyzed using X-ray fluorescence (XRF) testing to determine the basic parameters of the mixture. The samples used were 5 cm x 5 cm x 5 cm mortar cubes that were tested at 7 and 28 days of age. The Na/Si ratio in the mixture of alkali activator and silica fume was 0.2:0.3, 0.4, and 0.6. Compressive strength tests were performed mechanically to observe the effect of changes in chemical properties on the physical properties of the mortar. The results showed that a Na/Si ratio of 0.4 produced optimal results with the highest compressive strength of 14.2 MPa at 7 days and 17.6 MPa at 28 days, while the lowest strength values were found at a ratio of 0.6 with compressive strengths of 10.6 MPa at 7 days and 12 MPa at 28 days. This indicates that the molar ratio balance greatly optimizes the alkali activator in grout mortar, and the highest modulus rupture ratio of 0.3 is the highest modulus at 7 days. The 0.2 ratio had the lowest modulus of rupture at 7 days. The 0.2 ratio had the highest modulus of rupture at 28 days. The 0.6 ratio had the lowest modulus of rupture at 28 days.

Keywords : *grout mortar*, activator alkali, and Na/Si ratio

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen Portland) dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002). Dengan berkembangnya berbagai inovasi di Indonesia, dalam pembuatan mortar terdapat bahan campuran material penyusun mortar dengan menggunakan bahan tambahan lain yang memiliki sifat mengisi rongga-rongga udara diantara agregat (filler) dan pasta semen sehingga campuran mortar mengalami proses penjenjutan lebih rapat (Sopa N.R et al., 2023). Aktivator alkali dalam grout mortar berbahan silica fume adalah untuk mengaktifkan silica fume secara kimiawi. Larutan alkali juga menentukan rasio kimia Na/Si, yang secara langsung memengaruhi kecepatan reaksi, struktur mikro, dan kekuatan mekanik akhir dari mortar. Rasio Na/Si yang terlalu tinggi dapat menyebabkan struktur retak, sedangkan rasio terlalu rendah menghasilkan reaksi lambat dan kekuatan rendah. Chi, M., & Huang, R. (2013). Oleh karena itu, pengaturan rasio kimia aktivator alkali yang tepat untuk mendapatkan grout mortar dengan sifat mekanik dan ketahanan yang maksimal mempengaruhi sifat fisik (workability) waktu pengerasan, dan durabilitas grout mortar. Penelitian ini bertujuan pengaruh perbandingan rasio terhadap silika (Na/Si) dalam grout mortar berbasis silica fume dan aktivator alkali terhadap karakteristik fisik. Oleh karena itu, penelitian ini secara khusus untuk menemukan rasio Na/Si yang optimal, yaitu perbandingan kimia yang mampu menghasilkan grout mortar dengan performa terbaik—kuat secara mekanik, stabil secara mikrostruktur, dan layak sebagai alternatif material konstruksi ramah lingkungan. “Efek Perbandingan Na / Si Pada Grout Mortar Berbahan Silicia Fume Dan Activator Alkali”

Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisis karakteristik fisik material penyusunan grout mortar tentang pengujian gradasi, berat jenis semen dan agregat halus, konsistensi normal semen, waktu pengikat semen, kehalusan semen, berat isi agregat halus, kadar air agregat halus ?
2. Bagaimana menganalisis sifat kimia penyusun grout mortar ?
3. Bagaimana pengaruh rasio Na / Si terhadap nilai kuat tekan, tegangan, regangan dan modulus rupture pada grout mortar ?

Penelitian Terdahulu

Aulia Rahman, et.al (2024), Pengaruh Pemberian Silica Fume Terhadap Kekuatan Tekan Grout Mortar Dengan Pendekatan Practical Mixed Design Sebagai langkah awal dalam penelitian, digunakan grout mortar sebagai substansi yang lebih sederhana namun tetap memiliki komposisi identik dengan beton. Pengujian dilakukan pada sampel mortar berukuran 5 x 5 x 5 cm. Hasil kuat tekan teoritis menunjukkan angka 33,43 MPa pada umur 7 hari dan 42,79 MPa pada umur 28 hari, mendekati hasil uji aktual yaitu 30,2 MPa pada 7 hari dan 47,7 MPa pada 28 hari. Seluruh variasi silica fume menunjukkan penurunan kekuatan yang konsisten pada kedua umur tersebut. Variasi 5% pada umur 7 hari menjadi yang paling mendekati spesimen kontrol dengan nilai 29,7 MPa. Seperti yang diantisipasi, kekuatan terendah pada akhir pengujian ditemukan pada proporsi 15%, menghasilkan hanya 39,2 MPa.

Kumar & Reddy (2014), *Effect of NaOH concentration on geopolymer strength*, Penambahan NaOH dengan konsentrasi 10M pada rasio Na/Si 0.4 menghasilkan kekuatan tekan mencapai 55 MPa. Kekuatan menurun bila konsentrasi NaOH terlalu tinggi (>12M). interaksi antara molaritas larutan dan rasio Na/Si secara simultan.

Jianping Liu, Xiangyu Li, Yisi Lu, Xiaohong Bai (2020), Effects of Na/Al ratio on mechanical properties and microstructure of red mud-coal metakaolin geopolymers (2020) pengaruh berbagai rasio molar Na/Al terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari geopolimer tersebut. Ketika rasio Na/Al sebesar 1,0, RM-CMK menunjukkan kekuatan tekan 28 hari tertinggi sebesar 56,2 MPa dan regangan puncak sekitar 2%. Namun, saat rasio Na/Al terlalu tinggi, kekuatan tekan menurun karena terjadi karbonasi — yaitu kelebihan alkali bereaksi dengan CO₂ di udara. Ketika Na/Al = 1,0,

Pengujian Kuat Tekan Grout Mortar Berbahan Silicia Fume Dan Aktivator

Menurut (Trian, 2015) kuat tekan menentukan kekuatan dan standar kualitas beton. Komposisi agregat, pengikat, dan berbagai campuran berpengaruh terhadap kualitas beton. Standart uji kuat tekan diatur pada (SNI 03-6825-2002) kekuatan tekan beton adalah nilai yang digunakan untuk menilai seberapa kuat campuran benda uji tersebut dapat menahan beban atau tekanan. Sebuah benda uji yang terbuat dari campuran semen portland, pasir, dan air berbentuk kubus dengan ditempatkan di bawah mesin kompresi, kemudian akan ditekan dengan penambahan gaya hingga mencapai batas keruntuhan untuk menentukan kekuatan tekanannya.

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

σ = Tegangan Kuat Tekan Ultimit beton (N/mm²)

P = Gaya Tekan Maksimum (N)

A = Luas Permukaan Tertekan Benda Uji (mm²)

Grout Mortar Berbahan Silicia Fume

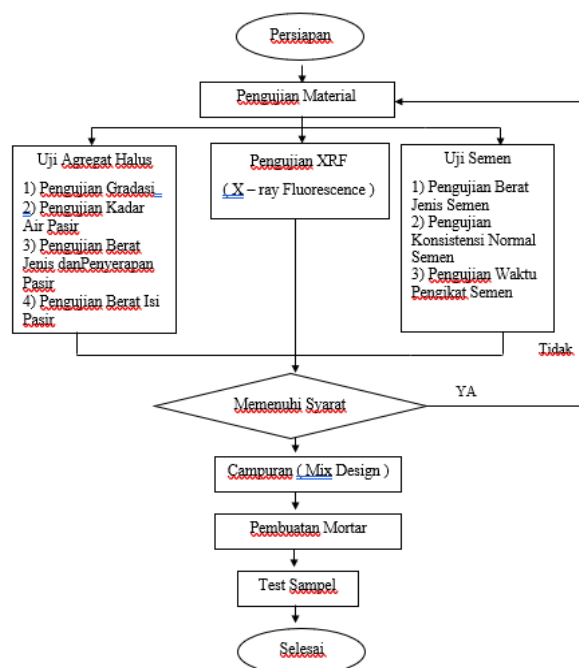
Menurut Temuujin (2009) yang menyatakan bahwa pada sistem yang hanya mengandung silika dan diberi aktivator natrium, struktur yang terbentuk bukan geopolimer dalam pengertian klasik (aluminosilikat), tetapi struktur gel silikat termodifikasi oleh ion natrium, yang tetap memberikan sifat mekanik tinggi dan ketahanan kimia yang baik jika dikontrol dengan rasio Na/Si yang tepat.

Menurut Duxson (2007) *silica fume* bertindak sebagai bahan sumber silikat aktif atau disebut juga precursor. Prekursor ini, ketika dicampur dengan larutan alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃), akan mengalami proses pelarutan parsial, di mana struktur amorf silika terurai menjadi ion-ion silikat (SiO₄⁴⁻) yang kemudian berinteraksi dengan ion aluminat (jika tersedia) atau tetap membentuk jaringan silikat.

Rasio Na₂SiO₃/NaOH

Menurut Davidovits (2005), Rasio antara sodium silicate (Na₂SiO₃) dan sodium hydroxide (NaOH) merupakan salah satu parameter krusial dalam sistem aktivator alkali yang menentukan performa mekanik, karakteristik pengerjaan (*workability*), waktu ikat, dan durabilitas grout mortar geopolimer. Kombinasi dari kedua bahan ini membentuk suatu sistem basa-silikat yang mampu melarutkan dan kemudian membentuk struktur geopolimer yang kuat dan stabil. Pemilihan rasio Na₂SiO₃/NaOH yang tepat sangat penting karena kedua komponen tersebut memiliki peran kimia dan fisik yang saling melengkapi. NaOH (sodium hydroxide) berfungsi utama sebagai penyedia ion OH⁻ yang meningkatkan pH larutan. Hal ini penting untuk memulai proses pelarutan (dissolution) silika dan alumina dari bahan sumber pozzolan seperti fly ash, slag, atau silica fume. Na₂SiO₃ (sodium silicate) berfungsi sebagai sumber silika tambahan yang mempercepat proses polikondensasi, membentuk gel geopolimer, serta meningkatkan densitas dan kekuatan akhir material.

2. METODOLOGI



Gambar 3.1 Bagan Alir

Sumber: Dokumen Pribadi

Pembuatan benda uji mortar berbahan silicia fume dan aktivator alkali

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu, mempersiapkan bahan-bahan antara lain :

- Pasir dalam keadaan kering oven dan gradasi sesuai zona 1, 2, 3, atau 4 sesuai dengan SNI 03-2834-2000.
- Semen dalam keadaan kering oven dan sudah lolos setidaknya saringan no.100.
- Seperangkat alat mixer.
- Seperangkat cetakan mortar kubus ukuran 5 x 5 x 5 yang sudah dilunasi
- Cawan
- Sendok Pengaduk
- Timbangan Digital
- Seperangkat Alat Universal Testing Machine
- Wadah Curing
- Timbangan semen sebanyak 658.83 gr, pasir 613.75 gr, dan silica fume 34.68 gr sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya. Campuran ini digunakan sebagai *initial mixture* yang kemudian akan divariasi lagi kadarnya.
- Sediakan Larutan natrium silica (Na₂SiO₃) dan natrium hidroksida (NaOH), kemudian dicampur dengan proporsi 2 :1 sebagai *initial ratio* yang juga akan divariasikan lagi. Larutan ini dicampur dengan bahan padatan berupa pasir, semen, dan silica fume dengan konsentrasi kadar air mendekati 348,78 gr.

Tabel 3.1 Komposisi Sampel

No.	Na ₂ SiO ₃ (gr)	NaOH Na ₂ SiO ₃	NaOH (gr)	Solid (gr)
1	70	0,500	35.00	1307,260
2	90	0,760	68.400	1307,260
3	110	0,955	105.00	1307,260
4	150	0,955	188.300	1307,260
No.	SiO ₂ (mol)	H ₂ O++ (gr)	SiO ₂ Na O	Na/Si
1	2,768	284,030	35.00	0,201
2	2,868	247,980	68.400	0,301
3	2,968	209,493	105.00	0,400
4	3,168	125,000	188.300	0,601

Sumber: Hasil Perhitungan

Jumlah Sampel

Tabel 3.2 Jumlah Sampel

No.	Rasio Na/Si	7 Hari	28 Hari	Total
1	0,2	2	3	5
2	0,3	2	3	5
3	0,4	2	3	5
4	0,6	2	3	5

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel Komposisi Campuran

Komposisi Campuran

3 Variasi, Total Benda Uji 20, Terdiri Dari Benda Uji

Perlakuan Benda Uji dengan Perlakuan Kompresi

- 1) Kompresi dilakukan dengan menggunakan mesin hidrolik
- 2) Diberikan Segera Setelah Percetakan Sebelum Mortar Mengeras
- 3) Tujuan Meningkatkan Kepadatan dan Mengurangi Porositas

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penyusunan Karakteristik Fisik Penyusunan Grout Mortar.

Karakteristik fisik material penyusun grout mortar, pengujian gradasi dengan berat sampel 500 gram, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus berat jenis kering *bulk dry specific gravity* = 2,643 gr/cc, berat jenis jenuh permukaan kering *saturated surface dry* = 2,663 gr/cc, berat jenis semu *apparent specific gravity* = 2,697 gr/cc, penyerapan = 0,75. Pengujian berat isi agregat halus, berat isi lepas = 1,506 kg/cm³, berat isi penusuk = 1,628 kg/ cm³, berat isi penggoyangan = 1,630 kg/ cm³. Pengujian berat isi semen, berat isi lepas = 0,96 kg/ cm³, berat isi penusuk = 1,192 kg/ cm³, berat isi penggoyangan = 1,17 kg/ cm³. Pengujian berat jenis semen, berat jenis 1 = 2,962 kg/ cm³ berat jenis 2 = 2,949 kg/ cm³ Selisih 0,013 kg/ cm³, kehalusan semen = 49,7

Pengujian konsistensi normal, benda uji 1 = 28% penetrasi / penurunan = 9, benda uji 2 = 29% penetrasi / penurunan 11, benda uji 3 = 30% penetrasi / penurunan 15, konsisten normal saat penurunan 10 ± 1 mm. Pengujian waktu ikat semen, 210 menit dengan mendapatkan penurunan 22 mm.

Penentuan Sifat Kimia Penyusunan Grout Mortar

Berdasarkan hasil pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) yang dilakukan di Universitas Negeri Malang. Karena Unsur SiO₂ Memiliki Kadar Paling Besar Yaitu 11,1 % (tinggi → potensi pembentukan silikat kuat) Na₂O tidak muncul pada hasil XRF → artinya bahan dasar belum dicampur dengan aktivator alkali.

18-jul-2025 08:17:00

Sample results

Page 1

Sample ident

XRF 469

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	18-jul-2025 07:55:36
Position	3

Compound	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	CuO	SrO	MoO3
Conc	2.3	11.1	0.06	71.0	0.63	0.03	0.051	0.14	9.06	0.072	0.24	3.0
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	In2O3	BaO	Eu2O3
Conc	2.0	0.2	0.2
Unit	%	%	%

Gambar 4.2 XRF

Sumber: Hasil Dari Lab

Karena Unsur Si (Silikon) Memiliki Kadar Paling Besar Yaitu 6,49 % Kalsium (Ca) Sebesar 74,9 % menunjukan bahwa sampel ini berupa material berkapur atau mengandung mineral (CaCO₃) Silikat (Si) Sebesar 6,49% Berperan penting dalam membentuk struktur silikat karena Kadar Si cukup besar, maka rasio Na/Si digunakan dalam perhitungan Mix design geopolimer untuk menentukan reaktivitas alkali terhadap silika.

18-jul-2025 08.02.40

Sample results

Page 1

Sample ident													
XRF 469													

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	18-jul-2025 07:55:36
Position	3

Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Sr	Mo	In	Ba
Conc	1.5	6.49	0.06	74.9	0.60	0.03	0.056	0.17	10.3	0.095	0.33	2.6	2.4	0.2
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Eu
Conc	0.3
Unit	%

Gambar 4.3 XRF

Sumber: Hasil Dari Lab

Dari Penelitian Sebelumnya, untuk mengurangi atau menggantikan semen yang ramah lingkungan,

Hasil pengujian komposisi kimia bahan penyusun grout mortar berbasis silica fume serta pengaruh rasio Na/Si dari aktivator alkali terhadap karakteristik campuran. Analisis dilakukan dengan menggunakan uji X-Ray Fluorescence (XRF) untuk mengetahui kadar oksida utama, yaitu SiO₂, Al₂O₃, CaO, dan Fe₂O₃, yang kemudian digunakan dalam perancangan *mix design* dengan berbagai rasio Na/Si.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa bahan dasar memiliki kandungan CaO sangat tinggi (71%) dan SiO₂ sebesar 11,1%, dengan sedikit kandungan Al₂O₃ dan Fe₂O₃. Kandungan SiO₂ yang cukup besar menunjukkan bahwa bahan ini memiliki potensi sebagai sumber silika aktif yang akan bereaksi dengan alkali.

- Hasil Perhitungan Kimia

Semen + Pasir + Air

Silicia Fume = 5% dari jumlah semen

Semen = 658 Gram

Silicia Fume = 34 Gram

Pasir = 613 Gram

H₂O = 348 Gram

Aktivator Alkali dibagi menjadi 2

Na₂SiO₃ dan NaOH (Na / Si)

Dimisalkan Na₂SiO₃ = 100 Gram

Na₂SiO₃ :

- Si O₂ = 30% Silikat Oksida

- Na₂O = 15% Natrium Oksida

- H₂O = 55%

Total 100 %

Na₂SiO₃ (100 Gran) :

$$1) \text{ Si O}_2 = 30\% = 100 \times \frac{30}{100} = 30 \text{ gram}$$

$$2) \text{ Na}_2\text{O} = 15\% = 100 \times \frac{15}{100} = 15 \text{ gram}$$

$$3) \text{ Na}_2\text{O} = 55\% = 100 \times \frac{55}{100} = 55 \text{ gram}$$

Na/Si :

Si = 28 Na = 23 H = 1 Na₂SiO₃ = Dari Toko Kimia (Cair)

O₂ = 16 O = 16 NaOH = Padat + Cair = (25%) + Air (75%)

$$\text{SiO}_2 = 28 + (16 \times 2) = 60$$

$$\text{Na}_2\text{O} = (2 \times 23) + 16 = 62$$

$$\text{H}_2\text{O} = (2 \times 1) + 16 = 18$$

$$\text{SiO}_2 = 30 \text{ Gram} = \frac{30}{60} = 0,5 \text{ mol}$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 15 \text{ Gram} = \frac{15}{62} = 0,24 \text{ mol}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 55 \text{ Gram} = \frac{55}{18} = 3,05 \text{ mol}$$

1. Massa prekursor yang hendak dicampur dengan aktivator.

2. Massa SiO₂ reaktif dalam prekursor tersebut. (didapat dari test XRF)

3. Jumlah mol SiO₂ reaktif dalam prekursor tersebut. Didapat dengan membagi massa silikat reaktif dengan bilangan gram per molar. (SiO₂ = 60)

4. Massa SiO₂ reaktif dalam prekursor tersebut. (didapat dari test XRF)

$$5. \text{NaOH} = 39,5 \% \times \text{Na}_2\text{SiO}_3 (100 \text{ gram}) = \text{Mol NaOH} = 39,5 \% \times 100 = 39,5 \text{ gram}$$

$$6. \text{Na}_2\text{SiO}_3 = \text{Pabrik (Cair) Pelled}$$

$$7. \text{NaOH} = \text{Padat (25 \%)} + \text{Air (75\%)}$$

$$8. \text{NaOH (Cair)} = 39,5 \text{ gram}$$

$$9. \text{NaOH Padat / pelled} = 25\% \times 39,5 = 9,87 \text{ gram}$$

$$10. \text{Mol NaOH} = \frac{9,87 \text{ gram}}{40} = 0,24$$

$$11. \text{NaOH} = \text{Na}_2\text{O} = 0,24 \text{ mol} \times \frac{1}{2} \text{ kimia} = 0,12 \text{ mol}$$

$$12. \text{Air} = \frac{75}{100} \times 39,5 = 29,6 \text{ gram}$$

$$13. \text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1) \text{ SiO}_2 = 0,5 \text{ mol} 2) \text{ Na}_2\text{O} = 0,4 \text{ mol} 3) \text{ H}_2\text{O} = 55 \text{ gram}$$

$$14. \text{NaOH} = 1) \text{ Na}_2\text{O} = 0,12 \text{ mol} 2) \text{ H}_2\text{O} = 29,6 \text{ gram}$$

$$\text{Jadi SiO}_2 = 0,5 \text{ mol Na}_2\text{O} = 0,24 + 0,12 = 0,36 \text{ mol H}_2\text{O} = 55 \text{ gram} + 29,6 \text{ gram} = 84,6 \text{ gram}$$

$$15. \text{Mortar} = \text{Silikat (Na}_2\text{SiO}_3) + \text{alkali (NaOH)}$$

$$16. \text{Pasir} + \text{Semen} + \text{Silicia Fume (Hasil Uji XRF)} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$$

$$17. \text{Hasil Uji XRF} = \text{SiO}_2 = 11,1 \%$$

$$18. \text{Total} = 1305 \text{ gram}$$

$$19. \text{SiO}_2 = 11,1 \% \times 1305 \text{ gram} = 144,855 \text{ gram}$$

$$20. \text{SiO}_2 = \frac{144,855}{60} = 2,41 \text{ mol}$$

$$\text{Total Mortar} = \text{SiO}_2 = 0,5 (\text{Aktivator Alkali}) + 2,41$$

$$(\text{XRF}) = 2,91 \text{ mol}$$

$$21. \text{Na}_2\text{O} = 0,36 \text{ mol}$$

$$22. \text{H}_2\text{O} = 84,6 \text{ gram}$$

$$23. \text{Na/Si} = 1) \text{ Na}_2\text{O} \times 2 = 0,36 \text{ mol}$$

$$24. \text{SiO}_2 = 2,91$$

$$25. \frac{\text{Na}_4\text{O}_2}{\text{Si O}_2} = \frac{\text{Na}}{\text{Si}} = \frac{0,36 \times 2}{2,91} = 0,25$$

$$26. \text{Semen} = 658 \text{ gram Pasir} = 613 \text{ gram Silicia Fume} = 34 \text{ gram}$$

$$27. \text{Contoh 1 : Na}_2\text{SiO}_3 = 100 \text{ gram NaOH} = 39,5 \text{ gram}$$

$$\text{Air} = 84,6 \text{ gram Air} = 348 \text{ gram} - 264 \text{ gram}$$

$$28. \text{Contoh 2 : Na}_2\text{SiO}_3 = 200 \text{ gram NaOH} = 91,2 \text{ gram}$$

$$\text{Air} = 170,15 \text{ gram Air} = 348 \text{ Gram} - 178,4 \text{ gram}$$

Analisis Pengaruh Na/Si Kuat Tekan Dan Modulus rupture Grout Mortar



Gambar 4.5 Grafik Kuat Tekan 7 Hari

Sumber: Hasil Perhitungan

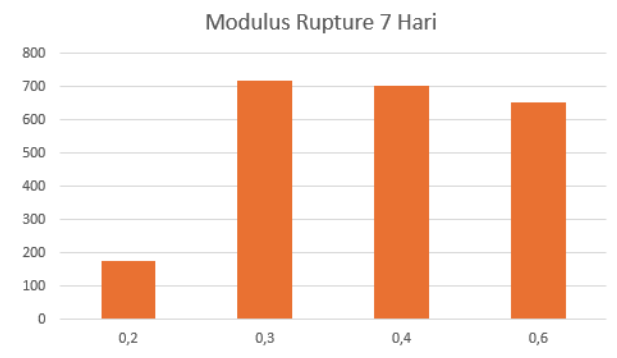
Kuat Tekan Tertinggi: Rasio Na/ Si 0,4 mencapai nilai kuat tekan tertinggi sekitar 14 MPa pada umur 7 hari. Rasio Na/ Si 0,6 menghasilkan kuat tekan terendah kedua sekitar 10 MPa. Rasio alkali yang terlalu tinggi.



Gambar 4.6 Grafik Kuat Tekan 7 28 Hari

Sumber: Hasil Perhitungan

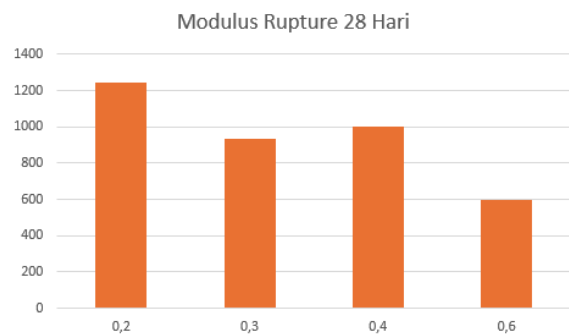
Rasio Na/ Si 0,4 secara konsisten menunjukkan kinerja optimal di awal (7 hari) dan kinerja yang sangat kuat di akhir (28 hari) Kuat tekan awal yang sangat baik, menunjukkan reaksi yang optimal. Rasio Na/ Si 0,6 adalah komposisi alkali berlebihan.



Gambar 4.7 Grafik Modulus 7 Hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Rasio Na/ Si 0,3 adalah modulus tertinggi pada umur 7 hari. Rasio Na/ Si 0,2 adalah modulus terendah pada umur 7 hari.



Gambar 4.8 Grafik Modulus 28 Hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Rasio Na/ Si 0,2 adalah modulus tertinggi pada umur 28 hari. Rasio Na/ Si 0,6 adalah modulus terendah pada umur 28 hari.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan harus ditulis berdasarkan hasil penelitian, pembahasan, dan temuan yang telah ditulis pada sebelumnya dan sesuai dengan tujuan penelitian, ditulis singkat dan jelas dengan urutan sesuai dengan tujuan penelitian.

1. Karakteristik fisik material penyusun grout mortar, pengujian gradasi dengan berat sampel 500 gram, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus berat jenis kering *bulk dry specific gravity* = 2,643 gr/cc, berat jenis jenuh permukaan kering *saturated surface dry* = 2,663 gr/cc, berat jenis semu *apparent specific gravity* = 2,697 gr/cc, penyerapan = 0,75. Pengujian berat isi agregat halus, berat isi lepas = 1,506 kg/cm³, berat isi penusuk = 1,628 kg/cm³, berat isi penggoyangan = 1,630 kg/cm³. Pengujian berat isi semen, berat isi lepas = 0,96 kg/cm³, berat isi penusuk = 1,192 kg/cm³, berat isi penggoyangan = 1,17 kg/cm³. Pengujian berat jenis semen, berat jenis 1 = 2,962 kg/cm³ berat jenis 2 = 2,949 kg/cm³ Selisih 0,013 kg/cm³

cm³, kehalusan semen = 49,7 Pengujian konsistensi normal, benda uji 1 = 28% penetrasi / penurunan = 9, benda uji 2 = 29% penetrasi / penurunan 11, benda uji 3 = 30% penetrasi / penurunan 15, konsisten normal saat penurunan 10 ± 1 mm. Pengujian waktu ikat semen, 210 menit dengan mendapatkan penurunan 22 mm.

2. Setelah dilakukan uji XRF, didapat bahwa kadar silika pada penelitian sebelumnya berada di angka 11,1 % dalam ikatan oksida SiO₂. Sedangkan kadar aluminium tercatat sebesar 2,3% pada senyawa oksida Al₂O₃. Sehingga, pada asumsi massa padatan total seberat 1307,26 gr, didapat kadar SiO₂ sebesar 2,418 mol dan Na₂O sebesar 0,295 mol.

3. Dengan mencampurkan larutan activator alkali, didapat perubahan rasio Na/Si sebesar 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,6. Campuran dengan kadar di atas 0,6 menyebabkan kelecakan grout mortar tidak terpenuhi, atau campuran terlalu padat. Penambahan larutan alkali berupa natrium silikat (Na₂SiO₃) untuk mendapatkan rasio Na/Si sebelumnya adalah sebesar, 70 gr untuk Na/Si 0,2 ; 90 gr untuk Na/Si 0,3; 110 gr untuk Na/Si 0,4 dan 150 gr untuk Na/Si 0,6. jika fisik menunjukkan kuat tekan rata-rata mencapai 11,2 MPa untuk kadar Na/Si 0,2; 12,2 MPa untuk Na/Si 0,3 ; 14,2 MPa untuk Na/Si 0,4 dan 10,6 MPa untuk Na/Si 0,6 pada usia yang sama yaitu 7 hari. Sedangkan pada 28 hari didapatkan 17,33 MPa untuk kadar Na/Si 0,2; 17,06 MPa untuk Na/Si 0,3 ; 17,6 MPa untuk Na/Si 0,4 ; dan 12 MPa untuk Na/Si 0,6. Modulus rupture Rasio 0,3 adalah modulus tertinggi pada umur 7 hari. Rasio 0,2 adalah modulus terendah pada umur 7 hari. Sedangkan Rasio 0,2 adalah modulus tertinggi pada umur 28 hari, Rasio 0,6 adalah modulus terendah pada umur 28 hari. Pengaruh r² perubahan rasio Na/Si umur 7 hari rasio 0,3 memberikan tertinggi menunjukkan fase awal keseimbangan antara activator dan silikat lebih baik sedangkan umur 28 hari rasio 0,2 tertinggi. Hal ini bahwa rasio alkali yang lebih rendah 0,2 membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kekuatan maksimumnya menghasilkan struktur yang lebih stabil sedangkan titik terendah rasio 0,6 memberikan hasil terendah karena struktur mortar terlalu padat dan adanya retakan akibat penyusutan alkali yang tinggi. Penambahan Na₂SiO₃ (Natrium Silikat) meningkatkan kekentalan cairan activator. Semakin tinggi alkali, reaksi polimerisasi terjadi sangat cepat sehingga mortar menjadi terlalu kaku / padat. Rasio 0,4 adalah rasio paling efektif untuk mencapai kuat tekan maksimal, sementara rasio 0,2 lebih unggul untuk modulus rupture jangka panjang. Penggunaan rasio 0,6 tidak disarankan karena merusak sifat fisik (kelecakan) dan menurunkan kualitas mekanik.

Saran

Perlu menambahkan pengujian kelecakan atau flow campuran mortar untuk mendapatkan syarat grout mortar yang sesuai, karena pada beberapa variasi ditemukan penggumpalan dan kepadatan campuran yang meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Aulia Rahman et.al, (2024) Pengaruh Pemberian Silica Fume Terhadap Kekuatan Tekan Grout Mortar Dengan Pendekatan Practical Mixed Design
- 2) Chi, M., & Huang, R. (2013). *Effect of alkali concentration and SiO₂/Na₂O ratio on the properties of geopolymer*. Construction and Building Materials
- 3) Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & van Deventer, J. S. J. (2007). Geopolymer technology: The current state of the art. *Journal of Materials Science*,
- 4) Kumar, S., & Reddy, M. S. (2014). Effect of NaOH concentration on geopolymer strength. *International Journal of Civil Engineering and Technology*.
- 5) Jianping Liu, Xiangyu Li, Yisi Lu, Xiaohong Bai (2020), *Effects of Na/Al ratio on mechanical properties and microstructure of red mud-coal metakaolin geopolymers (2020)*.
- 6) SNI 03 – 2834 - 2000. Tata Cara pembuatan beton normal. Badan Standart Nasional.
- 7) Sopa N.R et al, (2023), “Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton Fc’25
- 8) Temuujin, J. (2010). Influence of alkali content on mechanical properties of fly ash-based geopolymers. *Journal of Hazardous Materials*
- 9) Trian. Y., Sumajouw. D. M. D. J., & Windah. R. S. (2015). Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*.