

PENGARUH PENAMBAHAN NANO-TiO₂ TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KARAKTERISIK MIKRO KOMPOSIT GEOPOLIMER SEBAGAI MATERIAL SELF-CLEANING

¹⁾Nur Akifah, ²⁾Subaer dan ³⁾Muris

^{1,2,3)}Universitas Negeri Makassar

Kampus UNM Parangtambung Jln. Daeng Tata Raya, Makassar, 90224

²⁾e-mail : subaer@unm.ac.id

Abstrak. Penelitian ini berkenaan dengan pengembangan geopolimer berbasis metakaolin dengan agregat nano-TiO₂ sebagai material *self-cleaning*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran nano-TiO₂, sifat mekanik dan karakteristik mikro dari komposit geopolimer sebagai material *self-cleaning*. Komposit geopolimer disintesis menggunakan metode aktivasi alkali, dengan menggunakan metakaolin sebagai bahan dasar dan nano-TiO₂ sebagai agregat. Variasi agregat nano-TiO₂ didalam metakaolin yaitu mulai dari 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% relative terhadap massa metakaolin. Karakterisasi SEM-EDS digunakan untuk melihat morfologi dan mengetahui komposisi oksida unsur dari bahan dasar dan sampel. Karakterisasi XRD digunakan untuk melihat komposisi fasa dan struktur kristal sampel dan bahan dasar. Pengujian kuat tekan (*compressive strength*) dilakukan dengan menggunakan *universal testing mechin*. Hasil analisis sinar-X sampel menunjukkan adanya peningkatan fasa anatase seiring dengan penambahan nano-TiO₂. Citra SEM memperlihatkan ikatan antara matriks dan agregat sudah terikat dan persebaran nano-TiO₂ dipermukaan matriks sudah merata. Nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 23.11 MPa dengan penambahan nano-TiO₂ 1 %. Pengujian *self-cleaning* dilakukan dengan memberi paparan sinar-UV pada sampel dan menunjukkan efek fotokatalis terbaik pada sampel dengan penambahan nano-TiO₂ sebesar 1 %.

Kata kunci : geopolimer, karakteristik mikro, nano-TiO₂, *self-cleaning*, sifat mekanik

PENDAHULUAN

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan material oksida yang memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki sifat optik yang baik, aktivitas fotokatalis yang baik, superhidrofilik, ramah lingkungan serta stabilitas mekanik tinggi [1]. Ketika TiO₂ diiluminasi dengan sinar UV yang bersumber dari lampu ataupun sinar matahari, TiO₂ memiliki kemampuan sebagai superhidrofilik dan oksidasi reduksi yang kuat melalui proses fotokatalitik [2]. TiO₂ yang dapat terlibat dalam sintesis anorganik adalah TiO₂ dengan fase *anatase*, *rutile*, dan *brookite* dengan fase *anatase* yang menunjukkan aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi [1].

Beberapa tahun terakhir TiO₂ hadir sebagai material paling dibutuhkan sebagai *photocatalyst* untuk berbagai potensi seperti pemurnian bahan alam, sterilisasi, *self-cleaning* dll. Sifat superhidrofilik yang dimiliki oleh TiO₂ dapat diaplikasikan untuk material *self-cleaning*.

Material *self-cleaning* merupakan material yang memiliki daya membersihkan diri sendiri. Mekanisme dari material *self-cleaning* menyerupai efek daun keladi, yaitu efek fotokatalis dan efek hidrofilitas/ *hydrophobic*. Pengembangan material *self-cleaning* dalam dunia tekstil ditandai dengan adanya pakaian/baju steril. Pakaian/baju steril menggunakan kain yang dilapisi dengan nano-TiO₂ untuk menghasilkan material yang bersifat *photocatalytic self-cleaning* [2]. Material *self-cleaning* di bidang industri kini dikembangkan dalam produk cat [3]. Dinding dengan lapisan cat *self-cleaning* membuat kotoran tidak akan menempel di permukaan dinding.

Dalam penelitian ini, material *self-cleaning* dengan lapisan nano-TiO₂ diaplikasikan pada geopolimer metakaolin. Geopolimer adalah nama lain dari polimer anorganik aluminasilikat. Berdasarkan penelitian sebelumnya, geopolimer merupakan material dengan kekuatan mekanik yang tinggi seperti, kekuatan tekan dan kekuatan lentur yang tinggi [4,5].

Geopolimer dapat disintesis dari berbagai macam material yang mengandung alumina dan silica dengan metode aktivasi alkali. Metakaolin, fly ash, dan slag merupakan bahandasar pembuatan material komposit geopolimer [6]. Pemilihan bahan dasar metakaolin dalam pembuatan geopolimer dikarenakan metakaolin bersifat relatif murni dibandingkan dengan mineral aluminasilikat yang lain[7].

METODE

Komposit geopolimer disintesis menggunakan metode alkali dengan bahan dasar metakaolin dengan nano-TiO₂ sebagai agregat. Geopolimer-nanoTiO₂ dibuat sebanyak 5 sampel dengan mengkonstantakan massa dari metakaolin kemudian memvariasikan penambahan nano-TiO₂ berturut-turut 0 %, 0.25 %, 0.50 %, 0.75 %, 1.00 %.

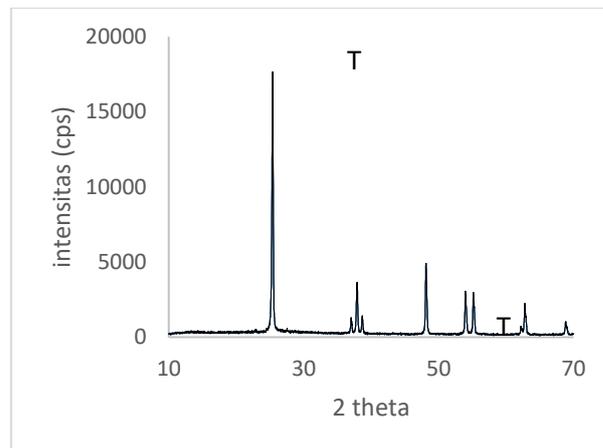
Metakaolin dicampur dengan nano-TiO₂ kemudian ditambahkan dengan larutan alkali sedikit demi sedikit hingga diperoleh pasta geopolimer yang homogen. Selanjutnya pasta geopolimer dimasukkan ke dalam cetakan dan *d-curing* di dalam oven suhu rendah pada suhu 60°C selama 2 jam.

Sampel yang dilepaskan dari cetakan kemudian dihitung massa jenisnya. Hasil dari sintesis komposit geopolimer selanjutnya dianalisis struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk melihat morfologi dari sampel Struktur kristal dan komposisi fassa pada sampel geopolimer diuji dengan XRD (*X-ray Diffractometer*). Pengujian kuat tekan sampel dan *self-cleaning* dilakukan di pada sampel dengan umur 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

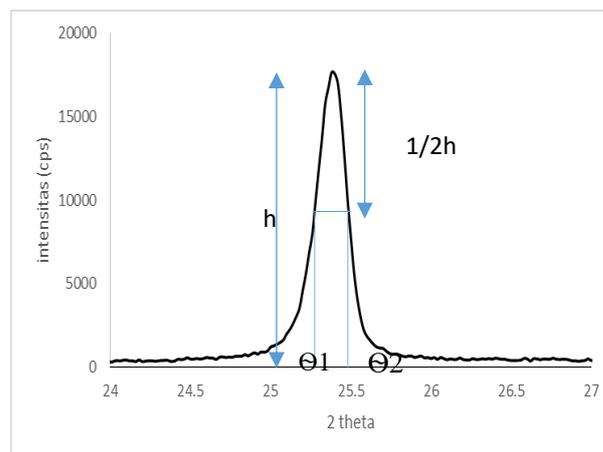
Nanopartikel TiO₂ yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui proses stirrer selama 24 jam. Gambar 1 merupakan difraktogram dari sampel nano TiO₂ pada rentang 10-70° disertai dengan hasil identifikasi fase dengan menggunakan aplikasi PDXL2. Berdasarkan

difraktogram nano-TiO₂, bahan dasar TiO₂ yang digunakan menunjukkan fasa anatase dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Hal tersebut dapat terlihat pada sudut 20-30° 2θ merupakan fase Kristal anatase tertinggi. Adapun fase yang terdapat pada bahan dasar adalah fase tunggal yaitu fase anatase.



Gambar 1. Difraktogram nano-TiO₂

Selain itu, berdasarkan perhitungan dengan menggunakan rumus Scherrer diperoleh nilai rata-rata ukuran butir TiO₂ sebesar 43,96 nm. Hal ini menunjukkan bahwa mineral TiO₂ dengan fase anatase yang digunakan sudah dapat dikategorikan sebagai material nanopartikel



Gambar 2. Difraktogram sudut pendek nano-TiO₂

Pengukuran butir Kristal dapat dianalisis berdasarkan hasil XRD pada sudut pendek. Intensitas fase TiO₂ tertinggi berada pada sudut 25-26° 2 theta. Analisis ukuran butir Kristal dapat diperoleh dari persamaan Debye-Scherrer [8]

$$D_{\text{kristal}} = \frac{k \lambda}{L \cos \theta}$$

Keterangan:

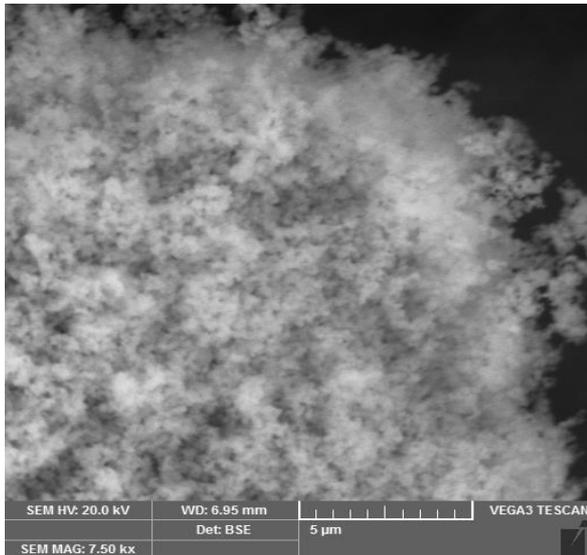
D_{kristal} = ukuran butir Kristal

K = nilai konstanta (0,9)

Λ = panjang gelombang X-Ray

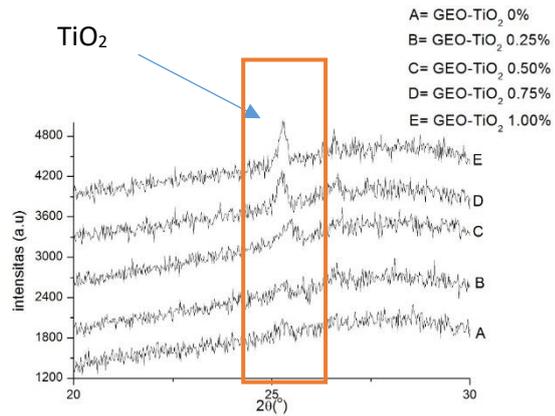
L = $\theta 2 - \theta 1$

Gambar 3 memperlihatkan citra SEM nano-TiO₂ yang digunakan dalam penelitian ini. Tampak morfologi TiO₂ berbentuk bulat yang seragam seperti yang terlihat pada citra SEM. Ukuran dari TiO₂ yang digunakan berdasarkan citra SEM dapat terlihat sudah berukuran nano. Ukuran butir dari TiO₂ yang digunakan sudah berukuran sekitar 100 nm. Namun partikel dari TiO₂ terlihat terjadinya agglomerasi atau penggumpalan



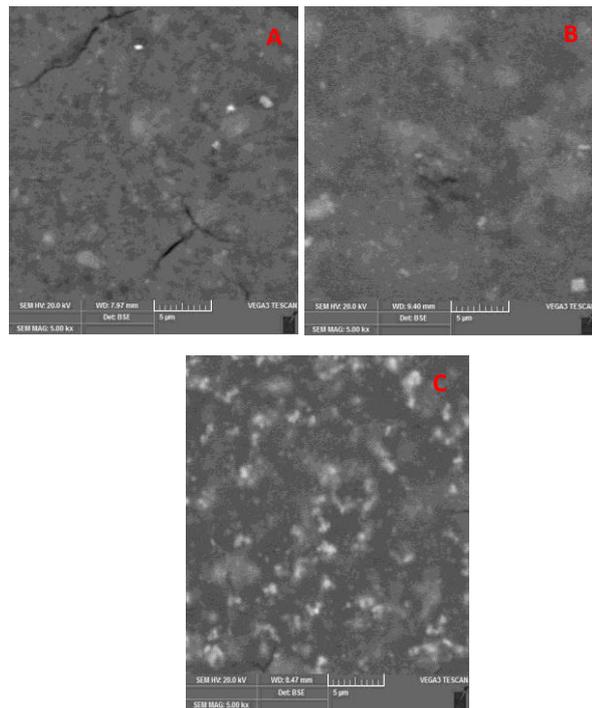
Gambar 3. Citra SEM nano-TiO₂

Analisis kualitatif dan kuantitatif sampel geopolimer menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) akan memberikan informasi mengenai kandungan fasa, parameter kisi, dan derajat kristalinitas yang terdapat pada setiap sampel. Berdasarkan hasil analisis kuantitatif dan kualitatif dari gambar 4 untuk sampel dari geo-TiO₂ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, dan 1.00% memperlihatkan tidak adanya pergeseran puncak, hanya saja terjadi perubahan intensitas fasa pada masing-masing komposisi. Tingginya intensitas tersebut menunjukkan konsentrasi fasa dominan pada sampel



Gambar 4. Difraktogram komposit geopolimer-nano TiO₂

Berdasarkan hasil analisis XRD untuk semua komposisi bersifat amorf. Namun, pada daerah 2θ sekitar 25°-26° terjadi peningkatan atau perubahan intensitas fasa TiO₂. Hal yang sama juga telah dilakukan oleh Weirich et al (2000)[9], fase TiO₂ dapat dilihat pada daerah sekitar 25°-26°.



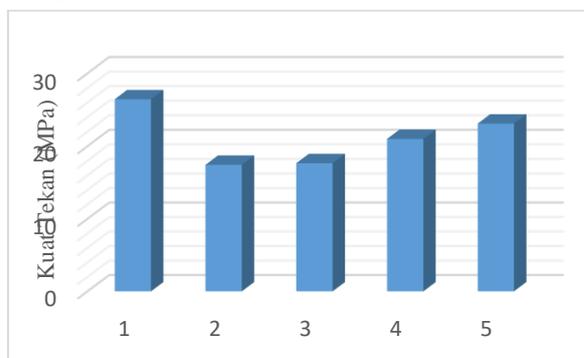
Gambar 5. Citra SEM geopolimer-nanoTiO₂ (A) 0 % (B) 0.5 % (C) 1%

Dari Citra SEM terlihat distribusi nano-TiO₂ sudah merata di permukaan matriks. Selain itu, nano-TiO₂ sudah terikat dengan baik pada matriks. Untuk nilai massa jenis dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran massa jenis komposit geopolimer

Komposisi	Massa Jenis (gr/cm ³)
Geo-TiO ₂ 0%	1,65
Geo-TiO ₂ 0.25%	1,66
Geo-TiO ₂ 0.50%	1,67
Geo-TiO ₂ 0,75%	1,70
Geo-TiO ₂ 1%	1,71

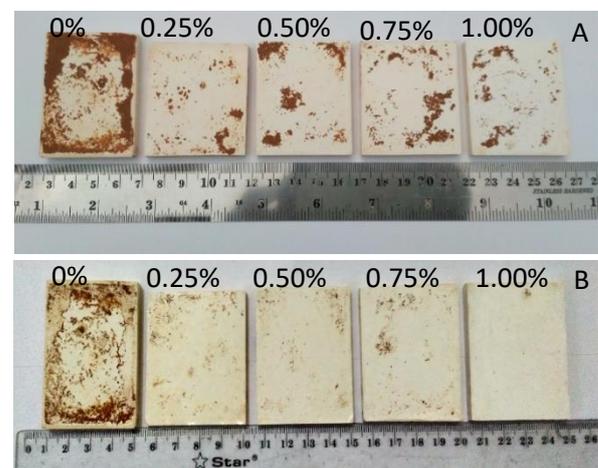
Dari table 1. Terlihat bahwa penambahan nano-TiO₂ meningkatkan nilai massa jenis dari sampel geopolimer. Pada penambahan nano-TiO₂ 1,00% nilai massa jenis tertinggi yaitu 1,71 gr/cm³. Nilai massa jenis dari sebuah komposit adalah 1,5- 2 gr/cm³ sehingga dapat dikatakan bahwa geopolimer yang dihasilkan sudah berada pada rentang geopolimer dengan massa jenis sedang. Untuk nilai massa jenis geopolimer metakaolin berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Risdanareni[10] yaitu sebesar 1,8 gr/cm³. Untuk nilai massa jenis yang meningkat seiring dengan penambahan nano-TiO₂ disebabkan oleh massa jenis dari TiO₂ yang digunakan cukup besar yakni 3,9 g/cc [11].

**Gambar 6.** Kekuatan tekan geopolimer-nano TiO₂ (1) geo-TiO₂ 0% (2) geo-TiO₂ 0.25% (3) geo-TiO₂ 0.50% (4) geo-TiO₂ 0.75% (5) geo-TiO₂ 1.00%

Gambar 5 memperlihatkan kuat tekan geopolimer yang telah disimpan selama 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan untuk setiap sampel yaitu sebesar 26,44 MPa, 17,44 MPa, 17,66 MPa, 21 MPa, 23,11 MPa. Berdasarkan data tersebut, dengan penambahan nano-TiO₂ kedalam pasta geopolimer meningkatkan nilai kuat tekan. Namun, geopolimer tanpa tambahan nano-TiO₂

memiliki nilai kuat tekan yang besar dibandingkan dengan penambahan nano-TiO₂. Hal ini disebabkan pemberian nano-TiO₂ yang berlebihan akan merusak kekuatan mekanik komposit geopolimer dan tidak akan memberi nilai kuat tekan yang melebihi kuat tekan dari geopolimer tanpa nano-TiO₂. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [4]Duan et al., (2016) nilai kuat tekan geopolimer-TiO₂ meningkat seiring dengan penambahan nano-TiO₂. Penambahan nano-TiO₂ sebesar 5 % akan memberikan nilai kuat tekan maksimum.

Pengujian *self-cleaning* dilakukan dengan memanfaatkan reaksi fotokatalisis menggunakan sinar ultraviolet. Fotokatalis merupakan proses reaksi kimia yang dibantu oleh energy dari sinar ultraviolet. Efek fotokatalis TiO₂ dapat mendekomposisi atau menguraikan senyawa organik menjadi CO₂ dan H₂O, dimana dalam penelitian ini efek fotokatalis TiO₂ akan digunakan untuk mendekomposisi kotoran yang menempel pada permukaan geopolimer-nanoTiO₂.

**Gambar 7.** Pengujian *Self-cleaning* (A)24 jam (B) 48 jam

Gambar 7. merupakan penampakan sampel geopolimer-nano TiO₂ sebelum pengujian. Sampel yang digunakan dalam pengujian berukuran 6 x 5 x 0.5 cm. Untuk proses pengujian *self-cleaning* dilakukan selama 48 jam dengan

penyemprotan air setiap 24 jam sekali menghasilkan gambar-gambar yang menunjukkan secara kualitatif pengurangan jumlah pengotor.

Gambar A merupakan sampel dengan lama penyinaran 24 jam, terlihat pengotor yang diberikan belum terdegradasi secara menyeluruh. Namun, pada penyinaran 48 jam (gambar B) efek fotokatalis dan degradasi polutan dari sampel geopolimer sudah terjadi pada sampel dengan penambahan 1% nano-TiO₂. Hal ini menunjukkan bahwa geopolimer dengan penambahan nano-TiO₂ dapat diaplikasikan sebagai material self-cleaning.

SIMPULAN

- 1) Hasil karakterisasi dan pengujian menunjukkan bahwa nano-TiO₂ dapat meningkatkan kemampuan material geopolimer sebagai material *self-cleaning*.
- 2) Analisis XRD menunjukkan bahwa penambahan nano-TiO₂ tidak mempengaruhi sifat amorf dari geopolimer tetapi menambah intensitas fase dari geopolimer. Analisis SEM menunjukkan ikatan yang baik antara matriks dan agregat dan telah terdistribusi secara merata dipermukaan sampel.
- 3) Hasil kuat tekan geopolimer-nano TiO₂ mengalami peningkatan mekanik seiring dengan penambahan nano TiO₂ hingga batas tertentu.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] J. Zhang *et al.*, "Anatase nano-TiO₂ with exposed curved surface for high photocatalytic activity," *J. Alloys Compd.*, vol. 661, pp. 441–447, Mar. 2016.
- [2] H. F. Moafi, A. F. Shojaee, and M. A. Zanjanchi, "Photocatalytic self-cleaning of wool fibers coated with synthesized nano-sized titanium dioxide," *Int. J. Polym. Mater.*, vol. 60, no. 8, pp. 591–602, 2011.
- [3] R. F. Adiati, N. Nurfadilah, C. C. Febiola, I. Taufan, and N. Fadhilah, "Pengaruh Dispersant Terhadap Nanopartikel TiO₂ Sebagai Optimasi Dirt-Free Paint," *Program Kreat. Mhs.-Penelit.*, 2014.
- [4] L. Chen, Z. Wang, Y. Wang, and J. Feng, "Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin-Based Geopolymer," *Materials*, vol. 9, no. 9, p. 767, 2016.
- [5] P. Duan, C. Yan, W. Luo, and W. Zhou, "Effects of adding nano-TiO₂ on compressive strength, drying shrinkage, carbonation and microstructure of fluidized bed fly ash based geopolymer paste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 106, pp. 115–125, Mar. 2016.
- [6] F. Zhang, L. Zhang, M. Liu, C. Mu, Y. N. Liang, and X. Hu, "Role of alkali cation in compressive strength of metakaolin based geopolymers," *Ceram. Int.*, vol. 43, no. 4, pp. 3811–3817, Mar. 2017.
- [7] A. Strini *et al.*, "TiO₂-Based Photocatalytic Geopolymers for Nitric Oxide Degradation," *Materials*, vol. 9, no. 7, p. 513, Jun. 2016.
- [8] A. Monshi, M. R. Foroughi, and M. R. Monshi, "Modified Scherrer Equation to Estimate More Accurately Nano-Crystallite Size Using XRD," *World J. Nano Sci. Eng.*, vol. 02, no. 03, pp. 154–160, 2012.
- [9] T. Weirich, W. M. S. S. H. H. and F. H., "Rietveld analysis of electron powder diffraction data from nanocrystalline anatase, TiO₂," *Ultramicroscopy* 81, pp. 263–270, 2000.
- [10] P. Risdanareni, Triwulan, and J. J. Ekaputri, "Pengaruh Molaritas Aktifator Alkalin Terhadap Kuat Mekanik Beton Geopolimer Dengan Tras Sebagai Pengisi," *Semin. Nas. X*, no. Inovasi Struktur dalam Menunjang Konektivitas Pulau di Indonesia, pp. 847–856, 2014.
- [11] E. Supriyanto, A. Holikin, and S. Suwardiyanto, "The thermal annealing effect on Crystal Structure and Morphology of Titanium Dioxide (TiO₂) powder," *J. ILMU DASAR*, vol. 15, no. 1, pp. 37–41, 2014.