

PENGARUH PENAMBAHAN NANO *QUARTZ* TERHADAP KUAT TEKAN DAN KEKERASAN *VICKERS* MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *FLY ASH*

***Sri Oktaviani**
Universitas Negeri Makassar
oktasri97@gmail.com

Subaer
Universitas Negeri Makassar
subaer@unm.ac.id

Nurhayati
Universitas Negeri Makassar
nurhayati@unm.ac.id

*Koresponden author

Abstrak - Telah dilakukan penelitian tentang mortar geopolimer *fly ash* dengan variasi penambahan nano *quartz*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur dan sifat mekanik mortar geopolimer *fly ash* dengan variasi penambahan nano *quartz*. Mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan variasi penambahan nano *quartz* 0%, 1%, 2% dan 4% dibuat menggunakan metode aktivasi alkali dan dipanaskan pada suhu 70° selama 6 jam. Struktur mikro diperoleh menggunakan teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sifat mekanik diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan dan kekerasan *Vickers*. Hasil analisis XRD seluruh sampel menunjukkan fase tetragonal yakni *Quartz* pada sudut 26,6°. Hasil dari citra SEM memperlihatkan material penyusun sampel yaitu nano *quartz* (SiO₂) ditandai dengan skala kecerahan. Hasil dari pengujian kuat tekan mengalami kenaikan seiring dengan persentase penambahan nano *quartz*. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada sampel dengan persentase penambahan nano *quartz* 4% sebesar 33,26 MPa. Hasil dari pengujian kekerasan *Vickers* mengalami fluktuasi, dimana nilai kekerasan *Vickers* tertinggi berada pada penambahan nano *quartz* 1%. Hal ini disebabkan oleh partikel - partikel yang tidak bereaksi dengan baik dan struktur permukaan sampel yang tidak rata pada saat pemolesan sehingga pada saat dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* ditemukan titik yang permukaannya lunak dan keras (tidak homogen).

Kata Kunci : mortar, geopolimer, *fly ash*, nano *quartz*, XRD, SEM, kuat tekan, kekerasan *Vickers*.

Abstract - Research on *fly ash* geopolymer mortar has been carried out with variations in the addition of nano *quartz*. This study aims to determine the structure and mechanical properties of *fly ash* geopolymer mortar with variations in the addition of nano *quartz*. *Fly ash*-based geopolymer mortar with variations of the addition of nano *quartz* 0%, 1%, 2% and 4% was made using the alkaline activation method and heated at 70° for 6 hours. The microstructure was obtained using *X-Ray Diffraction* (XRD) and *Scanning Electron Microscopy* (SEM) techniques. Mechanical properties obtained from the results of the compressive strength and *Vickers* hardness test. The results of XRD analysis of all samples showed the highest phase, namely *Quartz* at an angle of 26,6°. The results of the SEM image show that the material that makes up the sample, namely nano *quartz* (SiO₂) is marked with a brightness scale. The results of the compressive strength test increased along with the percentage of addition of nano *quartz*. The highest compressive strength value was found in the sample with the addition of 4% nano *quartz* which was 33.26 MPa. The results of the *Vickers* hardness test fluctuated, where the highest *Vickers* hardness value was in the addition of 1% nano *quartz*. This is caused by the particles that do not react well and the surface structure of the sample is uneven at the time of polishing so that when the hardness test is carried out using the *Vickers* method, it is found that the surface is soft and hard (not homogeneous).

Keywords : mortar, geopolymer, *fly ash*, nano *quartz*, XRD, SEM, compressive strength, *Vickers* hardness.

A. PENDAHULUAN

Penggunaan semen sebagai material utama penyusun mortar banyak digunakan dalam sektor konstruksi. Hal ini menjadi penyebab meningkatnya produksi semen secara signifikan seiring dengan meningkatnya permintaan dari industri konstruksi. Namun, dampak buruk lingkungan yang dihasilkan tak dapat diabaikan. Proses produksi semen dapat melepaskan residu zat sebagai kontributor utama emisi dengan rata-rata 0,7 ton CO₂ per setiap ton semen ke atmosfer [1]. Untuk mengurangi dampak ini, maka penelitian difokuskan pada material alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti produk sampingan industri yang dapat menggantikan peran semen sebagai pengikat dalam beton dan diprediksikan dapat meningkatkan sifat mekanis mortar.

Geopolimer merupakan salah satu material alternatif yang digunakan sebagai pengganti semen. Istilah geopolimer pertama kali dipopulerkan oleh Joseph Davidovits pada tahun 1978. Geopolimer disintesis menggunakan reaksi kimia (geopolimerisasi) yang diperoleh dari disolusi dan polikondensasi polimerik mineral aluminasilikat dan larutan alkali tinggi yang dapat mengaktifkan bahan limbah kaya alumina dan silika seperti *fly ash*, abu sekam padi, dll [2].

Salah satu material sisa produksi yang dapat digunakan sebagai bahan dasar geopolimer adalah abu terbang (*fly ash*). *Fly ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap. Limbah padat initerdapat dalam jumlah yang besar sehingga diperlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran di udara dan perairan, serta penurunan kualitas ekosistem. Ada beberapa manfaat dari *fly ash* diantaranya dapat dijadikan sebagai bahan dasar untuk memproduksi semen geopolimer yang ekonomis dan ramah lingkungan atau material struktural yang tahan panas dan api. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jam'an [3], dilaporkan bahwa geopolimer berbahan dasar *fly ash* memiliki nilai kekerasan *Vickers* yang cukup tinggi hingga mencapai 7,4 MPa.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan utama dalam mortar geopolimer tidak hanya membantu dalam mengurangi masalah pembuangan abu terbang tetapi juga menghilangkan dampak buruk terhadap lingkungan yang disebabkan oleh produksi semen dengan sepenuhnya mengganti semen dengan *fly ash* sebagai bahan pengikat dalam mortar.

Dewasa ini, pengaplikasian produk sampingan seperti *fly ash* dan bahan nano ke dalam mortar atau beton telah dipertimbangkan secara signifikan. Nanoteknologi merupakan rekayasa ukuran material pada skala sepermilyar meter (10⁻⁹ m). Nanomaterial dapat dimanfaatkan sebagai agregat dalam beton guna meningkatkan sifat-sifat beton. Nanomaterial yang digunakan pada konstruksi bangunan berfungsi sebagai material pengisi (*filler*) maupun sebagai material pengikat yang dapat meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Material dengan skala nano memiliki sifat dan fungsi yang berbeda dari material sejenis dengan ukuran yang lebih besar (*bulk*). Ukuran partikelnya yang sangat kecil menjadikan nanopartikel lebih reaktif.

Totok Wianto [4] dalam penelitiannya menjelaskan bahwa potensi material nano sangat besar dan perlu dikembangkan. Material nano hasil pengukuran yang berpotensi dikembangkan salah satunya yakni kuarsa

dengan kadar SiO₂ sekitar 94,4% - 99%. SiO₂ merupakan bubuk putih amorf yang tidak beracun, tidak berasa, dan tidak berpolusi. *Quartz* atau kuarsa adalah salah satu bentuk kristal silika (SiO₂) yang memiliki tingkat kekerasan 7 pada skala Mohs yang membuatnya sangat resisten. Hal ini disebabkan karena ikatan struktur kimianya yang dapat berhubungan dengan berbagai macam unsur. Permukaan SiO₂ dapat membentuk ikatan hidrogen dan struktur rantai molekul ester polyester sehingga dapat mempengaruhi sifat-sifat bahan polimer [5].

Dalam pengaplikasiannya, nanosilika dapat digunakan sebagai bahan substitusi atau pengganti semen/pasir untuk struktur bangunan. Dengan teknik pencampuran yang tepat, partikel silika ini akan menyisip ke ruang kosong yang tercipta di antara partikel-partikel berukuran lebih besar (mikrometer) dan mengurangi porositas [4].

Dilaporkan dalam studi eksperimental yang dilakukan oleh [6] dan [7] bahwa penambahan nano SiO₂ (nano *quartz*) kedalam mortar dapat meningkatkan sifat seperti kekuatan, daya tahan dan reologi tergantung pada rasio penggunaannya. Bertolak dari uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan sebuah penelitian dengan judul **“Pengaruh Penambahan Nano *Quartz* Terhadap Kuat Tekan Dan Kekerasan *Vickers* Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash*”**.

B. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat eksperimen yang mengarah kepada pemanfaatan limbah seperti *fly ash* sebagai bahan dasar produk geopolimer. Penelitian mortar geopolimer ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan nano *quartz* terhadap kuat tekan dan kekerasan *Vickers* mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash*.

Penelitian ini dilakukan dengan empat persentase penambahan nano *quartz* dari berat *fly ash* yaitu 0%, 1% 2% dan 4%. Langkah pertama yang dilakukan yaitu mensintesis kuarsa yang didapatkan secara komersil menjadi nano *quartz* dengan terlebih dahulu di gerus menggunakan lumpang dan alu selama 30 menit. Kuarsa yang telah di gerus kemudian diayak menggunakan ayakan 60 Mesh dan digiling menggunakan *ball milling* selama 15 jam dengan kecepatan 350 rpm.

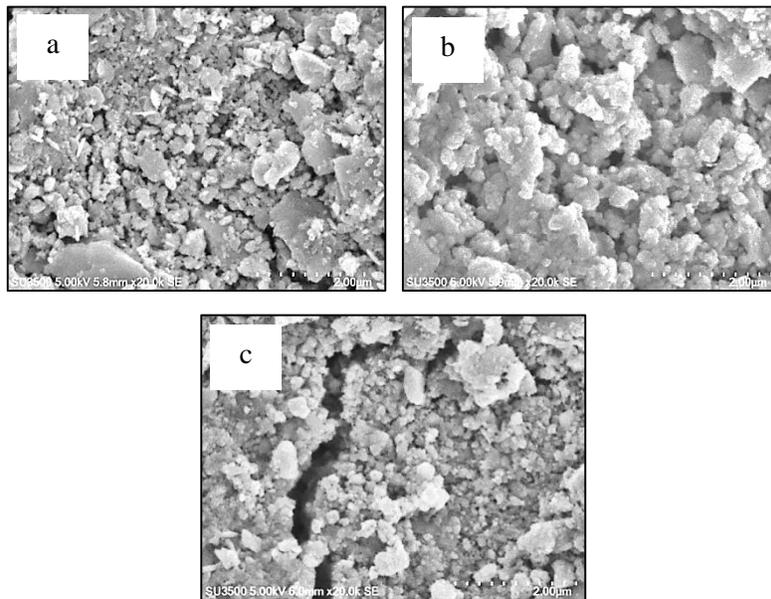
Proses yang dilakukan dalam mensintesis sampel yaitu pertama mempersiapkan bahan dasar *fly ash* dan nano *quartz*, kemudian ditimbang menggunakan neraca digital. Menimbang larutan *sodium silicate* (Na₂O.3SiO₂), *sodium hydroxide pellet* (NaOH) dan H₂O sesuai dengan berat yang ditentukan. Mencampur NaOH dan H₂O kemudian di aduk hingga larutan homogen (diamkan beberapa menit hingga suhunya kembali ke suhu kamar). Mencampur Na₂O.3SiO₂ dengan larutan campuran NaOH dan H₂O kemudian di aduk hingga homogen. Kedua, mengaktifasi *fly ash* yang sudah ditambahkan nano *quartz* dengan persentase 0%, 1%, 2% dan 4% dengan larutan alkali hingga diperoleh campuran yang homogen. Ketiga, memasukkan campuran ke dalam cetakan dan *curing* selama 6 jam pada suhu 70°C. Keempat, sampel di lepaskan dari cetakan setelah 3 hari dan didiamkan selama 14 hari pada udara bebas. Kelima, menghaluskan permukaan sampel dengan menggunakan amplas. Terakhir, dilakukan berbagai pengujian seperti Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk

mengetahui keadaan morfologi, karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat fase yang terbentuk pada sampel, dan pengujian kekuatan tekan (*Compressive strength*) dan pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Karakterisasi SEM dilakukan untuk menyelidiki struktur permukaan termasuk retakan dan porositas sampel geopolimer. Berikut citra SEM yang dihasilkan dari sampel mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Hasil karakterisasi SEM dapat dilihat dari Gambar 1.

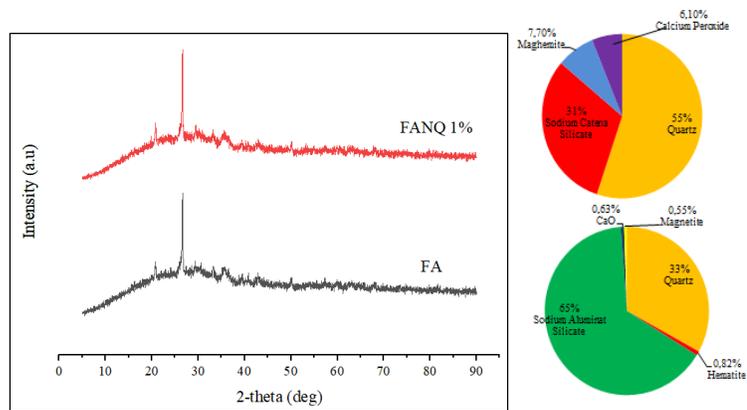


Gambar 1. Hasil citra SEM mortar geopolimer dengan penambahan a) 1%, b) 2% dan c) 4%

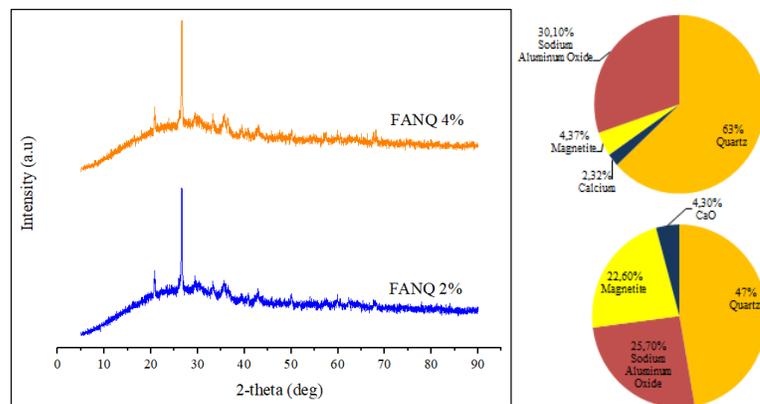
Gambar 1. Menunjukkan citra SEM dari mortar geopolimer pada perbesaran 2 μm . Pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan bahwa permukaan sampel terdiri dari sejumlah besar butir yang tidak bereaksi yang dikelilingi oleh matriks geopolimer serta sejumlah besar pori-pori, ukuran partikel yang berbeda serta retakan. Retakan pada sampel terjadi karena proses pemrosesan sampel tidak berlangsung dengan baik sehingga partikel-partikel pada permukaan mudah terlepas dan mengakibatkan kehalusan permukaan rendah. Partikel nano *quartz* (SiO_2) ditandai dengan skala kecerahan pada gambar.

2. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dari sampel mortar geopolimer.



Gambar 2. Difraktogram perbandingan hasil analisis XRD mortar geopolimer dengan variasi penambahan 0% dan 1% nano *quartz*



Gambar 3. Difraktogram perbandingan hasil analisis XRD mortar geopolimer dengan variasi penambahan 2% dan 4% nano *quartz*

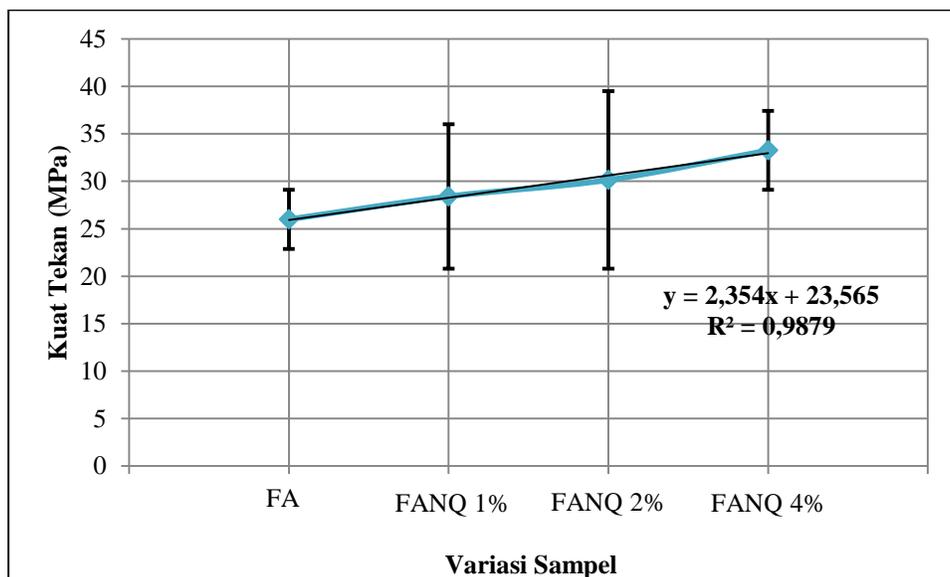
Hasil karakterisasi XRD untuk sampel mortar geopolimer memperlihatkan bahwa baik untuk sampel tanpa penambahan nano *quartz* maupun sampel dengan penambahan nano *quartz* memiliki pola difraksi yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3 yang menyajikan data perbandingan komposisi penambahan nano *quartz* yang berbeda dan kandungan senyawa yang terdapat didalamnya. Pola difraksi yang terbentuk untuk keseluruhan sampel memperlihatkan adanya puncak kristal *quartz* (SiO_2) yang terbentuk diantara fase amorf. Fase amorf sendiri dapat dilihat dari adanya gundukan (*hump*) yang terbentuk pada pola difraksi. Pada saat penambahan nano *quartz* kedalam sampel mortar geopolimer memperlihatkan hasil karakterisasi berupa munculnya beberapa senyawa baru yang tidak ada sebelumnya. Hal ini terjadi karena nano *quartz* memiliki *impurity* (pengotor) berupa besi sehingga pengotor tersebut ikut bereaksi pada proses sintesis sampel yang menyebabkan terbentuknya senyawa besi seperti Maghemite, Magnetite dan Hematite. Sedangkan nano *quartz* sendiri merupakan senyawa inert yang sulit untuk bereaksi dengan senyawa lainnya.

3. Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan sampel menahan beban hingga runtuh. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh gambaran yang lengkap tentang kualitas sampel mortar geopolimer. Sampel yang telah disintesis dibiarkan pada suhu ruang dan dilakukan pengujian kuat tekan setelah sampel berusia 14 hari. Pengujian kuat tekan menggunakan sampel berbentuk silinder dengan tinggi 7 cm dan diameter 3,5 cm. Pengujian kuat tekan dilakukan di laboratorium struktur dan bahan fakultas teknik, Universitas Hasanuddin. Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer Dengan Variasi Penambahan Nano *Quartz*

Sampel		Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
FA	A	23,91	25,99±3,11
	B	29,10	
	C	24,95	
FANQ 1%	A	31,18	28,41±7,62
	B	20,79	
	C	33,26	
FANQ 2%	A	28,06	30,14±9,36
	B	22,87	
	C	39,50	
FANQ 4%	A	33,26	33,26±4,16
	B	37,42	
	C	29,10	



Gambar 4. Grafik rerata hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan variasi penambahan nano *quartz*

Gambar 4 memperlihatkan nilai kuat tekan tertinggi berada pada variasi penambahan nano *quartz* 4%, yakni sebesar 33,26 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan terendah pada mortar geopolimer tanpa penambahan nano *quartz* yakni sebesar 25,99 MPa. Hasil yang di dapatkan dari pengujian kuat tekan sampel mortar geopolimer mengalami kenaikan seiring dengan persentase penambahan nano *quartz*. Ini menunjukkan bahwa penambahan nano *quartz* dalam mortar geopolimer *fly ash* memiliki kenaikan yang signifikan. Hasil serupa juga ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya yang dilaporkan oleh [6] dan [7] yang menyelidiki pengaruh penambahan nano SiO₂ (*quartz*) terhadap kuat tekan beton dan didapati bahwa penambahn nano SiO₂ memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton. Dari hasil penelitian tersebut maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan nano *quartz* dalam mortar geopolimer dapat diperhitungkan sebagai salah satu alternatif yang dapat menggantikan peran semen dalam industri konstruksi.

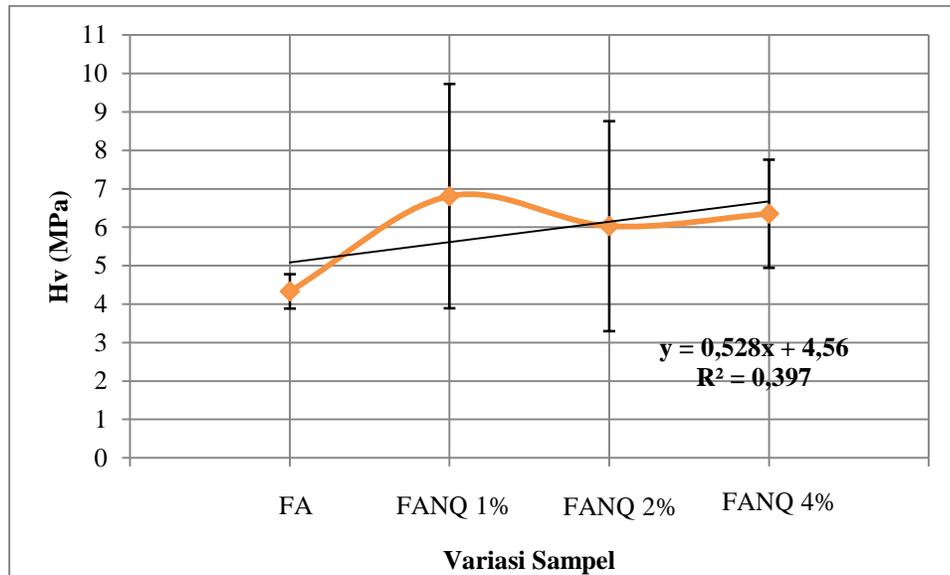
4. Kekerasan *Vickers* (*Vickers Hardness*)

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan untuk mengetahui ukuran resistansi mortar geopolimer terhadap deformasi plastik ketika permukaannya ditekan oleh sebuah *indenter* intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136°. Penentuan kekerasan *Vickers* untuk mortar geopolimer *fly ash* dilakukan dengan menggunakan beban 0,2 Kgf yang diberikan selama 20 detik. Dengan beban ini, diagonal indentasi dapat ditentukan dengan akurasi tinggi dibawah mikroskop optik. Tabel 2 memperlihatkan bahwa setiap sampel memiliki nilai kekerasan yang berbeda-beda pada setiap titik indentasinya.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Vickers Hardness*

Sampel	Titik Indentasi	Beban (Kgf)	Diameter (µm)		Hv (MPa)	Rata-rata (MPa)
			D1	D2		
FA	1	0,2	90,74	96,56	4,23	4,33±0,45
	2	0,2	94,11	94,61	4,17	
	3	0,2	94,11	94,61	4,17	
	4	0,2	100,21	85,52	4,30	
	5	0,2	85,45	90,75	4,78	
FANQ 1%	1	0,2	73,81	76,88	6,53	6,81±2,92
	2	0,2	72,59	75,80	6,74	
	3	0,2	83,63	78,45	5,65	
	4	0,2	61,98	61,52	9,73	
	5	0,2	78,13	87,64	5,40	
FANQ 2%	1	0,2	73,28	82,35	6,12	6,03±2,73
	2	0,2	91,12	72,71	5,53	
	3	0,2	63,96	68,96	8,40	
	4	0,2	84,75	77,05	5,67	
	5	0,2	96,79	86,64	4,41	
FANQ 4%	1	0,2	72,57	71,20	7,18	6,35±1,41
	2	0,2	77,33	76,18	6,30	

	3	0,2	68,06	80,81	6,69
	4	0,2	80,73	92,59	4,94
	5	0,2	70,42	78,92	6,65



Gambar 5. Grafik rerata hasil pengujian kekerasan *Vickers*

Tabel 4 menunjukkan nilai kekerasan untuk sampel mortar geopolimer tanpa penambahan nano *quartz*, memperlihatkan nilai kekerasan *Vickers* yang cenderung konstan dan untuk sampel dengan penambahan nano *quartz* memiliki nilai *Vickers* acak yang menunjukkan bahwa material tersebut tidak homogen (jika kekerasan merupakan parameter bahan dasar, beban yang sama seharusnya menghasilkan nilai kekerasan yang konstan untuk material yang sama). Pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan bahwa bahan terdiri dari sejumlah besar butir yang tidak bereaksi yang dikelilingi oleh matriks geopolimer serta sejumlah besar pori-pori. Kehadiran butiran ini serta pori-pori mempengaruhi ukuran lekukan, yang pada gilirannya mempengaruhi nilai kekerasan.

Kekerasan *Vickers* merupakan indikator dari kuat tekan sehingga secara umum, kekerasan *Vickers* seharusnya berbanding lurus dengan kuat tekan sebagaimana hasil penelitian yang dilaporkan oleh [8] yang menyelidiki pengaruh silika fume dalam pasta semen Portland dan menemukan hubungan linier antara kekuatan dan kekerasan mikro. Namun pada penelitian ini didapati kekerasan *Vickers* tidak berbanding lurus terhadap kuat tekan (gambar 5), dimana nilai kekerasan *Vickers* tertinggi berada pada penambahan nano *quartz* 1% sebesar $[6,81 \pm 2,92]$ MPa sedangkan nilai kuat tekan bertambah seiring dengan persentase penambahan nano *quartz*. Hal ini disebabkan oleh partikel-partikel yang tidak bereaksi dengan baik dan struktur permukaan sampel yang tidak rata pada saat pemolesan sehingga pada saat dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* ditemukan titik yang permukaannya lunak dan keras.

D. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil analisis XRD seluruh sampel menunjukkan fase *Quartz* tertinggi pada sudut 2θ sebesar $26,6^\circ$.
2. Hasil dari citra SEM memperlihatkan material penyusun sampel yaitu nano *quartz* (SiO_2) ditandai dengan skala kecerahan pada gambar, kepadatan mortar geopolimer bertambah seiring dengan bertambahnya persentase penambahan nano *quartz*.
3. Hasil dari pengujian kuat tekan sampel mortar geopolimer mengalami kenaikan seiring dengan persentase penambahan nano *quartz*. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada sampel dengan persentase penambahan nano *quartz* 4% sebesar 33,26 MPa.
4. Hasil dari pengujian kekerasan *Vickers* mengalami fluktuasi, dimana nilai kekerasan *Vickers* tertinggi berada pada penambahan nano *quartz* 1%. Hal ini disebabkan oleh partikel - partikel yang tidak bereaksi dengan baik dan struktur permukaan sampel yang tidak rata pada saat pemolesan sehingga pada saat dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* ditemukan titik yang permukaannya lunak dan keras (tidak homogen)

E. DAFTAR RUJUKAN

- [1] C. Li, X.Z. Gong, S.P. Cui, Z.H. Wang, Y. Zheng, B.C. Chi, CO₂ emissions due to cement manufacture. *Materials Science Forum: Trans Tech Publ*; 2011. p. 181-187.
- [2] Subaer. (2015). *Pengantar Fisika Geopolimer*. Makassar: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- [3] Jam'an, M. (2009). *Studi Tentang Kekerasan Vickers Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Metakaolin*. Makassar: Skripsi Universitas Negeri Makassar.
- [4] Totok Wianto dan Ninis Hadi Haryanti. (2008). Penentuan Mineral dan Logam Sebagai Material Dasar dalam Pengembangan Potensi Kalimantan Selatan sebagai daerah penghasil Nanomaterial. *Jurnal Fisika Flux* Vol.5 No.2.
- [5] Tang Yixiang, Sun Wanli, et al. *Journal of Functional Materials*, Vol.44(2013),p.124.
- [6] Ding Siang Ng, S. C. (2020). Influence of SiO_2 , TiO_2 and Fe_2O_3 nanoparticles on the properties of fly ash blended cement mortars. *Construction and Building Materials*.
- [7] D. Gundogdu, B. P. (2010). Influence Of Nano SiO_2 On Mechanical Properties Of Mortars Containing Fly Ash. *International RILEM Conference on Material Science*.
- [8] Feldman, R.F.; Cheng-Yi, H. *Cem. Concr. Res.* 1985, 15, 943-952.