

**PENELITIAN PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS CAMPURAN
LUMPUR LAPINDO, FLY ASH, ALKALI AKTIVATOR DAN FOAM AGENT**

Joanne Pricilian Putri Martin Pamaratana¹, Ir. Bambang Wedyantadji, MT²⁾, dan Eri Andrian
Yudianto, MT³⁾

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil ITN Malang 2)3) Dosen Program Studi Teknik Sipil ITN
Malang Email: joannepricilian04@gmail.com

ABSTRACT

The expansion of the Lapindo mudflow that cannot be handled optimally has made it a serious environmental problem. And in connection with Lapindo Mud which is known to contain high SiO_2 , Fe_2O_3 and Al_2O_3 which means it can be used as a good pozzolanic material that can replace some of the cement. However, despite this the use of Lapindo mud as a geopolymer base material has not been able to produce high quality geopolymer mortar, while fly ash has been proven to be used as a base material for high quality geopolymer mortar. It is proven by the research that has been done that geopolymer mortar with a mixture of Lapindo mud and fly ash produces a mortar with a high enough compressive strength, so it can be concluded that Lapindo mud can be used as a substitute for cement with the help of fly ash.

Key words : Lapindo, Geopolymer, Mixture, Mortar, Fly Ash

ABSTRAK

Perluasan lumpur lapindo yang belum dapat ditanggulangi dengan maksimal menjadikannya sebagai permasalahan lingkungan yang serius. Dan sehubungan dengan Lumpur Lapindo yang diketahui mengandung SiO_2 , Fe_2O_3 dan Al_2O_3 yang tinggi yang berarti dapat digunakan sebagai material pozzolan yang baik yang dapat menggantikan sebagian semen. Namun walaupun demikian penggunaan lumpur lapindo sebagai bahan dasar geopolimer belum bisa menghasilkan mortar geopolimer dengan mutu tinggi, sedangkan fly ash sudah terbukti dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan mortar geopolimer mutu tinggi. Terbukti dengan penelitian yang sudah dilakukan bahwa mortar geopolimer dengan campuran lumpur lapindo bersama fly ash

menghasilkan mortar dengan kuat tekan yang cukup tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa lumpur lapindo dapat digunakan sebagai pengganti semen dengan bantuan fly ash.

Key words : Lapindo, Geopolymer, Mixture, Mortar, Fly Ash

PENDAHULUAN

Perluasan lumpur lapindo yang belum dapat ditanggulangi dengan maksimal menjadikannya sebagai permasalahan lingkungan yang serius. Dan sehubungan dengan Lumpur Lapindo yang diketahui mengandung SiO_2 , Fe_2O_3 dan Al_2O_3 yang tinggi yang berarti dapat digunakan sebagai material pozzolan yang baik yang dapat menggantikan sebagian semen. Namun walaupun demikian penggunaan lumpur lapindo sebagai bahan dasar geopolimer belum bisa menghasilkan mortar geopolimer dengan mutu tinggi, sedangkan fly ash sudah terbukti dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan mortar geopolimer mutu tinggi. Dalam penelitian ini, material campuran mortar dibuat dari campuran lumpur Sidoarjo dengan fly ash. Komposisi campuran yang diteliti antara lain variasi penambahan sodium silikat, variasi molaritas natrium hidroksida, dan penambahan foam agent. Sodium silikat berfungsi untuk mereaksikan unsur – unsur Al dan Si yang terkandung dalam binder sehingga dapat menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat, dan penambahan foam agent bertujuan agar pasta dapat lebih mengembang sehingga dapat menghasilkan berat yang lebih ringan.

LANDASAN TEORI

Geopolimer adalah campuran beton yang dimana penggunaan material semen portland sebagai bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang (fly ash), abu kulit padi, AV (abu vulkanik), dan bahan – bahan lain yang mengandung silika dan aluminium (Davidovits, 1997)

Penggunaan fly ash dan lumpur lapindo yang ramah lingkungan serta mampu menggantikan semen sebagai bahan ikat utama pada beton yang dinilai memiliki banyak kekurangan seperti menghabiskan banyak gunung kapur yang dikeruk serta proses produksi semen yang menghasilkan gas CO_2 yang juga sangat banyak. Lumpur Lapindo yang diketahui mengandung SiO_2 , Fe_2O_3 dan Al_2O_3 yang tinggi yang berarti dapat digunakan sebagai material pozzolan yang baik yang dapat menggantikan sebagian semen.

Pasta Geopolimer

Pasta geopolimer merupakan pasta dengan bahan limbah fly ash sebagai binder sementara pasta umumnya merupakan pasta yang menggunakan semen sebagai bahan utama binder.

Mortar Geopolimer

Mortar adalah istilah yang digunakan untuk campuran semen, pasir, dan juga air. Pada mortar geopolimer semen diganti dengan bahan-bahan seperti contoh fly ash dan lumpur lapindo.



Gambar 1 Mortar Geopolimer

Lumpur Lapindo

Lumpur Lapindo merupakan material yang keluar dari perut bumi yang berada di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo. Hasil pengujian kandungan kimia dalam lumpur Lapindo memiliki kadar dengan prosentase terbesar adalah senyawa Al_2O_3 (aluminia) sebesar 83,93% dan Fe_2O_3 (besi) sebesar 82,71% (Suprianto, 2012).

Air

Air yang digunakan untuk membuat campuran pasta geopolimer harus air bersih, tidak diperbolehkan mengandung asam sulfat, minyak, serta kandungan lain yang akan merusak pasta.

Fly Ash

Menurut SNI 03-6414-2002, fly ash atau abu terbang merupakan hasil limbah pembakaran pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik.

Alkali Aktivator

Alkali aktivator sangatlah berperan penting pada campuran geopolimer. Hal ini diperlukan untuk memungkinkan terjadinya reaksi polimerisasi kondensasi atau biasa disebut reaksi gugus banyak. Reaksi ini menghasilkan satu molekul besar bergugus fungsi banyak dan diikuti dengan pelepasan molekul air. Proses ini bertujuan untuk mereaksikan unsur – unsur Al dan Si yang terkandung pada material bahan Geopolimer menjadi ikatan polimer yang kuat.

Foam Agent

Foam agent adalah suatu bahan yang terbuat dari larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Foam merupakan bahan kimia campuran yang berasal dari campuran bahan alami berupa protein memiliki kepadatan 80 gram/liter, sedangkan bahan buatan berupa bahan sintetik yang memiliki kepadatan 40gram/liter.

Tujuan penggunaan bahan foaming agent adalah untuk mengurangi berat dari mortar geopolimer, dengan demikian akan membuat fisik mortar geopolimer sama besarnya namun lebih ringan.

Pengujian Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji mortar hancur bila dibebani gaya tekan tertentu, yang dihasilkan dari Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat CTM (Compressing Testing Machine).

Kuat tekan mortar dilakukan dengan benda uji mortar dengan dimensi 5x5x5 cm. Besar nilai kuat tekan mortar polimer dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = P/A$$

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang

Pengujian Kuat Tarik Mortar

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kuat tarik mortar dan luas dari bidang tarik mortar tersebut. Uji kuat tarik mortar dilakukan dengan membuat benda uji mortar seperti angka delapan yang berukuran 2,5 x 2,5 cm dan balok yang berukuran 16 x 4 x 4 cm. Benda uji ini setelah keras kemudian ditarik dengan alat uji cement briquettes.

Molaritas

Pengertian molaritas adalah satuan yang menyatakan banyaknya mol zat terlarut dalam 1 liter (1000 ml) larutan. Jika pengertian molalitas (m) adalah satuan konsentrasi yang menyatakan jumlah mol zat yang terdapat dalam 1000 gram pelarut, maka molaritas (M) itu dalam 1000 ml larutan. Simbol dari Molaritas adalah M atau dalam bentuk simbolnya yaitu mol/L. Dari simbol atau satuan molaritas tersebut kalian bisa tahu bahwa Molaritas.

Interval Kepercayaan

Data-data kuat tekan yang telah dikumpulkan dari setiap pengujian kemudian diuji dengan interval kepercayaan, dimana tujuannya adalah untuk mencari kevalidan data yang telah didapatkan (Sudjana,2002; 4496)

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. 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,
 - b. Benda uji dilepas dari cetakan dan diberi perawatan standar,
 - c. Jika benda uji tidak akan diangkut selama 48 jam, cetakan harus dilepas dalam waktu 24 jam ± 8 jam dan diberi perawatan standar sampai tiba waktu pengangkutan.

Pengertian Hipotesis

Hipotesis adalah jawaban sementara terhadap pernyataan yang diajukan pada rumusan masalah penelitian. Hipotesis akan ditolak jika salah satu palsu dan akan diterima fakta fakta membenarkan. Penolakan dan penerimaan hipotesis sangat bergantung pada hasil-hasil penyelidikan terhadap fakta fakta empirik yang dikumpulkan.

METODE PENELITIAN

Tahap Pelaksanaan

pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tahap persiapan : Meliputi pengumpulan bahan dan material, dan pemeriksaan alat uji sehingga sesuai dengan standar yang berlaku.
2. Tahap pembuatan benda uji : Meliputi pembuatan aktivator 1 hari sebelum pengadukan adonan, pengujian berat jenis, dan pembuatan benda uji.
3. Tahap pengujian karakteristik benda uji : Meliputi kuat tekan, kuat tarik lentur dan tarik aksial pada umur 7 hari dengan standar toleransi waktu uji SNI 1974:2011
4. Tahap pengumpulan data hasil pengujian pada mortar di laboratorium
5. Tahap pengolahan data : Meliputi analisa data hasil pengujian dan penarikan kesimpulan.

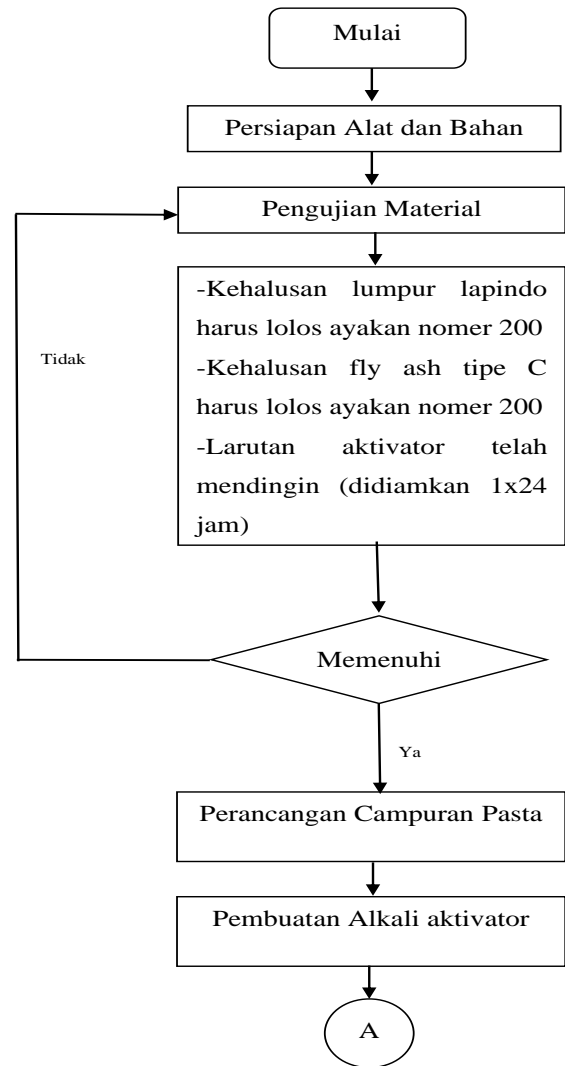
Tempat dan Waktu Penelitian

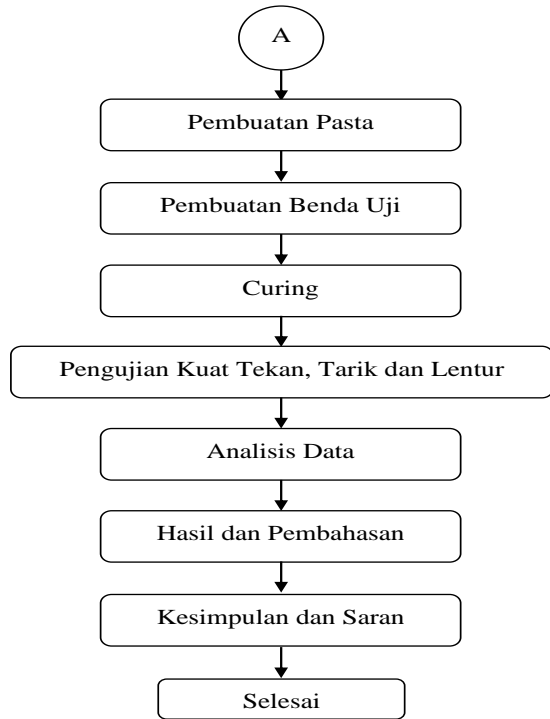
Penelitian untuk menguji kuat tekan beton geopolimer dilaksanakan di

Tempat : Laboratorium Bahan Bangunan Prodi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Sigura Gura no. 2, Sumber Sari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang.

Waktu : Dimulai pada 9 Juni 2021

BAGAN ALIR





Gambar 2 Penelitian Pasta Geopolimer

ANALISA DAN PEMBAHASAN

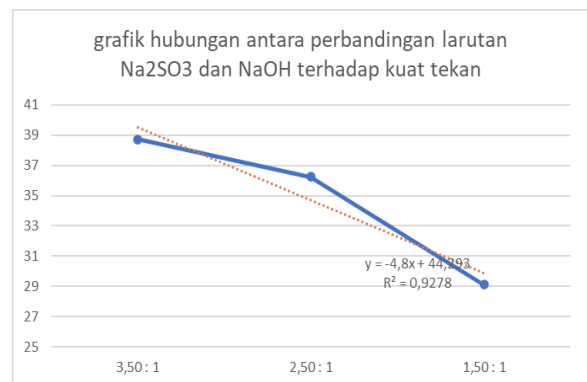
Tabel 1 Hasil uji kuat tekan Mortar Geopolimer Percobaan Variasi Sodium Silikat (Tahap 1) umur 7 hari

Larutan Na ₂ SO ₃ : Larutan NaOH 5M	Berat (gram)	Berat rata-rata (gram)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan rata-rata
3,50:1	162,7	162,1	97	38,8	38,72
	164,1		102	40,8	
	161,8		98	39,2	
	160,9		93	37,2	
	161,2		94	37,6	
2,50:1	167,5	168,1	89	35,6	36,24
	168,2		91	36,4	
	168,8		93	37,2	
	166,6		86	34,4	
	169,5		95	38,0	
1,50:1	160,0	160,0	73	29,2	29,12
	159,2		70	28,0	
	160,9		76	30,4	
	158,2		67	26,8	
	161,7		79	31,6	

Tabel 2 Data Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer (Tahap 1) Setelah Uji Interval Kepercayaan

Variasi Larutan Na ₂ SO ₃ : Larutan NaOH 5M	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan			Keterangan	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
3,50 : 1	97	38,8	36,95	< X <	40,49	Memenuhi	38,72
	101	40,4				Memenuhi	
	98	39,2				Memenuhi	
	93	37,2				Memenuhi	
	94	37,6				Memenuhi	
2,50 : 1	89	35,6	34,33	< X <	38,15	Memenuhi	36,24
	91	36,4				Memenuhi	
	93	37,2				Memenuhi	
	86	34,4				Memenuhi	
	95	38,0				Memenuhi	
1,50 : 1	73	29,2	26,6	< X <	31,64	Memenuhi	29,12
	70	28,0				Memenuhi	
	76	30,4				Memenuhi	
	67	26,8				Memenuhi	
	79	31,6				Memenuhi	

Gambar 3 Grafik hubungan antara perbandingan larutan Na₂SO₃ dan NaOH terhadap kuat tekan



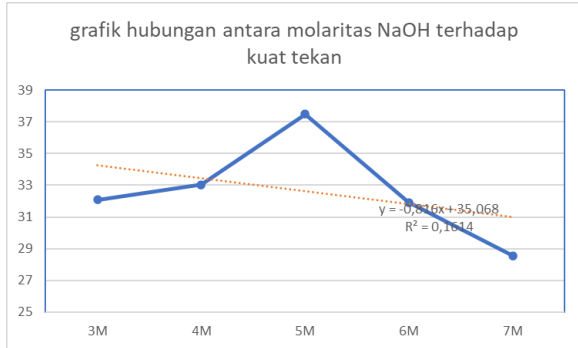
Tabel 3 Hasil uji kuat tekan Mortar Geopolimer Percobaan Variasi Molaritas NaOH (Tahap 2) umur 7 hari

Molaritas NaOH	Berat (gram)	Berat rata – rata (gram)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata
3M	149,2	149,6	78	31,2	32,08
	150,8		81	32,4	
	149,5		80	32,0	
	150,2		83	33,2	
	148,5		78	31,2	
4M	154,3	155,0	82	32,8	33,04
	156,6		85	34,0	
	154,5		80	32,0	
	155,8		85	34,0	
5M	160,6	161,3	93	37,2	38,16
	161,9		96	38,4	
	163,1		102	41,2	
	161,5		95	38,0	
	159,6		91	36,4	
7M	164,7	162,1	84	33,6	31,92
	161,7		79	31,6	
	160,8		78	31,2	
	160,6		77	30,8	
	162,9		81	32,4	
9M	156,8	155,5	76	30,4	28,56
	153,9		63	26,8	
	155,5		70	28,0	
	156,9		76	30,8	
	154,5		68	27,2	

Tabel 4 Data Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer (Tahap 2) Setelah Uji Interval Kepercayaan

Molaritas NaOH	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan			Keterangan	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
3M	78	31,2	30,56	< X <	33,60	Memenuhi	32,08
	81	32,4				Memenuhi	
	80	32,0				Memenuhi	
	83	33,2				Memenuhi	
	78	31,2				Memenuhi	
4M	82	32,8	31,94	< X <	35,96	Memenuhi	33,04
	85	34,0				Memenuhi	
	80	32,0				Memenuhi	
	85	34,0				Memenuhi	
	77	32,4				Memenuhi	
5M	93	37,2	35,77	< X <	40,55	Memenuhi	38,16
	96	38,4				Memenuhi	
	102	40,8				Tidak Memenuhi	
	95	38,0				Memenuhi	
	91	36,4				Memenuhi	
7M	84	33,6	29,95	< X <	33,89	Memenuhi	31,92
	79	31,6				Memenuhi	
	78	31,2				Memenuhi	
	77	30,8				Memenuhi	
	81	32,4				Memenuhi	
9M	76	30,4	25,85	< X <	31,27	Memenuhi	28,56
	63	26,8				Memenuhi	
	70	28,0				Memenuhi	
	76	30,4				Memenuhi	
	68	27,2				Memenuhi	

Gambar 4 Grafik hubungan antara perbandingan larutan Na_2SO_3 dan Molaritas NaOH terhadap kuat tekan



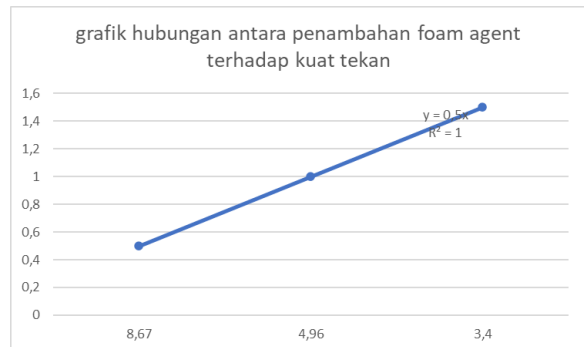
Tabel 5 Hasil uji kuat tekan mortar geopolimer variasi Foam Agent (Tahap 3) umur 7 hari

Volum Foam (lt): Massa Binder	Massa Foam : Massa Binder	Berat (gr)	Berat rata-rata (gr)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan rata-rata	Ket.
0,5:14 40	0,03:1	152,9	154,5	21	8,4	8,88	
		154,5					
		155,5					
		155,4					
		154,0					
1:1440	0,06:1	91,8	92,3	8	3,2	4,96	
		92,4					
		92,7					
		92,0					
		92,9					
1,5:14 40	0,09:1	49,5	48,7	9	3,6	3,4	Rusak
		49,0					
		48,2					
		47,9					
		-					

Tabel 6 Data Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer (Tahap 3) Setelah Uji Interval Kepercayaan

Volume Foam (lt)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan			Keterangan	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
				< X <			
0,5	21	8,4	7,85	< X <	9,01	Memenuhi	8,88
	22	8,8				Memenuhi	
	25	9,2				Tidak Memenuhi	
	21	8,8				Memenuhi	
	23	9,2				Tidak Memenuhi	
1	10	4,0	3,90	< X <	6,01	Memenuhi	4,96
	12	4,8				Memenuhi	
	13	5,2				Memenuhi	
	10	4,0				Memenuhi	
	15	6,0				Memenuhi	
1,5	9	3,6	3,11	< X <	3,65	Memenuhi	3,4
	8	3,2				Memenuhi	
	8	3,2				Memenuhi	
	9	3,6				Memenuhi	
	-	-				-	

Gambar 6 Grafik hubungan antara penambahan foam agent terhadap kuat tekan



Tabel 7 Hasil uji kuat tarik lentur Mortar Geopolimer (Tahap 4)

Volum Foam (lt) : Massa Binder	Massa Foam : Massa Binder	Berat (gr)	Berat rata-rata (gr)	Beban (kN)	Kuat Tarik Lentur (MPa)	Kuat Tarik Lentur Rata-rata
0,5:1440	0,03:1	400,0	395,1	0,4	1,124	1,030
		393,2		0,4	1,124	
		392,1		0,3	0,842	

Tabel 8a Data Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 7 Hari Setelah Uji Interval Kepercayaan

Volume Foam (lt)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan			Keterangan	Kuat Tarik Aksial Rata-Rata (Mpa)
0,5	0,5	0,91	0,841	< X <	1,099	Memenuhi	0,970
	0,6	1,09				Memenuhi	
	0,5	0,91				Memenuhi	

Tabel 7a Data Pengujian Kuat Tarik Aksial Mortar Geopolimer (Tahap 4) Setelah Uji Interval Kepercayaan

Volume Foam (lt)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan			Keterangan	Kuat Tarik Aksial Rata-Rata (Mpa)
0,5	0,4	1,124	0,824	< X <	1,236	Memenuhi	1,030
	0,4	1,124				Memenuhi	
	0,3	0,842				Memenuhi	

Tabel 8 Hasil uji kuat tarik aksial Mortar Geopolimer (Tahap 4)

Volum Foam (lt) : Massa Binder	Massa Foam : Massa Binder	Berat (gr)	Berat rata-rata (gr)	Beban (kN)	Kuat Tarik Aksial (MPa)	Kuat Tarik Aksial Rata-rata
0,5:1440	0,03:1	88,2	90,3	0,5	0,91	0,97
		92,5		0,6	1,09	
		90,2		0,5	0,91	

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka daripada itu dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbandingan kadar sodium silikat dan natrium hidroksida sangat berpengaruh terhadap hasil optimum kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan berat mortar geopolimer
2. Penambahan molaritas natrium hidroksida pada mortar geopolimer yang semakin tinggi ternyata memiliki pengaruh buruk terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan berat mortar geopolimer.
3. Pencampuran foam agent dengan campuran lumpur lapindo dan fly ash ternyata berpengaruh buruk terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, namun memiliki pengaruh yang baik untuk mengurangi berat mortar geopolimer.

Saran

Dengan maksud peningkatan mutu dan pengembangan terhadap penelitian ini selanjutnya, disarankan hal sebagai berikut; Penelitian mortar geopolimer berbasis lumpur lapindo menggunakan campuran fly ash dan alkali aktivator perlu dilakukan lebih lanjut

untuk mengetahui karakteristik dan reaksinya terhadap kekuatan tekan dan tarik mortar geopolimer. Disarankan juga untuk membuat jumlah benda uji yang lebih sehingga memudahkan untuk sewaktu - waktu diperlukan untuk kepentingan mengenai pembuktian penelitian juga sehingga ada benda uji yang rusak bisa digunakan benda uji cadangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Davidovits, Joseph. (2005). *Geopolymer, green chemistry and sustainable development solutions: proceedings of the world congress geopolymer 2005*. Geopolymer Institute.
- Davidovits, J., 2008, *Geopolymer: Chemistry and Applications*, Perancis: Geopolymer Institute
- Ekaputri, J. J., & Triwulan, T. (2013). *Sodium sebagai aktivator fly ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam beton geopolimer*. Jurnal Teknik Sipil, 20(1), 1–10.
- Ekaputri, F., Adiputra, A. (2018) *Pembuatan Pasta Ringan Geopolimer CLC Berbasis Campuran Lumpur Lapindo*.
- Greenwood, N.N. and Earnshaw, A. (1997) *Chemistry of the Elements. Journal of Physical Chemistry, Vol.4 No.3*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Hardjito, D. (2004). "On the Development of Fly Ash Based Geopolymer Concrete", *ACI Materials Journal*.
- Hardjito, D., Wallah S.E dan Rangan, B.V, 2004, *Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*, Civil Engineering Dimension. 6. Issue: 2, hal. 88
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., Rangan. B.V. (2005). *Studies on Fly ash-Based Geopolimer Concrete*. Perth: Curtin University Of Technology.
- Hanif N. A. B., Triwulan, dan Ekaputri, J. E., *Pasta Geopolimer Ringan Berserat Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo Bakar Dan Fly Ash Perbandingan 1 : 3 dengan Pengembang Foam*, Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2013) 1-6, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Manfaluty, L., Triwulan, & Aji, P. (2012). *Beton Ringan Berserat dengan Memanfaatkan Lumpur Bakar Sidoarjo dan Serat Alam*, Surabaya, Indonesia.
- Manuahe, dkk. (2013). *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Struktur Dan Sifat Mekanik Geopolimer Berbasis Fly Ash*, Jurnal Sains dan

Pendidikan Fisika (JSPF) Jilid 16, No 02,
Hal 171-180.

Nuruddin, M. F., Bayuaji, R.,
Masilamani, M. B., & Cement
Replacement Material. *Civil
Engineering Dimension*, 12, 18–22.

Palomo, Grutzeck, & Blanco, 1999;
Swanepoel & Strydom, 2002; Xu &
Deventer. *Effect of Alkali Materials
on Geopolymer Concrete*, Volume 6,
International Journal of Civil
Engineering and Technology.

Priadana, K. A., Triwulan, Januarti J. E.,
& Pujo A. (2012). *Karakterisasi Fly
Ash Berdasarkan Sifat Fisik dan
Kimia*. Teknik Sipil ITS.

Subroto. R. A., Utomo. D. J., Antoni, &
Hardjito D. (2014). *Pembuatan
Agregat Ringan Geopolimer
Berdasarkan Lumpur Sidoarjo dan Fly
Ash dengan Menggunakan Foam
Agent*. Teknik Sipil. Universitas
Kristen Petra, Surabaya, Indonesia.

Suprianto, Yuli. 2012. *Tinjauan Kuat Tekan
Beton Dengan Pemanfaatan Lumpur
Kering Tungku Ex. Lapindo Sebagai
Pengganti Semen*. Jurnal Tugas Akhir
Universitas Muhammadiyah Surakarta,
Surakarta.