

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT TALI RAFIA TERHADAP SIFAT MEKANIS MORTAR GEOPOLIMER

Fajri

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280 Buketrata, Lhokseumawe, Indonesia
e_mail : fajri@pnl.ac.id

Abstrak — Mortar Geopolimer adalah mortar yang tidak menggunakan semen dalam pembuatannya. Mortar geopolimer memiliki kekurangan berupa sifat getas dan rendah kekuatan lenturnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh penambahan serat terhadap sifat mekanis mortar geopolimer yang menggunakan fly ash, sebagai pengganti semen. Serat yang digunakan adalah serat tali rafia yang dipotong sepanjang 2 cm, dengan variasi berat serat 0%, 0,4%, 0,8%, 1,2 % dan 1,6% dari berat fly ash. Benda uji dibuat berbentuk prisma ukuran 30x30x130 mm dan berbentuk kubus ukuran 50x50x50 mm. Pengujian yang dilakukan berupa uji kuat lentur dan kuat tekan pada umur mortar 1, 3, 7 dan 28 hari. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat lentur maksimum terjadi pada persentase serat 0,8% dan kuat tekan maksimum terjadi pada persentase serat 0,4%. Peningkatan kuat lentur dan kuat tekan mortar geopolimer masing-masing terjadi sebesar 14,69 % dan 2,18 % dibanding mortar geopolimer tanpa serat pada umur 28 hari.

Kata Kunci : Mortar geopolimer, fly ash, serat tali rafia.

Abstrak — Geopolymer mortar is a mortar that does not use cement. Geopolymer mortar has the disadvantage of brittleness and low flexural strength. The aim of this study to determine the effect of fiber addition on the mechanical properties of geopolymer mortar, that using fly ash to replace cement. The fibers used are raffia fibers rop that cutting of 2cm and variation of 0%, 0.4%, 0.8%, 1.2% and 1.6% of the fly ash's weight. The specimen used are prism of 30x30x130mm size and a cube 50x50x50mm size. Flexural strength test and compressive strength test were carried out on mortar aged of 1, 3, 7 and 28 days. The results show that, the maximum flexural strength value occurs at 0.8% fiber and the maximum compressive strength occurs at 0.4% fiber. The increase in flexural strength and compressive strength of the geopolymer mortar was 14.69% and 2.18% compared to the geopolymer mortar without fiber.

Key word : Geopolymer mortar, fly ash, raffia fibers rop

I. PENDAHULUAN

Geopolimer merupakan kelompok material aluminosilikat yang pertama kali ditemukan oleh Joseph Davidovits pada tahun 1978 [Davidovits, J. (1994)]. Beliau memaparkan bahwa ikatan geopolimer tidak dibentuk dengan semen melainkan dengan menggunakan mineral alam lain yang mengandung unsur kimia Si, Al, dan Ca. Unsur ini banyak terdapat pada material limbah industri seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*risk husk ash*) dan lain-lain. *Fly ash* merupakan limbah industri dari sisa pembakaran batu bara yang bersifat pozzolanik karena banyak mengandung silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO). Kandungan kimia ini akan membentuk gel Si-O-Si dan Si-O-Al dalam proses polimerisasi yang berkontribusi

bagus terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Selama ini semen biasa jenis Portland (ordinary Portland cement - OPC) dalam sintesisnya sangat bergantung pada kehadiran unsur kalsium (Ca), sebaliknya geopolimer tidak memerlukan pembentukan kalsium-silika-hydrates (CSH) dalam pembentukan matriknya [Komnitsas, K., Zaharaki, D. (2007)]. Perbedaan struktur mikro ini menyebabkan mortar geopolimer memiliki keunggulan seperti mudah mencapai kekerasan/kekuatan dibandingkan dengan pengikat semen konvensional. Seperti ditunjukkan oleh hasil penelitian sebelumnya bahwa sifat fisik dan kimia geopolimer sangat stabil pada kondisi lingkungan asam, tahan terhadap api dan lebih unggul sifat tekannya dibandingkan dengan semen Portland [Chindaprasirt, P., Chareerat, T., Sirivivatnanon, V. (2007)]. Namun penelitian

mortar geopolimer masih harus terus didalami, terutama untuk memperbaiki kekurangan pada kekuatan lenturnya. Beberapa peneliti telah mencoba menambahkan berbagai jenis serat dalam adukan mortar geopolimer dan memberikan hasil positif pada penambahan kekuatan lentur. Namun beberapa jenis serat, seperti kawat bendrat, fiber glass dan lainnya memiliki harga yang relatif mahal dan sulit diperoleh untuk beberapa daerah terpencil di sebagian wilayah Indonesia. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mencari berbagai alternatif serat yang murah dan mudah diperoleh di pasaran. Penelitian ini mencoba menambahkan serat tali rafia dalam adukan mortar geopolimer dengan harapan dapat meningkatkan kuat lentur mortar tersebut tanpa mengurangi kuat tekannya. Tali rafia merupakan tali yang umum dijumpai di pasar yang sering digunakan sebagai tali pengikat suatu barang. Tali rafia memiliki karakteristik berbentuk pipih, elastis, mudah dipilin dan dibelah menyerupai benang. Selain mudah diperoleh, tali rafia juga memiliki harga yang relatif murah. Manfaat penelitian ini adalah tersedianya mortar geopolimer yang memiliki kekuatan mekanis yang baik dan dengan harga yang ekonomis, sehingga mudah diaplikasikan dalam berbagai elemen dalam bidang konstruksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Mortar geopolimer merupakan adukan yang dibuat dari campuran agregat halus, material pengganti semen dan alkali aktivator [Bachtiar Eeniati. (2019)]. Unsur alumina dan silika yang terdapat dalam material pengganti semen akan larut dalam larutan alkali yang tinggi dan kemudian mengalami polimerisasi/polikondensasi untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik yang diinginkan. Kelebihan mortar geopolimer adalah tahan serangan asam sulfat, mempunyai rangkai dan susut yang kecil, tahan terhadap reaksi alkali-silika, tahan terhadap api, dan dapat mengurangi polusi udara. Kelemahan mortar geopolimer diantaranya adalah pembuatannya sedikit lebih rumit dari mortar konvensional, karena jumlah material yang digunakan lebih banyak serta belum ada perhitungan *mix design* yang pasti [Khoiriyah, Nurul Latifah dan Putri Maisytoh. (2016)]. Sebagaimana beton pada umumnya,

mortar geopolimer juga memiliki kekuatan lentur yang rendah dan bersifat getas.

Serat dalam beton atau mortar berfungsi untuk mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton biasa (Kardiyono, 1996). Penggunaan serat juga dapat meningkatkan daktilitas beton dari sifat yang getas menjadi lebih daktil [Nugraha, Paul; Antoni. (2009)]. Keuntungan penggunaan serat yang lain adalah dapat meningkatkan beban kejutan (*impact resistance*), ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap pengaruh susut, dapat meningkatkan kekuatan lentur (*flexural strength*) dan meningkatkan kekuatan geser balok beton atau mortar serat. Penggunaan serat di dalam beton dihitung berdasarkan persentase berat serat terhadap berat semen atau pengganti semen. Penggunaan kadar yang terlalu sedikit atau terlalu banyak tidak menghasilkan efek yang baik terhadap beton. Jika serat yang digunakan terlalu banyak, akan mengurangi kekecekan beton dan beton akan sulit dipadatkan serta banyak rongga udara yang terjebak di dalamnya. Persentase optimum serat antara lain dipengaruhi oleh bentuk, aspek rasio (perbandingan antara panjang dan diameter), daya serap air, kehalusan permukaan dan jenis material serat yang digunakan [Nugraha, Paul; Antoni. (2009)]. Jenis serat yang digunakan dalam beton atau mortar geopolimer dapat berupa serat alami seperti serat sabut kelapa, serat ijuk, serat ampas tebu, serat benang pelepah pisang dan lain-lain, atau dapat berupa serat sintesis seperti fiber glass, serat nilon, dan lain-lain

Material Mortar Geopolimer

Fly ash adalah material yang berasal dari limbah sisa pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Selama pembakaran, kotoran mineral batubara (seperti tanah liat, *feldspar*, kuarsa, dan serpih) melebur dalam suspensi dan dibuang dari ruang pembakaran oleh gas buang. Dalam prosesnya, bahan yang menyatu diudara mendingin dan membeku menjadi partikel kaca berbentuk bola yang disebut *fly ash* [Owaid H. (2012)].

Analisis SEM menunjukkan bahwa sebagian besar partikel *fly ash* berbentuk bola padat, dan beberapa adalah *cenospheres* berongga, sedangkan bola lainnya mengenkapsulasim bola-bola kecil yang dikenal dengan sebutan *plerospheres*. Ukuran

partikel dalam *fly ash* bervariasi dari 1 mikrometer hingga 100 mikrometer dengan ukuran partikel khas berukuran dibawah 20 mikrometer. Hanya 10% hingga 30% dari partikel dengan massa lebih besar dari 45 mikrometer. Berat jenis *fly ash* sebagian besar berkisar antara 1,9 hingga 2,8 dan warnanya kebanyakan abu-abu coklat [Scrivener. (2014)]. Sifat-sifat ini memberikan reaktivitas yang tinggi pada material *fly ash* yang mampu bekerja sebagai bahan pozzolanik pada sistem konvensional dan sebagai *self-cementitious* dalam *system* geopolimer.

Spesifikasi standar *fly ash* didefinisikan dalam BS 450 [Perraki, Th & Kakali, Glikeria & Kontoleon, F.. (2003)]. Material *fly ash* terdiri dari kombinasi *heterogen fase* kaca kristal. Namun, kandungan terbesar ada pada tiga komponen utama SiO_2 (25 hingga 60%), Al_2O_3 (10 hingga 30%), dan Fe_2O_3 (5 hingga 25 %) sehingga material *fly ash* dikategorikan kedalam dua kelas, yaitu kelas F dan kelas C [10]. Dimana jika jumlah ketiga komponen kimia diatas 70% maka material *fly ash* dikategorikan sebagai kelas F, sedangkan jika jumlahnya diatas 50%, maka material *fly ash* dikategorikan kedalam kelas C.

Agregat halus (pasir) dalam adukan mortar geopolimer dibutuhkan untuk memberikan kemampuan kerja dan *finishing* yang baik. Pasir dengan modulus kehalusan (FM) sekitar 3,0 dianggap pasir kasar yang memungkinkan untuk menghasilkan *workability* yang baik dan kuat tekan tinggi. Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no.4 atau ukuran 4,75 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari organik, lempung, dan partikel yang lebih kecil dari saringan No.100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton [N Pertiwi. (2014)].

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi, sedangkan alkali aktivator adalah aktivator yang mengikat oksida silika pada *fly ash* dan akan bereaksi secara kimia membentuk ikatan polimerisasi. Alkalin aktifator yang paling umum digunakan dalam geopolimer adalah kombinasi dari natrium hidroksida atau kalium hidroksida dan natrium silikat atau kalium silikat [Davidovits J. (1999)]. Penggunaan aktivator ini biasanya hanya satu dari dua kombinasi tersebut [Palomo, A., M.W. Grutzeck, and M.T. Blanco. (1999)]. Larutan sodium silika adalah aktivator yang paling sering digunakan karena mudah

didapat dan ekonomis. Sodium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur Al dan Si yang terkandung didalam *fly ash*, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sodium hidroksida (NaOH) yang tersedia berupa serpihan dengan kadar 98%. Natrium silikat (Na_2SiO_3) atau sodium silikat merupakan larutan alkali yang mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Antara *fly ash* dan larutan sodium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostrukturnya. Sodium silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan dimana untuk campuran beton lebih banyak digunakan dengan bentuk larutan. Sodium silikat atau yang lebih dikenal dengan water glass, pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Dalam perkembangannya, sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, *coating*, campuran cat serta dalam beberapa keperluan industri, seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton [Sutanto, E., & Hartono, B., (2005)].

Tali rafia merupakan salah satu bahan yang tergolong dalam *polypropylene* yang berbahan plastik [Arde, Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02.1995]. Tali rafia memiliki bentuk pipih, tipis, licin dan tidak menyerap air. Tali ini mudah diperoleh dimana saja dengan harga yang relatif murah. Tali rafia memungkinkan untuk dijadikan bahan serat yang ditambahkan kedalam mortar geopolimer. Penambahan serat polypropylene sebesar 0,6 kg/m³ pada beton geopolimer dapat menghasilkan kuat tekan yang tinggi, yaitu sebesar 40,8125 MPa dan semakin tinggi kadar serat polypropylene, maka kuat tarik belah juga semakin tinggi, mencapai 4,1158 MPa pada kadar 1,2 kg/m³ [Kartono Kartini. (2007)]. Penambahan serat sabut kelapa pada *paving block* geopolimer, mempunyai kecenderungan menaikkan kuat lentur *paving block* tersebut. Kuat lentur tertinggi *paving block* geopolimer dihasilkan oleh variasi 0,6% [18]. Penambahan serat sintetis pada beton geopolimer dengan variasi tingkat kehalusan *fly ash* menunjukkan hasil, bahwa persentase penambahan serat pada campuran beton geopolimer dengan kehalusan *fly ash* yang sama menunjukkan peningkatan kuat lentur pada benda uji. Untuk

kehalusan Z0, kuat lentur maksimum didapat pada prosentase serat 0,45% sebesar 3,01 Mpa. Untuk kehalusan Z3, kuat lentur maksimum didapat pada prosentase serat 0,45% sebesar 3,17 Mpa. Lagranaldi, Alfanzha K. telah melakukan kajian terhadap beton geopolimer NaOH 8 M yang ditambah serat gelas dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Kesimpulan yang diperoleh adalah kadar serat gelas yang optimal untuk ditambahkan kedalam campuran beton geopolimer adalah 0,4% dari berat beton, dimana kuat tekan mencapai 20,580 MPa dan kuat tarik belah mencapai 10,675 MPa [A Susilowati, E Wiyono. (2017)].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Mortar geopolimer dibuat berbasis *fly ash* dengan menggunakan alkali aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 dengan rasio 1 : 2,5 dan molaritas 12M. Persentase penambahan serat tali rafia adalah sebesar 0%, 0,4%, 0,8%, 1,2% dan 1,6% dari berat *fly ash* dengan panjang serat 2 cm. *Mix design* dan kebutuhan material benda uji diperlihatkan pada tabel 1 dan tabel 2 berikut.

Tabel 1. *Mix design* material untuk uji kuat lentur

Prisma 30x30x30 mm						
Benda Uji	Persentase Serat (%)	Berat Serat (gr)	Berat Fly Ash (gr)	Berat Pasir (gr)	Berat NaOH (gr)	Na_2SiO_3 /NaOH
PM1	0	0	833.33	1666.66	261.9	654.76
PM2	0,4	3.33	833.33	1666.66	261.9	654.76
PM3	0,8	6.66	833.33	1666.66	261.9	654.76
PM4	1,2	9.99	833.33	1666.66	261.9	654.76
PM5	1,6	13.33	833.33	1666.66	261.9	654.76

Tabel 2. *Mix design* material untuk uji kuat tekan

Benda Uji Kubus 50x50x50 mm						
Benda Uji	Persentase Serat (%)	Berat Serat (gr)	Berat Fly Ash (gr)	Berat Pasir (gr)	Berat NaOH (gr)	Na_2SiO_3 /NaOH
KM1	0	0	900	1800	282.86	707.14
KM2	0,4	3,6	900	1800	282.86	707.14
KM3	0,8	7,2	900	1800	282.86	707.14
KM4	1,2	10,8	900	1800	282.86	707.14
KM5	1,6	14,4	900	1800	282.86	707.14

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur. Persiapan material meliputi, pengadaan *fly ash* dari PLTU Nagan Raya, Aceh, pengadaan natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silika

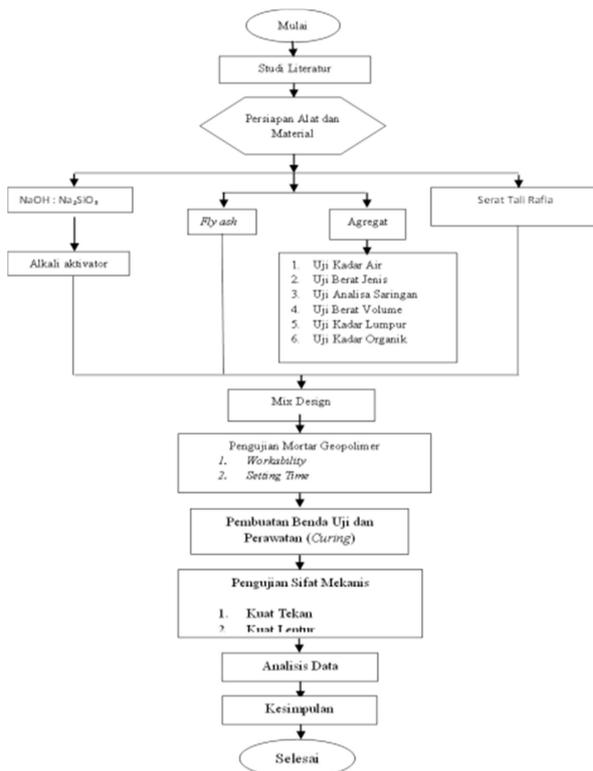
(Na_2SiO_3) yang dibeli dari toko bahan kimia. Tali rafia digunakan yang mudah diperoleh di pasar, kemudian diserut menyerupai serat dan dipotong sepanjang 2 cm. Agregat halus digunakan agregat yang berasal dari Krueng Mane, Kabupaten Bireuen, Aceh, dengan ukuran <4,75 mm. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ada peralatan dari Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil. Peralatan yang dipakai adalah *concrete mixer*, mesin uji tekan, mesin uji lentur, *flow table test set*, *vicat test set*, oven, dan cetakan beton. Kemudian dilakukan pengujian sifat fisis agregat halus, berupa pengujian kadar air, berat jenis, analisa saringan, berat volume dan pengujian kadar lumpur dan organik. Perhitungan *mix design* dilakukan terutama untuk menentukan komposisi dan jumlah alkali aktivator.

Proses pembuatan geopolimer serat dimulai dengan cara membuat sintesis geopolimer terlebih dahulu, yaitu dengan melarutkan NaOH dalam aquades. Setelah itu, Na_2SiO_3 dilarutkan dalam larutan pengaktif tersebut, lalu dituangkan ke dalam campuran *fly ash*, pasir dan serat yang telah lebih dahulu di aduk rata. Adukan mortar diaduk hingga homogen dan kemudian dituangkan ke dalam cetakan. Benda uji dibuat sebanyak 3 sampel untuk setiap variasi, baik variasi persentase serat, variasi jenis pengujian dan variasi hari. Proses pembuatan mortar geopolimer diperlihatkan oleh gambar berikut.



Pengujian terhadap mortar segar dilakukan segera setelah adukan mortar selesai, berupa pengujian *setting time* dan *workability*. Pengujian sifat mekanis, berupa uji kuat lentur dan kuat tekan, dilakukan pada hari ke 1, 3, 7 dan 28. Data hasil pengujian dikumpulkan dan diolah dengan menggunakan statistik sederhana.

Berikut adalah diagram alir penelitian:



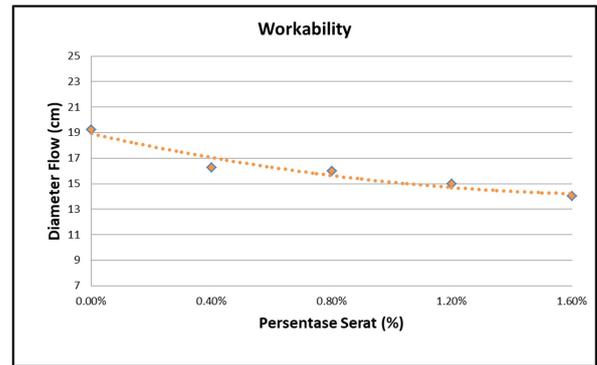
Gambar 1. Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian yang telah dilakukan diuraikan sebagai berikut.

Workability

Setelah dilakukan pengujian *workability* terhadap mortar geopolimer, diperoleh hasil perbedaan nilai *workability* yang sangat signifikan antar mortar geopolimer yang berserat dengan yang tidak berserat. Mortar yang ditambahkan serat tali rafia memiliki nilai *workability* yang lebih rendah dibandingkan yang tidak ditambahkan serat. Semakin tinggi persentase serat yang ditambahkan, semakin rendah pula nilai *workability*. Hal ini disebabkan oleh adanya sebagian cairan alkali aktifator yang menempel di serat tali rafia. Semakin banyak serat tali rafia juga menyebabkan proses pengadukan menjadi sulit dan susah untuk merata. Nilai *workability* dari beberapa variasi persentase serat tali rafia dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik nilai workability

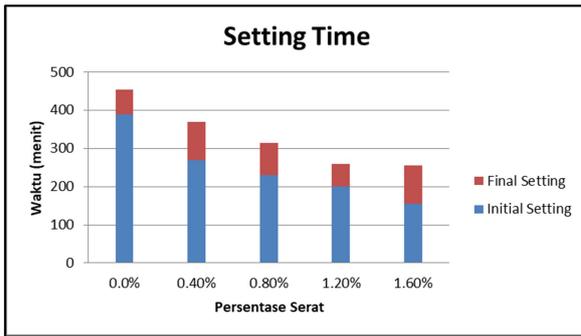
Gambar 3 di bawah ini memperlihatkan perbedaan *workability* mortar serat dengan mortar tanpa serat berdasarkan hasil pengujian *flow table*. Mortar tanpa serat setelah diuji dapat mengalir dengan mudah dan licin. Sedangkan mortar dengan serat lebih kental dan sulit untuk mengalir. Penambahan serat lebih banyak akan menyebabkan adukan menggumpal.



Gambar 3. Perbandingan hasil uji *flow table*

Setting time

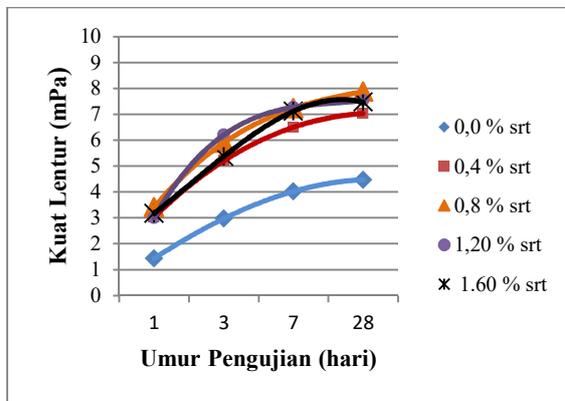
Penambahan serat tali rafia pada mortar geopolimer juga menyebabkan penurunan pada nilai *setting time*. Semakin banyak serat yang ditambahkan nilai *setting time* semakin turun. Hal ini terjadi dikarenakan semakin banyak serat, maka semakin sedikit campuran mortar geopolimer sehingga penetrasi jarum vicat lebih lambat. Gambar 4 menunjukkan bahwa kenaikan persentase serat tali rafia pada mortar geopolimer dapat menurunkan *initial setting dan final setting time*. Waktu pengikatan menurun sesuai dengan penurunan *workability* seiring dengan penambahan persentase serat. Hal tersebut menunjukkan persentase penambahan serat harus terukur dengan teliti dan penyebaran serat di dalam adukan juga harus diatur merata agar adukan mudah di cetak, dipadatkan dan memiliki waktu pengikatan sesuai kebutuhan.



Gambar 4. Grafik *initial* dan *final setting time*

Sifat mekanis

Grafik pada gambar 5 dari hasil pengujian kuat lentur mortar geopolimer menunjukkan bahwa kuat lentur mortar tanpa serat adalah sebesar 7,96 MPa. Kuat lentur maksimum mortar geopolimer dengan penambahan serat terjadi pada persentase serat tali rafia 0,8%, yaitu sebesar 9,13 Mpa. Terjadi peningkatan nilai kuat lentur karena penambahan tali rafia sebesar 14,7%. Tetapi penambahan serat lebih banyak dari 0,8% menurunkan kembali nilai kuat lentur mortar geopolimer.



Gambar 5. Grafik hasil pengujian kuat lentur

Keruntuhan lentur yang terjadi pada mortar geopolimer dengan penambahan serat tali rafia, tidak serta merta, tetapi secara perlahan. Keretakan yang terjadi juga tidak sebesar mortar tanpa serat, seperti diperlihatkan pada Gambar 6.

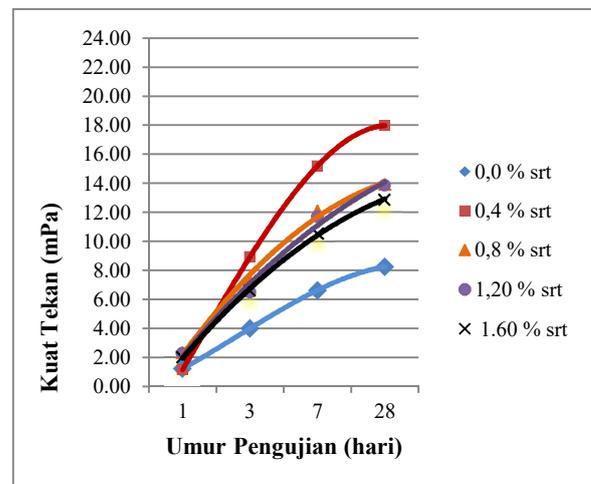
Hasil ini menggambarkan bahwa penambahan serat, selain memperbaiki kuat lentur mortar geopolimer, juga memperbaiki sifat getasnya. Serat-serat yang tersebar mampu menjahit retakan yang terjadi dan mengikat mortar agar

tidak runtuh serta merta. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melihat apakah serat tali rafia ini dapat menyumbang kekuatan tarik pada beton geopolimer, yang akhirnya dapat digunakan untuk elemen struktural.



Gambar 6. Perbandingan keruntuhan akibat uji lentur

Hasil pengujian kuat tekan memperlihatkan, mortar geopolimer tanpa serat memiliki kuat tekan sebesar 8,25 MPa. Sedangkan mortar geopolimer dengan penambahan serat tali rafia, menghasilkan kuat tekan maksimum pada penambahan serat 0,4 %, yaitu sebesar 8,43 Mpa. Terjadi peningkatan kuat tekan pada mortar geopolimer dengan penambahan serat tali rafia sebesar 2,2%. Berbeda dengan pengujian kuat lentur, dimana nilai maksimum kuat lentur terjadi pada penambahan serat 0,8%, namun nilai kuat tekan pada persentase serat tali rafia ini kembali menurun. Kuat tekan pada serat 0,8% tetap lebih tinggi dari mortar geopolimer tanpa serat. Sehingga persentase serat 0,8% tetap dapat disarankan untuk dipakai. Hasil pengujian kuat tekan diperlihatkan pada grafik Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hasil pengujian kuat tekan

Keruntuhan tekan pada mortar geopolimer dengan penambahan serat juga berbeda dengan geopolimer tanpa serat. Geopolimer dengan serat memperlihatkan retakan yang tidak terlepas, retakan yang timbul masih terjalin oleh serat tali rafia. Terjadi kesamaan dengan pola keruntuhan akibat lentur. Perbedaan keruntuhan diperlihatkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Perbandingan keruntuhan akibat uji tekan

Dari kedua pengujian sifat mekanis di atas memperlihatkan bahwa penambahan serat pada mortar geopolimer dapat meningkatkan karakteristik mortar geopolimer dengan komposisi yang tepat. Dilihat dari pola keruntuhan pada kedua pengujian sifat mekanis, menunjukkan serat di dalam mortar geopolimer berkontribusi dalam memperbaiki sifat getas. Dimana sifat getas merupakan salah satu kekurangan beton secara umum. Dengan berkurangnya sifat getas dan naiknya sifat lentur mortar geopolimer serat, diharapkan kedepan mortar geopolimer serat dapat dikembangkan menjadi berbagai elemen konstruksi. Berikut tabel kesimpulan pengujian sifat mekanis tersebut.

Tabel 3. Perbandingan hasil uji kuat lentur dan kuat tekan umur 28 hari

No	Jenis Uji	Hari	Persentase serat				
			0,0%	0,4%	0,8%	1,2 %	1,6 %
1	Kuat Tekan (MPa)	28	8.25	8.43	8.32	8.27	5.92
2	Kuat Lentur (MPa)	28	7.96	8.43	9.13	7.13	9.09

V. KESIMPULAN

Penambahan serat tali rafia pada mortar geopolimer dapat memperbaiki sifat mekanis mortar geopolimer, berupa kuat lentur dan kuat tekan. Kuat lentur maksimum terjadi pada penambahan serat 0,8% dan kuat tekan maksimum terjadi pada penambahan serat 0,4%. Kuat lentur maksimum terjadi sebesar 9,13 MPa, meningkat sebesar 14,7% dibandingkan mortar geopolimer tanpa serat. Sementara kuat tekan maksimum terjadi sebesar 8,43 MPa, meningkat sebesar 2,2% dibandingkan mortar geopolimer tanpa serat. Persentase serat tali rafia yang disarankan adalah 0,8%, persentase ini menaikkan kuat lentur optimum dan kuat tekan yang terjadi tetap lebih tinggi dari mortar tanpa serat.

Namun penambahan serat juga menurunkan nilai *workability* dan *setting time* mortar geopolimer, sehingga komposisi serat dan proses pencampuran harus diperhatikan dengan teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, Raden Mas Parikesit Suryo. (2019). "Pengaruh Penggunaan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanis Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash". S1 thesis, UAJY.
- Arde, Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02.1995, Philadelphia : ASTM 1995. Penggunaan Polypropylene Fiber Dintinjau terhadap Mekanisme Tekan dan Lentur pada Campuran Beton Normal, Dina, Surabaya : Teknik Sipil UPN "Veteran" Jawa Timur, 2005.
- A Susilowati, E Wiyono. (2017). "Penggunaan Bahan Anti Stripping untuk Campuran Beton Aspal". Jurnal Poli-Teknologi 10 (1).
- Bachtiar Eeniati. (2019). "Material Ramah Lingkungan - Mortar geopolimer – Fly Ash". Fakultas Teknik UNIFA. ISBN: 978-602-51509-4-4.
- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., Sirivivatnanon, V. (2007). "Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymers". Cement & Concrete Composites 29, 224–229.

- Davidovits J. (1999). "*Chemistry of geopolymeric systems, terminology*". Geopolymer 99, International Conference In Davidovits J, Davidovits R, James C (Eds.), Geopolymer Institute, Saint-Quentin, France Ed., 9-39.
- Davidovits, J. (1994). "*Geopolymer: man-made rocks geosynthesis and the resulting development of very early high strength cement*". Journal of Materials Education 16, 91–139.
- Davidovits, J., (1994). "*Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials*" Journal of Materials Engineering 16, 91-139.
- Kartono Kartini. (2007). "Psikologi Anak. Bandung : Mandar Maju.
- Khoiriyah, Nurul Latifah dan Putri Maisytoh. (2016). "Karakteristik Mortar Geopolimer Perawatan pada Berbagai Variasi Waktu Curing". Jurnal Politeknologi. Vol. 15, No. 1. <https://doi.org/10.32722/pt.v15i1.787>
- Komnitsas, K., Zaharaki, D. (2007). "*Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry*". Minerals Engineering 20, 1261–1277.
- Lagranaldi, Alfanza K. (2018). "Kajian beton geopolymer yang ditambah serat gelas yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya". Diploma thesis, Universitas Negeri Malang.
- N Pertiwi. (2014). "Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Karakteristik Beton Segar". Jurnal Forum Bangunan 12.
- Nugraha, P. & Antoni (2007). "Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi". C.V. ANDI OFFSET, Yogyakarta.
- Nugraha, Paul; Antoni. (2009). "Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi". Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Owaid H. (2012). "*A Review of Sustainable Supplementary Cementitious Materials as an Alternative to All-Portland Cement Mortar and Concrete*". Australian Journal of Basic and Applied Sciences", 6(9): 2887-303, 1991-8178
- Palomo, A., M.W. Grutzeck, and M.T. Blanco. (1999). "*Alkali-activated fly ashes: A cement for the future*". Cement and Concrete Research, 29(8): p. 1323-1329.
- Perraki, Th & Kakali, Glikeria & Kontoleon, F.. (2003). "*The effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement*". Microporous and Mesoporous Materials. 61. 205-212. 10.1016/S1387-1811(03)00369-X
- Scrivener. (2014). "*Understanding the Filler Effect on the Nucleation and Growth of C-S-H*". Journal of the American Ceramic Society.
- Sutanto, E., & Hartono, B., (2005). "Penelitian beton geopolymer dengan fly ash untuk beton struktural". TA No : 15111415/SIP/2005. Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.