



Pengaruh Penambahan Semen Portland Terhadap Sifat Mekanik Geopolimer Berbasis *Fly Ash*

Nurfajriani Muin¹, Subaer², dan Nurhayati³

¹Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

²Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

³Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

Email: nurfajrianimuin@gmail.com

*Corresponding Author

Abstrak

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen murni yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan semen portland terhadap sifat mekanik dari geopolimer berbasis *fly ash*. Komposit disintesis dengan menggunakan bahan dasar *fly ash*, semen portland, dan aktivasi alkali. Sampel dibuat 4 komposisi dengan variasi penambahan semen portland sebesar 0%, 20%, 40%, dan 60%, serta dirawat (*curing*) pada suhu 70°C selama 2 jam, kemudian disimpan pada ruang terbuka selama 28 hari. Pengujian struktur kristal sampel dilakukan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian untuk melihat gugus fungsi sampel menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Pengujian massa jenis dan porositas menggunakan konsep hukum Archimedes. Sedangkan sifat mekanik sampel diuji melalui kuat tekan dan kuat lentur. Hasil pengujian struktur kristal menunjukkan bahwa diperoleh puncak kristal *quartz* (SiO_2), serta fase lain yang terbentuk yakni *Calcium Oxide*, *Calcium Aluminum Silicate*, *Sodium Aluminum Silicate*, *Iron Oxide*, *Calcium Peroxide*, dan *Aluminum Iron Oxide*. Gugus fungsi komposit yang diperoleh menunjukkan bahwa puncak pada bilangan gelombang (cm^{-1}) untuk setiap spektrum variasi penambahan tidak terjadi pergeseran pita serapan yang signifikan. Nilai hasil pengujian massa jenis, porositas, dan sifat mekanik sampel menunjukkan penurunan seiring dengan penambahan semen portland. Formulasi yang paling optimal adalah geopolimer tanpa penambahan semen portland (G-PCC 0%) yaitu dengan nilai kuat tekan yang paling tinggi dan nilai kuat lentur yang tidak terlalu rendah.

Kata kunci: *Fly Ash*, Geopolimer, dan Semen Portland PCC.

Abstract

This research is a pure experimental study which aims to determine the effect of adding Portland cement on the mechanical properties of fly ash-based geopolimer. The composite was synthesized using fly ash, portland cement, and alkali activation as basic ingredients. Samples were made of 4 compositions with variations in the addition of Portland cement of 0%, 20%, 40% and 60%, and cured at a temperature of 70°C for 2 hours, then stored in an open space for 28 days. Testing of the sample crystal structure was carried out using XRD (X-Ray Diffraction). Testing to see the sample's functional groups uses FTIR (Fourier Transform Infrared). Density and porosity testing uses the concept of Archimedes' law. Meanwhile, the mechanical properties of the samples were tested through compressive strength and flexural strength. The results of crystal structure testing showed that a quartz (SiO_2) crystal peak was obtained, as well as other phases formed, namely Calcium

Oxide, Calcium Aluminum Silicate, Sodium Aluminum Silicate, Iron Oxide, Calcium Peroxide, and Aluminum Iron Oxide. The composite functional groups obtained show that the peak at the wave number (cm^{-1}) for each additional variation spectrum does not experience a significant shift in the absorption band. The test results for density, porosity and mechanical properties of the samples showed a decrease with the addition of portland cement. The most optimal formulation is geopolymer without the addition of portland cement (G-PCC 0%) with the highest compressive strength value and flexural strength value that is not too low.

Keywords: Fly Ash, Geopolymer, Portland Cement PCC.

1. PENDAHULUAN

Industri beton sebagai bahan dasar pembangunan berkelanjutan di Indonesia kian meningkat pesat beberapa tahun terakhir. Berdasarkan data Asosiasi Semen Indonesia (ASI) permintaan semen domestik meningkat 7,6% secara tahunan, pada tahun 2017 menjadi 66,35 juta ton dan akan terus meningkat dari tahun ke tahun dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan pra-sarana [1]. Akan tetapi industri beton dengan menggunakan semen portland secara global memberikan 5%-8% karbon dioksida (CO_2) yang merupakan penyumbang utama emisi gas terhadap pemanasan global yakni sebesar 65% yang berasal dari penggunaan energi dan proses kalsinasi [1]. Setiap produksi 1 ton semen portland akan menghasilkan sekitar 0,8 ton CO_2 yang dilepas ke udara dan mencemari lingkungan [2].

Salah satu upaya meminimalisir pemanasan global, dibutuhkan pengganti bahan baku beton yang lebih ramah lingkungan dan dapat diproduksi secara berkelanjutan. Salah satu material yang memiliki kualifikasi tersebut adalah bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat *polymer* atau geopolimer. Geopolimer adalah material atau bahan yang berupa anorganik dan diperoleh dari hasil sintesa melalui proses polimerisasi [3]. Material tersebut dapat berupa bahan sampingan atau limbah industri seperti *fly ash*.

Beton geopolimer merupakan solusi alternatif untuk menggantikan beton semen portland, karena memiliki sifat-sifat fisik, mekanik, dan tahan lama yang lebih baik untuk semua kondisi lingkungan ekstrim yaitu serangan asam, kondisi air laut, serangan sulfat, karbonasi beton, penetrasi klorida, reaksi agregat alkali, dan suhu tinggi, dibandingkan dengan beton konvensional semen portland [4]. Geopolimer dicampur pada suhu rendah yakni $<100^\circ\text{C}$ dan mengeras dengan cepat selama proses polimerisasi yang memiliki kekuatan tekan (*compressive strength*) lebih baik dari kekuatan tekan dari semen portland [5].

Abu terbang (*fly ash*) adalah salah satu material hasil sampingan industri yang paling potensial digunakan dalam pembuatan bahan pengikat geopolimer [3]. Pada tahun 2021, pemerintah memperkirakan terdapat 17 juta ton *fly ash* dan bottom ash (FABA), sedangkan pada tahun 2050 ke depan diperkirakan akan mencapai 49 juta ton, yang diperoleh dari PLTU di seluruh Indonesia [6]. Limbah material *fly ash* tersedia sangat banyak akan tetapi penggunaannya masih terbatas. Jika tidak dimanfaatkan *fly ash* ini dapat mengganggu pernapasan karena *fly ash* ini mudah terbang terbawa angin.

Rozi dkk. [3] menjelaskan bahwa *fly ash* jika dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran pada air, tanah, dan udara karena mengandung elemen beracun

seperti arsenik, vanadium, antimony, boron, dan chromium meskipun kandungannya hanya sedikit. Maka dari itu salah satu upaya agar *fly ash* tidak terkontaminasi dengan lingkungan dan makhluk hidup sekitar adalah dengan memanfaatkannya sebagai bahan pengganti sebagian semen portland. Maka dari itu salah satu upaya agar *fly ash* tidak terkontaminasi dengan lingkungan dan makhluk hidup sekitar adalah dengan memanfaatkannya sebagai bahan pengganti sebagian semen portland.

Salah satu kekurangan dari geopolimer adalah kelenturannya yang rendah, yakni memiliki perbandingan kuat lentur dan kuat tekan yang sangat jauh yaitu 1:9. Berbeda dengan semen portland yang memiliki perbandingan kuat lentur dan kuat tekan yakni 1:3. Kandungan Ca dari semen portland relatif lebih lentur dibanding natrium dari geopolimer *fly ash* [7]. Sehingga diharapkan dengan penambahan semen portland pada geopolimer berbasis *fly ash* ini dapat meningkatkan sifat mekanik (kuat tekan dan kuat lentur) yaitu dengan memiliki nilai perbandingan kuat tekan dan kuat lentur yang semakin kecil. Penambahan semen portland pada penelitian berperan untuk menghasilkan geopolimer kalsium poly(sialate-siloxo) sehingga diharapkan geopolimer yang dihasilkan memiliki sifat mekanik yang lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen murni yang mengarah pada proses sintesis dan karakterisasi geopolimer berbasis *fly ash* dengan variasi penambahan semen portland untuk mengetahui pengaruh penambahan terhadap sifat mekanik geopolimer. Bahan dasar yang digunakan adalah *fly ash* dan semen portland. *Fly ash* yang digunakan berasal dari PT. Bosowa Energi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto dan semen portland yang digunakan adalah semen Tonasa PCC (*Portland Composite Cement*). *Fly ash* dan semen portland terlebih dahulu diuji *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia dan konsentrasi unsur yang terkandung dalam kedua bahan dasar tersebut.

Proses pembuatan geopolimer diawali dengan membuat larutan alkali sebagai aktivator terlebih dahulu. Berikutnya menimbang Natrium Silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$), Natrium Hidroksida (NaOH), dan aquades (H_2O) menggunakan neraca digital sesuai komposisi. Selanjutnya mencampur H_2O dan NaOH terlebih dahulu, kemudian didinginkan. Setelah suhu larutan $<30^\circ\text{C}$ ditambahkan natrium silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$) dan diaduk hingga larutan homogen. Larutan alkali kemudian didinginkan hingga suhu larutan mencapai kurang lebih $<70^\circ\text{C}$. Larutan alkali didiamkan selama semalaman agar larutan alkali yang akan digunakan benar-benar dingin.

Tahap berikutnya yaitu sintesis pasta geopolimer, diawali dengan menimbang *fly ash* sesuai komposisi. Kemudian mencampurkan larutan alkali pada bahan dasar dan diaduk hingga diperoleh campuran pasta yang homogen. Selanjutnya menimbang semen portland dengan memvariasikan massa semen portland (0%, 20%, 40%, dan 60% relatif terhadap massa *fly ash*). Berikutnya mencampur semen portland dengan aquades sebanyak 30% dari massa variasi penambahan semen portland yang digunakan, kemudian diaduk sampai merata. Setelah itu dicampurkan kedalam pasta geopolimer dan diaduk hingga homogen. Pasta geopolimer selanjutnya dicetak pada cetakan yang sesuai. Sampel yang sudah dicetak di-

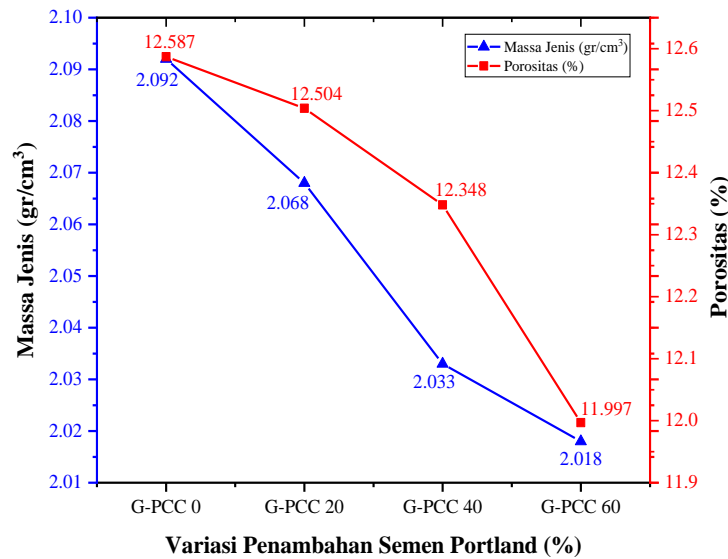
curing dalam keadaan tertutup pada oven dengan suhu rendah pada temperatur 70°C selama 2 jam. Sampel yang telah di-*curing* setelah berusia 1 hari dari cetakan. Akhirnya sampel disimpan pada suhu ruang selama 28 hari hingga mencapai ikatan polimerisasi yang lebih lengkap dan sampel siap dikarakterisasi.

Ada beberapa karakterisasi yang diidentifikasi pada penelitian ini yakni massa jenis dan porositas menggunakan konsep hukum Archimedes. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan fase dan struktur kristal suatu bahan kristal. Karakterisasi dengan menggunakan spektroskopi *Forier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi struktur molekul senyawa pada sampel komposit geopolimer-semen portland. Karakterisasi FTIR dilakukan dengan cara meletakkan sampel geopolimer diantara *beam splitter* dan detektor. Data yang dihasilkan berupa intensitas serapan (%T) dan bilangan gelombang (cm^{-1}). Sifat mekanik dari sampel geopolimer dapat diidentifikasi dengan melakukan uji kuat tekan dan uji kuat lentur dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) dan *Universal Testing Machine* (UTM). Pengujian sifat mekanik dilakukan untuk mengetahui kemampuan sampel komposit geopolimer-semen portland dalam menahan beban yang diberikan hingga mengalami kerusakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3. 1 Pengukuran Massa Jenis dan Porositas

Pengujian massa jenis dan porositas bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan semen portland terhadap nilai massa jenis dan porositas geopolimer. Berdasarkan variasi penambahan semen portland 0%, 20%, 40%, dan 60% diperoleh nilai massa jenis yang semakin menurun seiring dengan penambahan semen portland yakni 2.092 gr/cm^3 , 2.068 gr/cm^3 , 2.033 gr/cm^3 , dan 2.018 gr/cm^3 .



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Variasi Penambahan Semen Portland terhadap Massa Jenis Rata-rata dan Porositas Rata-rata Sampel

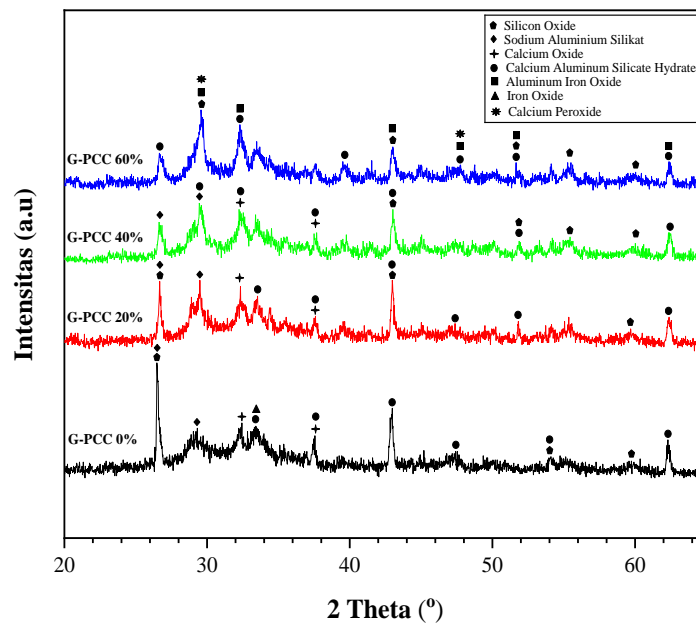
Gambar 1. menunjukkan nilai massa jenis dan porositas yang sesuai dengan teori. Massa jenis *fly ash* lebih besar dibandingkan massa jenis dari semen portland. Sehingga jika *fly ash* dicampurkan dengan semen portland, semakin banyak variasi semen portland yang ditambahkan maka kontribusi massa jenis semen portland yang lemah akan menunjukkan nilai massa jenis yang menurun pada sampel geopolimer-semen portland.

Nilai porositas sampel yang diperoleh dalam penelitian ini juga semakin menurun seiring dengan penambahan semen portland yakni 12.587 %, 12.504 %, 12.348 %, dan 11.997 %. Semakin rendahnya nilai porositas sampel untuk setiap penambahan semen portland yang lebih banyak adalah karena semen portland yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran yang sangat kecil (lolos saringan 100 mesh) yang memiliki kemampuan mengisi ruang-ruang yang kosong pada campuran sehingga pori-pori geopolimer dapat diperkecil. Hal ini tentu saja bersesuaian dengan hasil penelitian Karimah dan Prasajo [8] bahwa adanya penggunaan semen dapat mengurangi nilai porositas pada beton. Beton akan menjadi kedap air, karena penyerapan air tergantung pada pori-agregat pengisinya.

3. 2 Struktur Material Geopolimer Berbasis *Fly Ash*

a. Karakterisasi Struktur Kristal

Struktur kristal dan analisis fasa suatu sampel dapat diketahui dengan melakukan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD). Fase kristal ditandai dengan adanya puncak yang tajam, sedangkan fase amorf ditandai dengan gundukan/*hump* dengan intensitas yang rendah. Berikut Gambar 2. menunjukkan difraktogram geopolimer dengan variasi penambahan semen portland.



Gambar 2. Difraktogram Geopolimer dengan Variasi Semen Portland

Terdapat perbedaan yang tidak signifikan antara sampel tanpa penambahan semen portland dan sampel dengan variasi penambahan semen portland. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) sampel komposit geopolimer-semen portland, pada Gambar 2. diperoleh pola-pola difraksi berupa fase kristal dan beberapa fase amorf. Pada sampel geopolimer murni tanpa penambahan semen portland (G-PCC 0%) diperoleh puncak kristal SiO_2 (*quartz*) sebanyak 51.5 wt% dengan sudut $2\theta = 26.525^\circ$. Fase lain yang terbentuk yaitu CaO (*lime*) sebanyak 6.9 wt%, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_2$ (*grossular*) sebanyak 14.9 wt%, $\text{Na}_{7.52}(\text{Si}_{28.44}\text{Al}_{17.56}\text{O}_{72})(\text{H}_2\text{O})_{19.68}$ (*zeolite a, dodecasodium*) sebanyak 13.9 wt% dan Fe_2O_3 (*hematite*) sebanyak 12.9 wt%.

Pada penambahan semen portland kedalam matriks geopolimer sebanyak 20% dan 40% menunjukkan fase SiO_2 (*quartz*) sebanyak 50 wt% tetap dalam bentuk kristal yaitu pada sudut $2\theta = 26.662^\circ$ dan muncul beberapa fase baru, hal ini terjadi karena semen portland memiliki *impurity* (pengotor) sehingga pengotor tersebut ikut bereaksi pada proses sintesis sampel yang menyebabkan terbentuknya senyawa baru. Adapun fase lain yang terbentuk yaitu $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ (*grossular*) sebanyak 28 wt%, CaO (*lime*) sebanyak 8 wt%, dan $\text{Na}_{12}(\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48})(\text{H}_2\text{O})_{27}$ (*zeolite a, dodecasodium*) sebanyak 14 wt%.

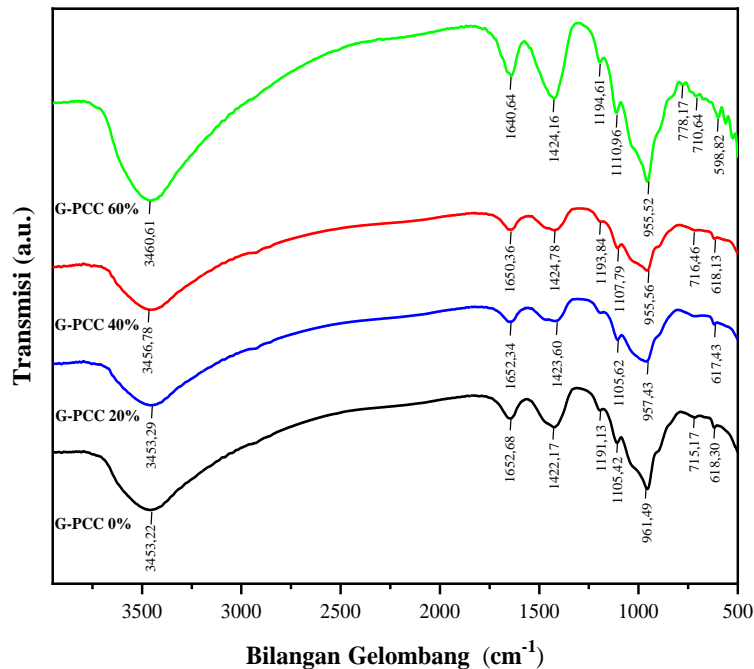
Pada penambahan semen portland sebanyak 60% juga menunjukkan fase SiO_2 (*quartz*) sebanyak 51.7 wt% tetap dalam bentuk kristal yaitu pada sudut $2\theta = 29.520^\circ$ dan muncul beberapa fase baru karena penambahan CaO dari semen portland yang lebih banyak. Adapun fase lain yang terbentuk yaitu $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{O}_4\text{H}_4)_3$ (*grossular/gehlenite*) sebanyak 38.6 wt%, CaO_2 sebanyak 14.9 wt%, dan AlFeO_3 sebanyak 14.9 wt%. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada pengujian XRF yang menunjukkan bahwa material *fly ash* dan semen

portland kaya akan kandungan utama CaO dan SiO₂, sedangkan kandungan Fe₂O₃, Al₂O₃, dan SO₃ tersedia dalam jumlah yang cukup.

Hasil karakterisasi menggunakan XRD juga menunjukkan fase amorf seiring dengan variasi penambahan semen portland yang berlebih. Puncak-puncak tajam menunjukkan fasa kristalin yang tidak reaktif, sedangkan fasa *amorf* ditunjukkan dengan adanya gundukan (*hump*). Dari hasil karakterisasi struktur kristal menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dapat disimpulkan bahwa fasa CaO dari semen portland PCC terikat dengan baik antar fasa geopolimer yang terbentuk.

b. Karakterisasi Gugus Fungsi

Karakterisasi spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada sampel geopolimer-semen portland dilakukan untuk mendeteksi gugus fungsi dan mengidentifikasi senyawa molekuler pada sampel geopolimer-semen portland. Hasil analisis FTIR dari geopolimer dengan variasi penambahan semen portland dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum FTIR Geopolimer dengan Variasi Penambahan Semen Portland

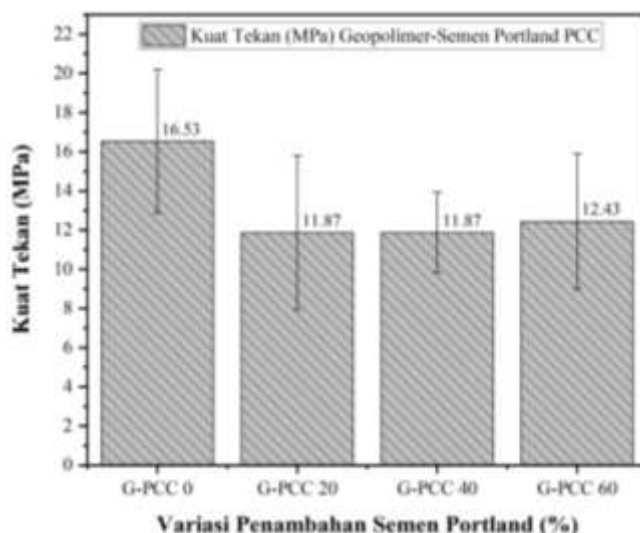
Hasil yang diperoleh pada Gambar 3. menunjukkan pita serapan mengalami pergeseran pada bilangan gelombang yang tidak signifikan untuk setiap spektrum IR (*Infra Red*) sampel geopolimer-semen portland. Spektrum FTIR memperlihatkan transisi vibrasi dan perubahan ikatan kimia pada tingkat molekuler. Gambar 3. menunjukkan spektrum IR dari sampel geopolimer-semen portland yang menunjukkan data bahwa pada bilangan gelombang 3453,22 – 3460,61 cm⁻¹ terjadi vibrasi ulur (*stretching*) simetri dari ikatan O-H. Pada bilangan gelombang 1640,64 – 1652,68 cm⁻¹ terjadi vibrasi tekuk (*bending*) dari ikatan H-O-H. Bilangan gelombang 1422,17– 1424,78 cm⁻¹ terjadi *stretching* pada ikatan Si-O.

Terbentuknya geopolimer ditandai dengan adanya pita serapan yang terletak pada bilangan gelombang $1105,42 - 1110,96 \text{ cm}^{-1}$ yakni terjadi *stretching asimetri* pada ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al yang berfungsi sebagai pengikat dan berkontribusi terhadap kuat tekan pada mortar geopolimer [9]. Pada bilangan gelombang $955,52 - 961,49 \text{ cm}^{-1}$ terjadi *stretching asimetri* pada ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al dan pada bilangan gelombang $598,82 - 618,30 \text{ cm}^{-1}$ terjadi *stretching* Si-O, hal ini disebabkan oleh besarnya jumlah kandungan Si dalam material *fly ash* dan semen portland dimana kandungan Si yang tersisa tidak mendapatkan porsi untuk bereaksi dengan kandungan Al [10]. Tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan spektrum FTIR pada sampel geopolimer tanpa penambahan semen portland dan dengan penambahan semen portland.

3. 3 Sifat Mekanik Geopolimer Berbasis *Fly Ash*

a. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sampel menahan beban yang diberikan hingga mengalami kerusakan. Pengujian ini dilakukan pada sampel yang telah berusia >28 hari agar proses polimerisasi telah lengkap dengan model sampel berbentuk silinder dengan ukuran diameter 2.5 cm dan tinggi 5 cm. Diagram perbandingan kekuatan tekan geopolimer dengan variasi penambahan semen portland dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Batang Hasil Kuat Tekan Sampel Geopolimer dengan Variasi Penambahan PCC 0%, 20%, 40%, dan 60%

Gambar 4. menunjukkan bahwa variasi penambahan semen portland yang paling optimal nilai kuat tekannya adalah tanpa penambahan semen portland (G-PCC 0%) yang memiliki nilai kuat tekan paling tinggi yaitu sebesar 16.53 MPa. Berdasarkan hasil kuat tekan tersebut diperoleh kesimpulan bahwa penambahan semen portland yang lebih besar pada penelitian ini akan menurunkan kekuatan mekanik (kekuatan tekan). Hal ini tentu saja

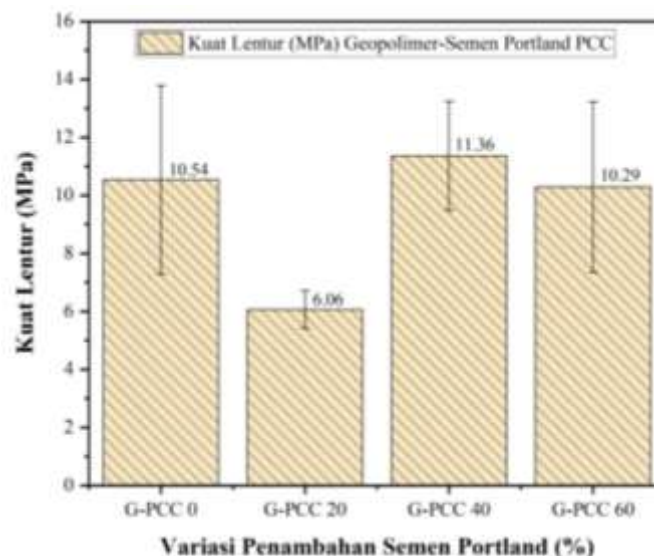
berbeda dengan hasil penelitian yang diperoleh oleh Syarif dkk. [11] penambahan PCC 30% semakin banyak semen maka ikatan antar butiran geopolimer akan semakin kuat untuk variasi penambahan PCC 30% yang mencapai nilai kuat tekan yang tinggi.

Pada penelitian ini geopolimer memiliki nilai kuat tekan yang besar dibanding dengan semen portland dan massa jenis keduanya juga berbanding lurus dengan nilai kuat tekan. Semakin banyak penambahan variasi semen portland yang memiliki nilai kuat tekan lebih lemah akan berkontribusi pada penurunan nilai kuat tekan dari sampel geopolimer-semen portland yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena material dengan nilai kuat tekan yang tinggi jika digabungkan dengan material yang kuat tekannya rendah maka material yang dihasilkan akan memiliki penurunan kekuatan tekan.

Pada umumnya geopolimer yang memiliki massa jenis 2 gr/cm^3 menunjukkan nilai kuat tekan diatas 30 MPa. Akan tetapi hasil penelitian ini menunjukkan nilai kuat tekan 16 MPa kebawah. Sedangkan nilai porositas yang diperoleh dalam penelitian ini sangat kecil. Hal ini kemungkinan disebabkan karena waktu *setting fly ash* tipe C yang digunakan lebih singkat dibanding referensi yaitu sekitar 15-25 menit, sedangkan dalam pembuatan pasta geopolimer ini waktu *setting fly ash* hanya sekitar 5-10 menit. Waktu *setting* ini tentu saja berpengaruh pada nilai sifat mekanik geopolimer. Penurunan kuat tekan ini disebabkan oleh proses pemadatan yang tidak sempurna mengakibatkan adanya volume udara yang terkandung dalam sampel. Semakin banyak volume udara dalam sampel maka cenderung menurunkan kuat tekan yang disebabkan adanya pori pori udara yang tidak terisi [12].

b. Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk mengetahui kelenturan atau elastisitas sampel geopolimer-semen portland jika diberikan beban. Pengujian ini dilakukan apabila sampel telah berusia lebih dari 28 hari setelah proses sintesis dengan model sampel berbentuk balok dengan ukuran $12.0 \times 2.0 \times 2.0 \text{ cm}^3$ dengan metode *three point bending test*. Hasil pengujian kekuatan lentur rata-rata yakni sebagai berikut.



Gambar 5. Diagram Batang Hasil Kuat Lentur Sampel Geopolimer dengan Variasi Penambahan PCC 0%, 20%, 40%, dan 60%

Gambar 5. menunjukkan bahwa variasi penambahan semen portland yang paling optimal nilai kuat lenturnya adalah dengan penambahan semen portland sebanyak 40% (G-PCC 40%) yang memiliki nilai kuat lentur paling tinggi yaitu sebesar 11.36 MPa. Menurut Nasrul dkk. [13] bahwa hubungan kuat tekan dan kuat lentur pada beton berbanding lurus, maka semakin turun nilai kuat tekan dengan penambahan semen portland maka kuat lentur dari sampel juga semakin turun. Sedangkan hasil pengukuran kuat lentur yang diperoleh terlihat sesuai kecuali pada penambahan 20% dan 40% kuat lentur. Terdapat beberapa perbedaan yang dapat menjadi faktor penyebab kekuatan lentur pada penelitian ini mengalami penurunan di antaranya seperti proses pencampuran (*mixing*) yang persebarannya tidak merata dan waktu *setting fly ash* tipe C yang lebih pendek atau singkat.

c. Perbandingan Kuat Lentur dan Kuat Tekan

Geopolimer memiliki tingkat kelenturan yang rendah, yakni memiliki perbandingan kuat lentur dan kuat tekan sebesar 1:9, sedangkan semen portland memiliki perbandingan kuat lentur dan kuat tekan sebesar 1:3. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan perbandingan kuat lentur dan kuat tekan pada geopolimer-semen portland sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Kuat Lentur dan Kuat Tekan Geopolimer-Semen Portland PCC

Kode Sampel	Massa Semen Portland (gr)	Kuat Lentur : Kuat Tekan
G-PCC 0%	0	1 : 1.5
G-PCC 20%	18	1 : 2
G-PCC 40%	36	1 : 1.1
G-PCC 60%	54	1 : 1.2

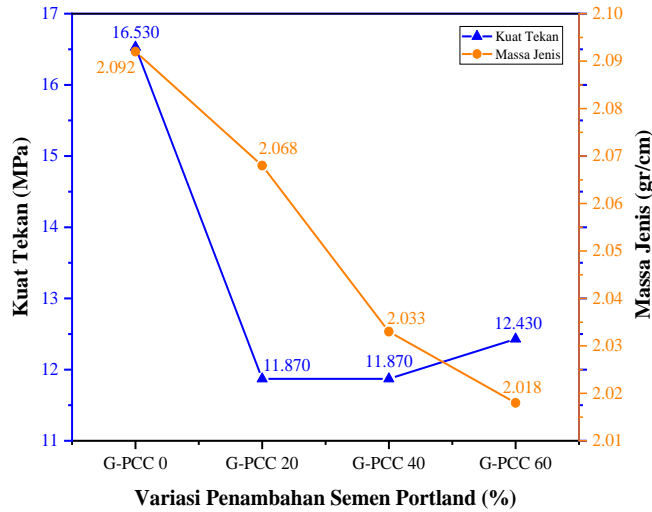
Tabel 1 menunjukkan perbandingan yang kecil antara kuat lentur dan kuat tekan. Hal ini disebabkan karena ketidakkonsistenan dari kualitas sampel. Nilai kuat tekan dan kuat lentur yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa variasi penambahan yang paling optimal atau memiliki sifat mekanik (kuat tekan dan kuat lentur) yang lebih baik adalah geopolimer tanpa penambahan semen portland (G-PCC 0%). Geopolimer tanpa penambahan semen portland ini menunjukkan nilai kuat tekan yang paling tinggi dan nilai kuat lentur yang juga tidak rendah. Meskipun geopolimer dengan variasi penambahan semen portland 40% (G-PCC 40%) yang memiliki nilai kuat lentur yang paling tinggi dari keempat variasi, akan tetapi tidak dapat dikategorikan memiliki sifat mekanik yang paling optimal karena nilai kuat tekan yang diperoleh paling rendah diantara empat variasi penambahan semen portland.

Variasi penambahan semen portland yang tidak optimal adalah pada penambahan semen portland sebanyak 20% (G-PCC 20%), yaitu memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur yang paling rendah diantara empat variasi penambahan semen portland. Berdasarkan tabel 1 menunjukkan semakin kecil perbandingan kuat lentur dan kuat tekan geopolimer-semen

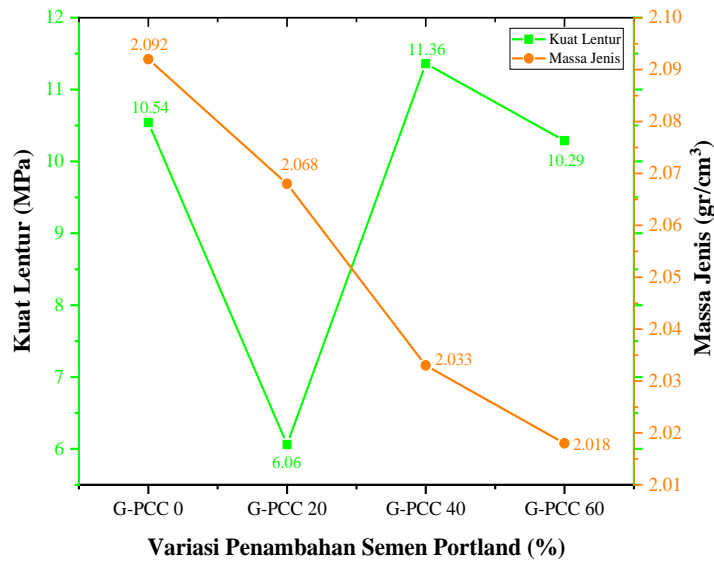
portland, hal ini dapat disebabkan karena proses pengadukan yang tidak konsisten untuk setiap pembuatan sampel pengujian.

3. 4. Hubungan Massa Jenis dan Porositas terhadap Sifat Mekanik (Kuat Tekan dan Kuat Lentur) Geopolimer Semen Portland

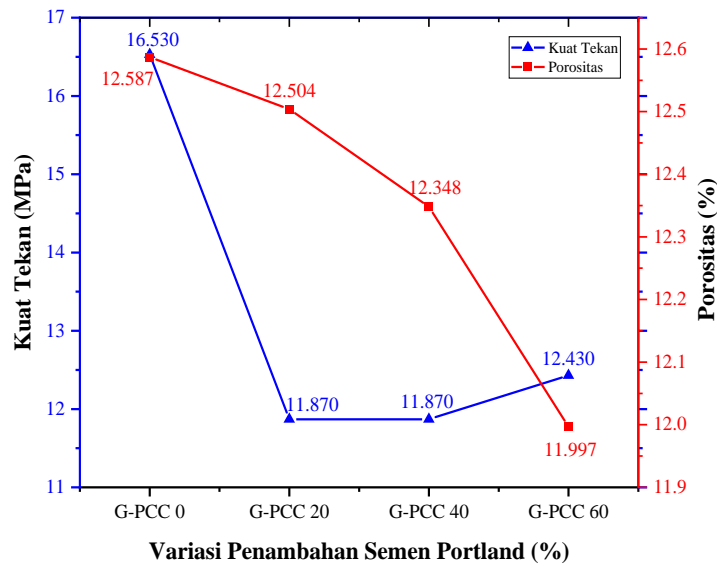
Hubungan antara massa jenis dan porositas terhadap kuat tekan dan massa jenis pada benda uji dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



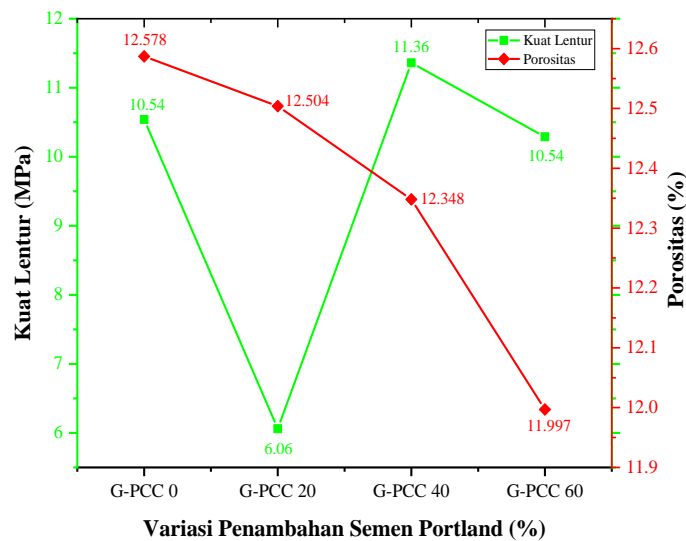
Gambar 6. Grafik Hubungan Massa Jenis terhadap Kuat Tekan Sampel Geopolimer-Semen Portland



Gambar 7. Grafik Hubungan Massa Jenis terhadap Kuat Lentur Sampel Geopolimer-Semen Portland



Gambar 8. Grafik Hubungan Porositas terhadap Kuat Tekan Sampel Geopolimer-Semen Portland



Gambar 9. Grafik Hubungan Porositas terhadap Kuat Lentur Sampel Geopolimer-Semen Portland

Berdasarkan gambar 6, 7, 8, dan 9, grafik hubungan massa jenis dan porositas terhadap sifat mekanik (kuat tekan dan kuat lentur) adalah berbanding lurus yakni semakin rendah massa jenis dan porositas sampel maka kekuatan tekan dan kekuatan lentur juga semakin rendah. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Provis dkk. [14] yang menunjukkan bahwa kuat tekan yang semakin naik seiring waktu didiamkannya sampel dan massa jenis yang semakin lama semakin turun menunjukkan hubungan berbanding terbalik

antara massa jenis dan kuat tekan. Hasil penelitian ini juga tidak sesuai dengan hasil penelitian yang diperoleh Triantono dan Wardhono [15] yakni semakin kecil nilai porositas menunjukkan bahwa sampel memiliki kepadatan yang tinggi sehingga sampel dapat menerima beban yang lebih besar. Hal ini dapat disebabkan karena ketika pengukuran massa jenis dan porositas dengan metode Archimedes, tidak semua air masuk kedalam pori sampel dengan variasi penambahan semen portland yang semakin bertambah karena partikel semen portland yang semakin bertumpuk sehingga beberapa partikel air tidak lolos masuk kedalam pori yang lebih kecil.

4. SIMPULAN

Sintesis geopolimer dilakukan dengan mencampurkan bahan dasar *fly ash* yang diaktivasi menggunakan larutan alkali. Selanjutnya dilakukan penambahan semen portland pada pasta geopolimer dengan variasi sebanyak 0%, 20%, 40%, dan 60%. Pada sampel geopolimer murni tanpa penambahan semen portland dan sampel dengan penambahan 20%, 40%, dan 60% diperoleh puncak kristal *quartz* (SiO_2). Hasil karakterisasi XRD juga menunjukkan fase amorf seiring dengan variasi penambahan semen portland yang berlebih. Selain itu, spektrum hasil *Infra Red* dari sampel geopolimer-semen portland dengan menggunakan FTIR menunjukkan data bahwa penambahan semen portland yang terbentuk pada jaringan geopolimer tidak berpengaruh pada pita vibrasi gugus fungsi. Tidak ada perbedaan panjang gelombang yang signifikan dari keempat sampel. Geopolimer yang memiliki nilai sifat mekanik yang baik ada pada geopolimer tanpa penambahan semen portland (G-PCC 0%) yaitu dengan nilai kuat tekan yang paling tinggi dan nilai kuat lentur yg tidak terlalu rendah. Saran untuk penelitian selanjutnya yang serupa dapat menggunakan bahan dasar *fly ash* tipe F agar *setting time* geopolimer tidak terlalu singkat sehingga diharapkan dapat memperoleh sifat mekanik yang lebih baik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, dosen penguji, dan teman-teman angkatan Universitas Negeri Makassar yang sudah membantu dalam sintesis, karakterisasi dan analisis sampel pengujian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Solikin, M. (2021). Analisis Pemakaian Kombinasi Fly Ash Tipe F dan Slag 1:1 pada Beton Geopolymer dengan Na_2SiO_3 dan NaOH Sebagai Alkali Aktivator: Sebuah Kajian Literatur. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 13–20. <https://doi.org/10.23917/dts.v14i1.15274>.
- [2] Nur, A. I. N., Subaer, S., & Nurhayati, N. (2022). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik One-Part Geopolymer Berbasis Fly Ash dan Silica Fume. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 18(1), 111. <https://doi.org/10.35580/jspf.v18i1.31991>.

- [3] Rozi, M. F., Johannes Tarigan, & Ahmad Perwira. (2020). Analisis Sifat Mekanik Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash PLTU Pangkalan Susu. *Jurnal Health Sains*, 1(5), 567–579. <https://doi.org/10.46799/jsa.v1i5.82>
- [4] Rangan, P. R. (2022). *Oorasi ilmiah Dr.Ir. Parea Rusan Rangan, ST.,MT.,CST.,IPM*.
- [5] Riswati, B., Nurhayati, & Subaer. (2017). Pengembangan Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash dan Abu Sekam Padi untuk Aplikasi Struktural Bawah Laut. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*, 13, 287–292.
- [6] Anonim. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Sekretariat Negara. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>.
- [7] Subaer. (2015). *Pengantar Fisika Geopolimer*. Program Penulisan Buku Teks Perguruan Tinggi Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- [8] Karimah, R., & Prasajo, A. (2019). Pembuatan Beton Porous dengan Material Geopolimer. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 17(1), 64–69. <https://doi.org/10.22219/jmts.v17i1.7535>.
- [9] Aiyub, A. (2022). Perbandingan Karakteristik Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Nagan Raya Terhadap Mortar Konvensional Dengan FAS 0, 5. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 8(2), 171–180.
- [10] Putra, I., Hajani, C. N., Fauzi, A., & Mahyar, H. (2022). Penggunaan Fly Ash Pangkalan Susu Terhadap Ikatan Mikrostruktur dan Karakteristik Pasta Geopolimer. *Jurnal Bisnis, Sosial dan Teknologi, Volume*, 12(2), 81–89. <https://doi.org/10.30811/bissotek.v12i2.3073>.
- [11] Syarif, H. A., Danang Saputra, & Khairul Fahmi. (2022). Analisis Penerapan Penggunaan Paving Block Geopolimer Abu Sawit Dengan Tambahan Ordinary Portland Cement (OPC) dan Portland Composite Cement (PCC) di Lahan Gambut yang Berbasis Eco-Green. *Aptek*, 14(2), 144–151. <https://doi.org/10.30606/aptek.v14i2.1429>.
- [12] Weking, F. J. (2019). Pengaruh Variasi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Zat Tambah Beton Mix. *Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa: Makassar*.
- [13] Nasrul, S., Yanti, G., & Megasari, S. W. (2021). *Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Beton Berpori*. 04, 13.
- [14] Provis, J. L., Hajimohammadi, A., Rees, C.A., & Van Deventer, J.S.J. (2009) Analysing and Manipulating the Nanostructure of Geopolymers, *Nanotechnol. Constr. 3 Proc*, 113–118.
- [15] Triantono, R. E., & Wardhono, A. (2019). Pengaruh Substitusi Limbah Marmer Terhadap Nilai Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Metode Wet Mixing dengan Berbahan Dasar Abu Terbang dan NaOH 8M. *Universitas Negeri Surabaya*, 1–5.