

Pengaruh Nanomaterial Abu Granit terhadap Karakteristik Mortar

Sandy Desabel Ramadhika^{1*}, Eka Juliafad²

^{1,2}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, 25132 Indonesia

*Corresponding author, e-mail: sandyramadhika1919@gmail.com

Received 2nd May 2023; 1st Revision 9th June 2023; Accepted 20th June 2023

DOI: <https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.121789>

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang penggunaan nanomaterial abu granit yang digunakan sebagai bahan tambahan semen dalam pembuatan mortar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium. Alasan penggunaan nanomaterial abu granit tambahan ini adalah karena granit memiliki nilai silika (Si) yang relatif tinggi, dan pada pengujian X-ray fluorescence (XRF), silika yang terkandung dalam nanomaterial abu granit sebesar 73,878%. Pada penelitian ini pengujian sampel dilakukan di tiga laboratorium yang berbeda, yaitu Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang, Laboratorium Mekanika Bahan dan Mekanika Tanah Universitas Negeri Padang, dan Laboratorium Plumbing dan Sanitasi Universitas Negeri Padang. Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan nanomaterial abu granit sebagai bahan tambah semen dalam persentase tertentu dan umur mortar yang sudah direncanakan. Variasi persentase yang dilakukan adalah 1%, 2% dan 3% dengan perencanaan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari untuk kuat tekan mortar dan umur 28 hari untuk kuat lentur balok mortar. Hasil dari penelitian yang sudah dilakukan mengalami kenaikan baik pada kuat tekan mortar dan kuat lentur balok mortar. Kenaikkan yang terjadi pada kuat tekan mortar tidak terlalu signifikan dikarenakan senyawa silika yang terkandung pada nanomaterial abu granit tidak diiringi dengan kalsium yang ada didalamnya. Kenaikkan tertinggi terjadi pada kuat tekan mortar pada persentase 2% dan umur mortar 14 hari dengan nilai 19,9 MPa yang mana 3,43% lebih tinggi daripada kuat tekan normal. Pada kuat lentur balok mortar terjadi kenaikan pada persentase 2% dan 3% dengan nilai 1,55 MPa dan 1,41 MPa kenaikan ini 17,42% dan 6,82% lebih tinggi daripada kuat lentur balok mortar normal.

Kata Kunci: Mortar; Nanomaterial; Kuat Tekan; Kuat Lentur

ABSTRACT

This study discusses the use of granite ash nanomaterials which are used as additives in cement for making mortar. The method used in this study is a laboratory experiment. The reason for the additional use of granite ash nanomaterials is because granite has a relatively high silica (Si) value and in X-Ray Fluorescence (XRF) testing, the silica contained in granite ash nanomaterials is 73.878%. Sample testing in this study was carried out in three different laboratories, the Chemistry Laboratory Padang State University, the Materials and Soil Mechanics Laboratory Padang State University and the Plumbing and Sanitation Laboratory Padang State University. This study was conducted by mixing granite ash nanomaterials as a material for adding cement in a certain percentage and the planned life of the mortar. The percentage variation carried out was 1%, 2% and 3% with a life plan of 7 days, 14 days and 28 days for the compressive strength of the mortar and a lifespan of 28 days for the flexural strength of the mortar. The results of the research that has been carried out have increased both on the compressive strength of the mortar and the flexural strength of the mortar. The

increase that occurs in the compressive strength of the mortar is not too significant because the silica compounds contained in the granite ash nanomaterial are not accompanied by calcium in it. The highest increase occurred in the compressive strength of the mortar at a percentage of 2% and the life of the mortar of 14 days with a value of 19,9 MPa which is 3,43% higher than the normal compressive strength. In the flexural strength of the mortar, there is an increase in the percentage of 2% and 3% with a value of 1,55 MPa and 1,41 Mpa it increase 17.42% and 6.82% higher than the flexural strength of the normal mortar.

Keywords: Mortar; Nanomaterial; Compressive Strength; Flexural Strength

Copyright © Sandy Desabel Ramadhika, Eka Juliafad

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PENDAHULUAN

Menurut Encyclopedia Britannica, granit adalah batuan beku intrusif berbutir kasar atau sedang yang kaya akan kuarsa dan feldspar. Jadi dalam hal ini, granit adalah batuan plutonik paling umum di kerak bumi, yang dibentuk oleh magma yang mendingin (silikat cair). Mortar adalah campuran pasir, air dan semen portland dengan komposisi tertentu. Mortar harus dicampur dengan jumlah air yang tepat untuk mendapatkan kualitas yang baik dan mempermudah pekerjaan [1]. Pengaplikasian mortar sangat beragam. Mortar dapat digunakan sebagai bahan baku batako, paving block, dinding panel, sambungan bata dan *finishing* pekerjaan dinding[2]–[4]. Mortar yang memiliki kualitas yang baik dan kuat akan menyumbangkan kekuatan pada bangunan terpasang, bahkan dapat mengurangi risiko rusak akibat bencana gempa [5].

Mortar yang bagus harganya murah, mudah dikerjakan, cepat kering, tahan air, dan tidak merusak pasangan bata. Keterbatasan mortar adalah ketahanannya terhadap temperatur tinggi. Salah satu cara untuk mengurangi kerusakan akibat kebakaran adalah dengan meningkatkan kualitas bangunan dengan memilih bahan bangunan yang tepat dan memperhatikan jumlah bahan yang akan ditambahkan [6]. Dalam produksi campuran mortar atau beton, terkadang diperlukan bahan tambahan yang mempercepat atau memperkuat pengerasan mortar. Tujuan penggunaan bahan-bahan tersebut adalah untuk memperkuat dan memperbaiki sifat-sifat campuran yang diinginkan. *American Society for Testing and Materials* (ASTM) C125 menetapkan bahwa aditif ini ditambahkan ke campuran beton atau mortar sebelum atau setelah pencampuran. Definisi aditif memiliki arti yang luas dan mencakup polimer, serat, mineral, dan dengan adanya aditif ini komposisi beton atau mortar memiliki sifat yang berbeda dari biasanya.

Nanomaterial adalah salah satu solusi aditif mortar yang tersedia saat ini. Ukuran bahan yang digunakan sebagai campuran adalah 1-100 nm [7]. Tujuannya adalah mengubah ukuran material menjadi skala nano, yang diharapkan dapat menyebabkan perubahan sifat dan fungsi material serta mengurangi degradasi material. mortar dengan masuknya air. Penggunaan nanogranit dalam campuran mortar meningkatkan derajat hidrasi, kuat tekan dan daya tahan mortar melalui nano-silika, nano-Al₂O₃ (alumina), nano-TiO₂ (titanium dioksida) dan nano-Fe₂O₂ [8].

Reaksi selama pencampuran bahan nano dan mortar, secara umum sifat mekanik mortar dengan aditif nanomaterial meningkat secara signifikan [9]. Semen dengan nanosilika sebagai bahan tambahan dapat membuat bentuk pori menjadi lebih seragam sehingga mengurangi laju penetrasi air dan zat lain yang menurunkan kualitas mortar. Kekuatan tekan dan ketahanan air mortar juga meningkat dengan penambahan nanosilika 0,3% [10].

Nanomaterial sangat mungkin dikembangkan ke arah konstruksi industri, digunakan untuk membuat campuran semen atau beton. Penggunaan nanoteknologi dalam proses produksi campuran semen dan beton dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan durabilitas beton.[11]. Keuntungan abu granit sebagai pengganti semen dan pasir ini dikarenakan kandungan silika yang tinggi.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium yang bertujuan menyelidiki kemungkinan adanya hubungan antar variabel. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan uji kuat tekan mortar dengan penambahan nanomaterial abu granit dengan persentase 1%, 2%, 3%. Dan kekuatan lentur pada mortar normal pada balok mortar dengan penambahan abu granit nanomaterial dalam persentase 1%, 2%, 3%.

Penelitian ini dilakukan pada Oktober 2022 dan berlangsung di tiga laboratorium berbeda. Penelitian pertama dilakukan di laboratorium kimia UNP dengan memanaskan abu granit di dalam *furnace* pada suhu 750°C selama 5 jam kemudian dilakukan XRF untuk menentukan kandungan nanomaterial dalam granit. Penelitian lain dilakukan di Laboratorium Bahan dan Mekanika Tanah UNP untuk menguji kuat tekan mortar. Pengujian ketiga dilakukan di Laboratorium Plumbing dan Sanitasi UNP untuk menguji kekuatan lentur balok mortar. Terdapat 2 material yang akan diuji pada penelitian ini, untuk material pertama yaitu pengujian agregat halus yang terdiri atas 7 pengujian. Dan untuk pengujian material yang kedua adalah granit menjadi nanomaterial abu granit. Untuk pengujian agregat halus dapat dilihat dibawah ini:

1. Pengujian Berat Isi Pasir

Berat isi agregat halus dapat dihitung pada pasir dalam kondisi berat isi padat dan berat isi gembur. Perhitungan berat isi pasir cara mengurangi berat literan tambah pasir gembur lalu di bagi dengan volume literan.

Rumus berat isi pasir:

$$\frac{B - A}{Volume Literan}$$

2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Berat jenis agregat halus dapat dihitung pada kondisi nyata dan kondisi SSD. Berat jenis pasir dapat dihitung dengan cara berat pasir semula dibagi dengan berat tabung yang diisi dengan air lalu ditambahkan dengan berat pasir semula dan dikurangi dengan berat tabung yang diisi dengan air dan pasir.

Rumus berat jenis pasir:

$$\frac{A}{(B + A) - C}$$

3. Pengujian Kadar Air Pasir

Kadar air pasir merupakan kadar air yang terkandung pada pasir. Pengujian kadar air pasir dilakukan dengan cara mengurangi berat semula dengan berat kering tetap dibagi dengan berat semula lalu dikalikan dengan 100%.

Rumus kadar air pasir:

$$\frac{A - B}{A} \times 100\%$$

4. Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Kadar lumpur pasir merupakan pengujian yang menentukan kadar lumpur yang terkandung pada pasir. Kadar lumpur pasir dapat ditentukan dengan cara mengurangi berat semula pasir dengan berat kering tetap pasir dibagi dengan berat semula pasir lalu dikali dengan 100%.

Rumus kadar lumpur pasir:

$$\frac{A - B}{A} \times 100\%$$

5. Pengujian Daya Serap Pasir

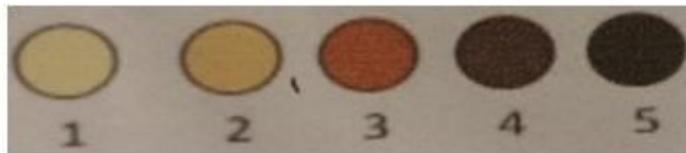
Daya serap pasir merupakan pengujian yang menentukan daya serap pasir. Daya serap pasir dapat dihitung dengan cara berat isi pasir semula dikurang berat isi pasir setelah di oven dibagi dengan berat semula pasir lalu dikali dengan 100%.

Rumus daya serap pasir:

$$\frac{A - B}{A} \times 100\%$$

6. Pengujian Zat Organik Pasir

Pemeriksaan zat organik pasir ini dilakukan untuk menentukan zat – zat organik yang terkandung dalam agregat halus. Hal ini untuk menentukan apakah agregat dapat digunakan atau tidak berdasarkan warna dari standar perbandingan. Standar perbandingan warna zat organik dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Standar Perbandingan Zat Organik

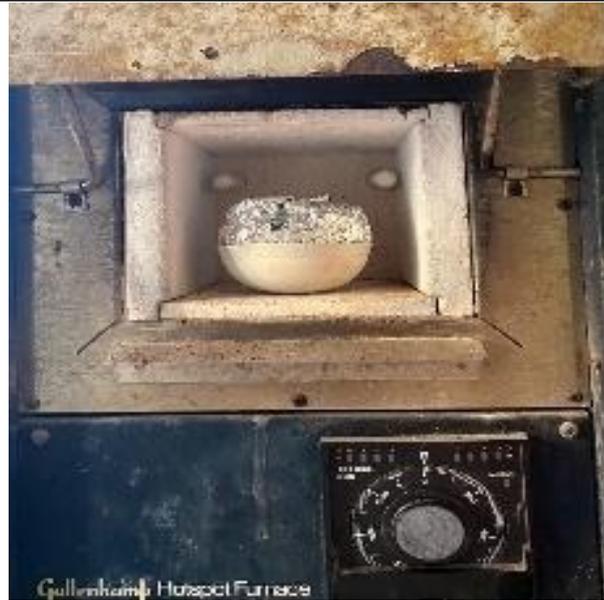
7. Pengujian Analisis Ayak Pasir

Pengujian analisis ayak pasir bertujuan untuk menentukan susunan besar butiran untuk perencanaan komposisi campuran mortar. Susunan gradasi agregat halus sangat berpengaruh terhadap campuran.

Material kedua yaitu granit yang dibakar menggunakan metode *furnace* di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang. Pengujian pada material granit dilakukan dengan 2 tahap, yaitu:

1. Konversi ukuran granit menjadi nanomaterial

Pada penelitian ini granit dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 750°C selama 5 jam untuk membakar granit, kemudian granit di gerus hingga menjadi butiran halus dan mencapai ukuran nanomaterial yang berukuran 1-100 nm. Penggerusan ini bertujuan agar lolos saringan No.200.



Gambar 2. Proses Furnace Granit

Setelah di furnace dengan suhu 750°C selama 5 jam mendapatkan hasil warna granit abu kehitaman seperti di Gambar 3. Setelah dilakukan penggerusan didapatkan hasil granit berwarna putih keabuan seperti Gambar 4. Granit yang berwarna putih keabuan ini menandakan tingginya kandungan senyawa Silika (Si) yang terkandung.



Gambar 3. Granit Setelah di Furnace



Gambar 4. Granit Yang Sudah Lolos Ayakan No.200 Setelah Digerus

2. Analisa menggunakan *X-Ray Fluoresence* (XRF)

Pada analisa XRF bertujuan untuk menyelidiki unsur yang terkandung dalam suatu bahan atau material secara kualitatif maupun kuantitatif. Hasil analisis kualitatif adalah teridentifikasi jenis – jenis unsur makro yang terkandung dalam suatu bahan berdasarkan energi sinar-x karakteristik yang dipancarkan oleh unsur dalam bahan tersebut. Sedangkan hasil analisis kuantitatif ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur – unsur hasil pengukuran yang ditunjukkan dalam bentuk nilai cacah.

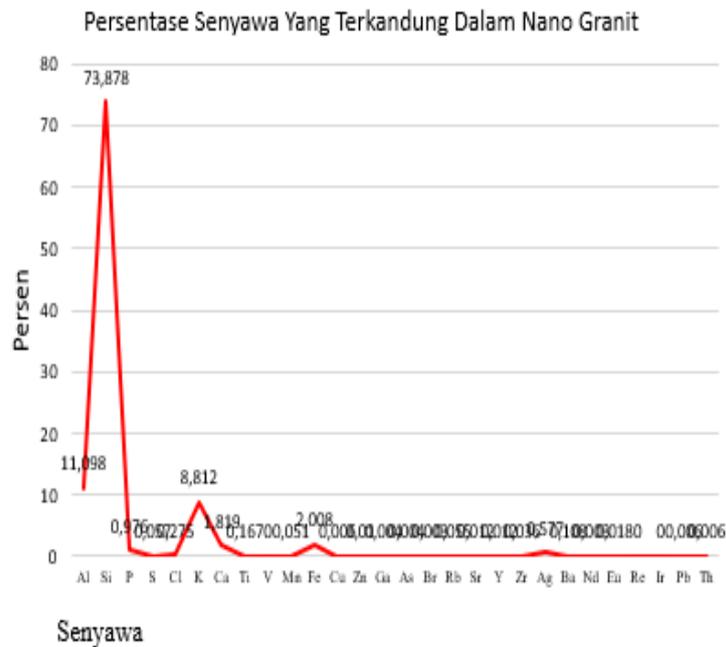
Setelah menyelesaikan pengujian material, dilanjutkan ke pembuatan sampel mortar dan balok mortar. Sampel mortar yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Benda uji terdiri dari nanomaterial normal dan 3 varian nanomaterial abu granit yaitu 1%, 2%, 3%, semen dan pasir yaitu 1 Semen : 2,75 psr. Ada 36 sampel mortar dan 3 sampel untuk setiap persentase nanomaterial dan pengujian mortar dilakukan setelah 7, 14 dan 28 hari. Dan benda uji balok mortar berukuran 4 cm x 4 cm x 16 cm. Benda uji terdiri dari bahan nano material fly ash granit normal dan 3 macam yaitu 1%, 2%, 3%, semen dan pasir, sehingga 1 Semen : 2,75 psr. Ada 12 sampel balok mortar berumur 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian agregat halus dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Mekanika Tanah Universitas Negeri Padang. Pengujian agregat halus ini dilakukan guna mengetahui agregat halus yang digunakan layak atau tidak dalam proses pembuatan mortar. Terdapat 7 pengujian agregat halus yang dilakukan dan hasil dari pengujian agregat halus yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

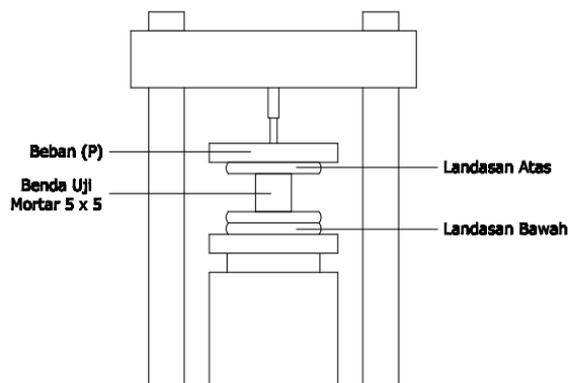
Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Isi Agregat Halus	
	a. Padat	1,437 kg/m ³
	b. Gembur	1,214 kg/m ³
2	Berat Jenis Agregat Halus	2,53 gram
3	Daya Serap Agregat Halus	3,59%
4	Kadar Air Agregat Halus	3,46%
5	Kadar Lumpur Agregat Halus	4,3%
6	Zat Organik Agregat Halus	No. 3
7	Analisis Ayak Pasir	
	9,5 (3/8")	100
	4,75 (No.4)	96,2
	2,36 (No.8)	85,2
	1,18 (No.16)	72,4
	0,6 (No. 30)	45,3
	0,3 (No. 50)	26,6
	0,15 (No. 100)	3,7
	Pan	0
	FM	2,706



Gambar 6. Hasil Pengujian XRF

Pengujian kuat tekan mortar dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Mekanika Tanah UNP dengan alat ASTM – *Automatic Compression Testing Machines for Blocks and Cylinders*. Pengujian ini dilakukan 3 kali dikarenakan umur mortar yang berbeda yakni 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Untuk *setting up* kuat tekan dan pengujian kuat tekan mortar dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 7. *Setting Up* Kuat Tekan Mortar



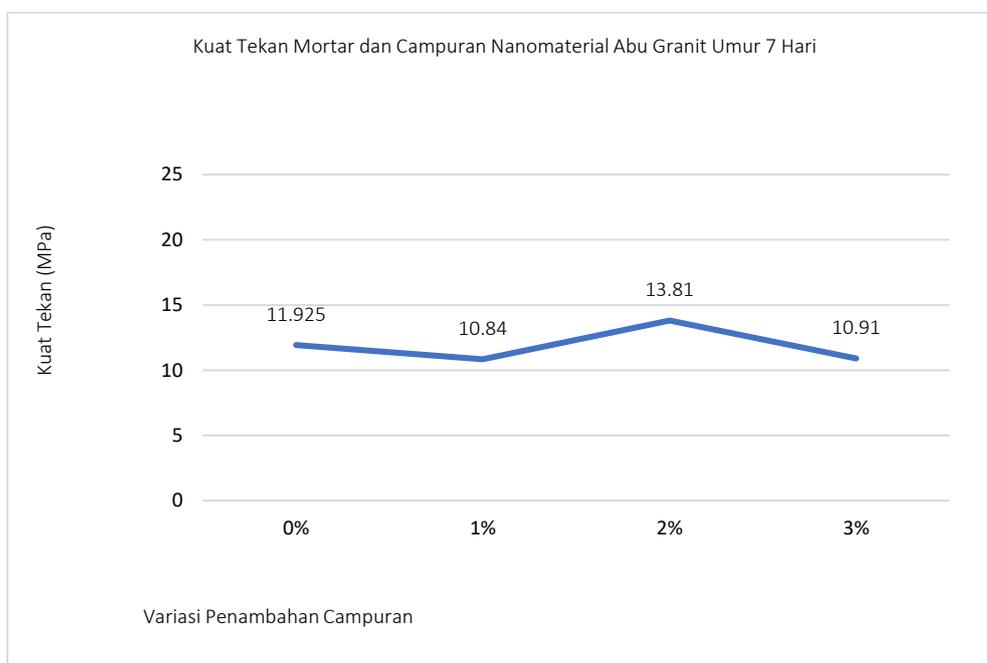
Gambar 8. Pengujian Kuat Tekan Mortar

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan mortar di Laboratorium Bahan dan Mekanika Tanah UNP pada 36 benda uji meliputi 9 benda uji mortar normal, 9 benda uji mortar campuran nanomaterial abu granit 1%, 9 benda uji mortar campuran nanomaterial abu granit sebanyak 2% dan 9 benda uji mortar campuran nanomaterial abu granit sebanyak 3%. Dari pengujian maka diperoleh hasil seperti Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Hasil Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari

Sampel	Kuat Tekan f_c'	Rata – Rata
Normal	12,003	11,925
	13,69	
	10,081	
1%	12,16	10,84
	12,71	
	7,65	
2%	15,02	13,81
	13,06	
	13,34	
3%	9,49	10,91
	12,83	
	10,39	

Pada pengujian kuat tekan mortar umur 7 hari terjadi peningkatan kuat tekan campuran nanomaterial abu granit pada persentase 2% dengan nilai 13,81 MPa yang mana lebih tinggi 15,8% dari nilai kuat tekan normal. Tapi terjadi penurunan nilai kuat tekan mortar pada persentase 1% dan 3%. Grafik kenaikan nilai kuat tekan mortar umur 7 hari dapat dilihat pada gambar 9.

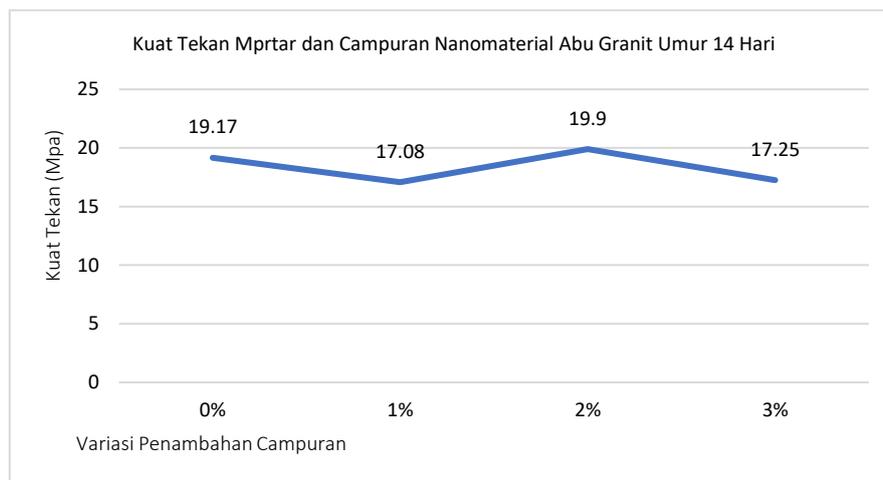


Gambar 9. Grafik Hasil Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari

Tabel 3. Hasil Kuat Tekan Mortar Umur 14 Hari

Sampel	Kuat Tekan f_c'	Rata – Rata
Normal	19,5	19,17
	17,97	
	20,04	
1%	17,38	17,08
	18,52	
	15,34	
2%	19,34	19,9
	20,67	
	19,69	
3%	16,98	17,25
	16,83	
	17,93	

Pada pengujian kuat tekan mortar umur 14 hari terjadi peningkatan kuat tekan campuran nanomaterial abu granit pada persentase 2% dengan nilai 19,9 MPa yang mana lebih tinggi 3,71% dari nilai kuat tekan normal. Tapi terjadi penurunan nilai kuat tekan mortar pada persentase 1% dan 3%. Grafik kenaikan nilai kuat tekan mortar umur 14 hari dapat dilihat pada gambar 10.

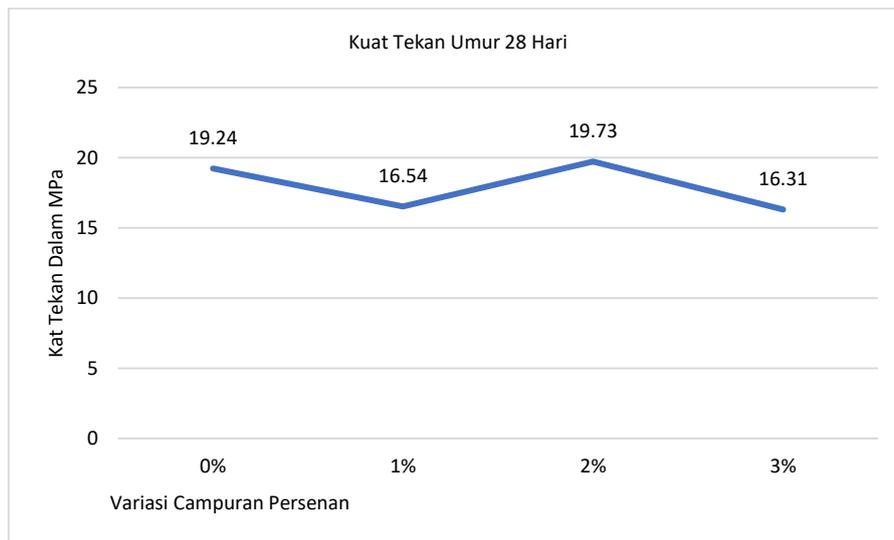


Gambar 10. Grafik Hasil Kuat Tekan Mortar Umur 14 Hari

Tabel 4. Hasil Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

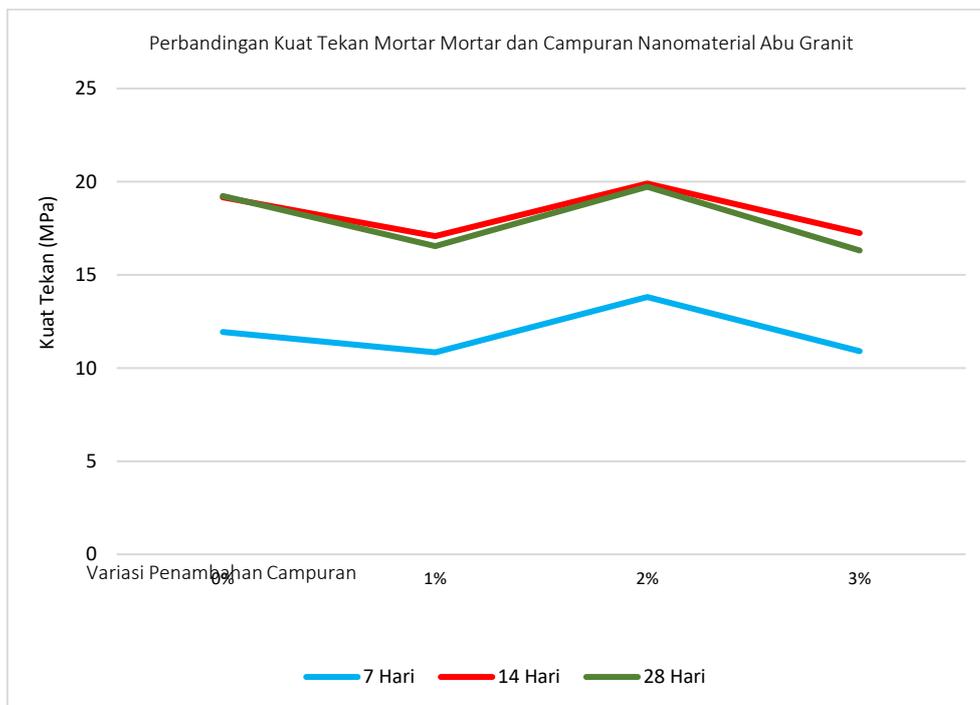
Sampel	Kuat Tekan f_c'	Rata – Rata
Normal	19,89	19,24
	20,01	
	18,83	
1%	19,19	16,54
	18,52	
	11,93	
2%	19,69	19,73
	20,99	
	18,52	
3%	18,24	16,31
	18,32	
	12,36	

Pada pengujian kuat tekan mortar umur 28 hari terjadi peningkatan kuat tekan campuran nanomaterial abu granit pada persentase 2% dengan nilai 19,73 MPa yang mana lebih tinggi 2,55% dari nilai kuat tekan normal. Tapi terjadi penurunan nilai kuat tekan mortar pada persentase 1% dan 3%. Grafik kenaikan nilai kuat tekan mortar umur 28 hari dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hasil Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

Dibawah ini merupakan grafik perbandingan hasil dari pengujian kuat tekan mortar yang telah dilaksanakan. Perbandingan ini guna mengetahui kenaikan dan penurunan dari kuat tekan mortar dengan perbandingan antara persenan dan umur mortar yang berbeda.



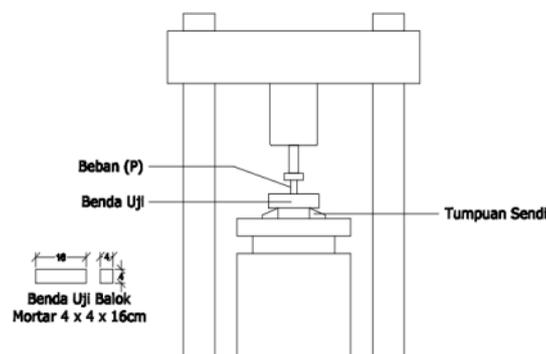
Gambar 12. Hasil Perbandingan Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari, 14 Hari dan 28 Hari

Pada gambar 12 di atas dapat dilihat kenaikan yang terjadi pada kuat tekan mortar dengan campuran nanomaterial abu granit tidak terlalu berpengaruh. Kenaikkan hanya terjadi pada persentase 2% baik pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sedangkan pada persentase 1% dan 3% mengalami penurunan dari kuat tekan normal.

Tabel 5. Hasil Kuat Lentur Balok Mortar

Sampel	Kuat Lentur (MPa)	Rata – Rata
Normal	1,14	1,32
	1,56	
	1,26	
1%	1,16	1,31
	1,26	
	1,5	
2%	1,6	1,55
	1,64	
	1,4	
3%	1,34	1,41
	1,42	
	1,48	

Pengujian kuat lentur balok mortar dilakukan di Laboratorium Plambing dan Sanitasi Universitas Negeri Padang. Pengujian ini meliputi 12 sampel balok mortar dengan 3 benda uji pada masing – masing variasi persentase. Variasi persentase yang digunakan adalah normal, 1%, 2% dan 3%.

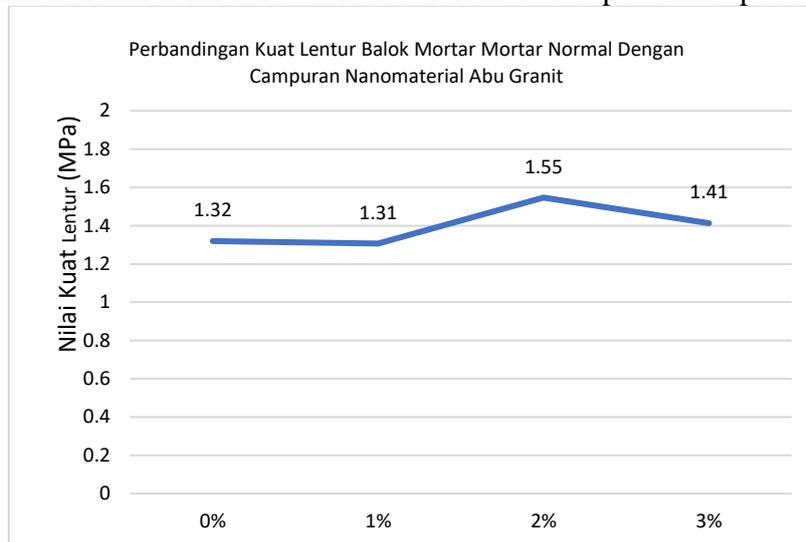


Gambar 13. *Setting Up* Kuat Lentur Balok `Mortar



Gambar 14. Pengujian Kuat Lentur Balok Mortar

Pada pengujian kuat lentur balok mortar umur 28 hari terjadi peningkatan kuat lentur mortar campuran nanomaterial abu granit pada persentase 2% dan 3% dengan nilai 1,55 MPa dan 1,41 MPa, yang mana kedua persen tersebut lebih tinggi 17,42% dan 6,82% dari nilai kuat lentur balok normal. Terjadi penurunan pada persentase 1% tetapi penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Grafik kenaikan nilai kuat lentur balok mortar dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Hasil Kuat Lentur Balok Mortar Umur 28 Hari

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan tentang pengaruh penambahan nanomaterial abu granit sebagai bahan tambahan semen pada pembuatan mortar dan balok mortar. Penambahan nanomaterial abu granit memiliki 3 variasi yaitu 1%, 2%, 3%. Komposisi campuran nanomaterial meningkatkan kuat tekan dan lentur balok mortar. Komposisi campuran dengan menggunakan nanomaterial mengalami kenaikan pada kuat tekan dan kuat lentur balok mortar. Kenaikkan tertinggi terjadi pada kuat tekan mortar pada persentase 2% dan umur mortar 14 hari dengan nilai 19,9 MPa yang mana 3,43% lebih tinggi daripada kuat tekan normal. Pada kuat lentur balok mortar terjadi kenaikan pada persentase 2% dan 3% dengan nilai 1,55 MPa dan 1,41 MPa kenaikan ini 17,42% dan 6,82% lebih tinggi daripada kuat lentur balok mortar normal.

REFERENSI

- [1] SNI-6825-2002-metode-pengujian-kekuatan-tekan-mortar-semen-portland-untuk-pekerjaan-sipil.pdf.
- [2] E. Juliafad, I. G. Rani, F. Rifwan, and Y. F. P, 'Concreting Workmanship in Indonesia Study Case: Padang City, West Sumatra, Indonesia', *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 1, p. 300, Feb. 2019, doi: 10.18517/ijaseit.9.1.7201.
- [3] E. Juliafad, A. Syaiful, and P. Y. Putri, 'Pelatihan Pembuatan Batako Sesuai Standar Nasional Indonesia Untuk Pemuda Putus Sekolah', p. 6.
- [4] E. Juliafad, N. Sandra, J. Mardizal, and A. P. Melinda, 'Pemahaman Masyarakat Tentang Perkuatan Rumah Dengan Mortar Serat Polypropylene', vol. 5, p. 6, 2022.

-
- [5] E. Juliafad, 'Seismic Fragility Function for Single Storey Masonry Wall RC Building In Padang City, Indonesia', *Int. J. GEOMATE*, vol. 22, no. 94, Jun. 2022, doi: 10.21660/2022.94.3160.
- [6] G. Prokopski, V. Marchuk, and A. Huts, 'Granite Dust as a Mineral Component of a Dry Cement Mortar Mixtures'.
- [7] D. B. W. Nuryadin and M. Si, 'Pengantar Fisika Nanomaterial'.
- [8] E. S. Bakhoun, G. L. K. Garas, M. E. Allam, and H. Ezz, 'The Role of Nano-Technology in Sustainable Construction: A Case Study of Using Nano Granite Waste Particles in Cement Mortar', *Eng. J.*, vol. 21, no. 4, pp. 217–227, Jul. 2017, doi: 10.4186/ej.2017.21.4.217.
- [9] M. A. Sultan and F. Litolily, 'Korelasi Porositas Beton Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata', vol. 2, 2018.
- [10] Z. Z. Woźniak, A. Chajec, and Ł. Sadowski, 'Effect of the Partial Replacement of Cement with Waste Granite Powder on the Properties of Fresh and Hardened Mortars for Masonry Applications', *Materials*, vol. 15, no. 24, p. 9066, Dec. 2022, doi: 10.3390/ma15249066.
- [11] J. Esmaili and K. Andalibi, 'Investigation of the effects of nano-silica on the properties of concrete in comparison with micro-silica', 2013.