

Sintesis Komposit Geopolimer Berbasis Abu Layang-CuO serta Aplikasinya sebagai Mortar Antibakteri

Ghozali Akhmad Mustaqim[✉] dan Ella Kusumastuti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima November 2019

Disetujui Januari 2020

Dipublikasikan Mei 2020

Keywords:

antibakteri
geopolimer
abu layang
CuO

Abstrak

Abu layang sebagai limbah batubara dapat dimanfaatkan menjadi material fungsional diantaranya geopolimer. Geopolimer sebagai bahan bangunan dapat rusak oleh adanya bakteri. Salah satu cara untuk membuat geopolimer tahan bakteri adalah dengan menambahkan CuO sebagai agen antibakteri. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan CuO terhadap kualitas geopolimer. Sintesis geopolimer dilakukan dengan menambahkan CuO (0; 0,25; 0,5; 1; 1,5% b/b abu layang) ke dalam larutan pengaktif (NaOH, H₂O dan natrium silikat) pada rasio *solid/liquid* (S/L) 1,5 dan dilanjutkan dengan penambahan abu layang sehingga didapatkan pasta geopolimer dengan CuO. Komposit geopolimer yang dihasilkan dianalisis kuat tekan dan diuji aktivitas antibakterinya menggunakan metode sumuran. Analisis kualitatif dilakukan pada geopolimer terbaik yaitu analisis fasa mineral dengan XRD, gugus fungsi dengan FT-IR, dan morfologi permukaan dengan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan CuO memberikan peningkatan kuat tekan dan efektivitas antibakteri. Kuat tekan tertinggi diperoleh dari komposit geopolimer-CuO 1% sebesar 37,02 MPa. Efektivitas antibakteri terbaik untuk bakteri *Bacillus subtilis* (Gram positif) pada penambahan CuO 1% dengan zona hambat 11,75 mm dan untuk bakteri *Escherichia coli* (Gram negatif) pada penambahan CuO 1,5% dengan zona hambat 8,25 mm. Hasil analisis fasa mineral menunjukkan fasa *amorf* geopolimer, terdapat puncak CuO dengan intensitas sangat kecil. Hasil analisis gugus fungsi dan morfologi pada komposit geopolimer-CuO tidak menunjukkan perubahan secara signifikan.

Abstract

Fly ash as coal waste can be used as functional materials including geopolymers. Geopolymers as building materials can be damaged by the presence of bacteria. One way to make geopolymers resistant to bacteria is to add CuO as an antibacterial agent. The purpose of this study was to determine the effect of adding CuO to the quality of geopolymers. Geopolymer synthesis was carried out by adding CuO (0, 0.25, 0.5, 1, 1.5% w/w fly ash) to the activating solution (NaOH, H₂O and sodium silicate) at the solid/liquid ratio (S/L) 1.5 and continued with the addition of fly ash to get geopolymer paste with CuO. The resulting geopolymer composites were analyzed for compressive strength and antibacterial activity was tested using the well method. Qualitative analysis was also carried out on the best geopolymers, namely mineral phase analysis with XRD, functional groups with FT-IR, and surface morphology with SEM. The results showed that the addition of CuO gave increased compressive strength and antibacterial effectiveness. The highest compressive strength was obtained from CuO 1% geopolymer composites of 37.02 MPa. The best antibacterial effectiveness for *Bacillus subtilis* (Gram positive) bacteria besides 1% CuO with inhibition zone 11.75 mm and *Escherichia coli* (Gram negative) besides 1.5% CuO with inhibition zone 8.25 mm. The results of the mineral phase analysis show the geopolymer amorphous phase, there is a peak of CuO with very small intensity. The results of functional groups and morphological analysis on CuO geopolymer composites did not show significant changes.

© 2020 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: ahmadghozali.ga@gmail.com

Pendahuluan

Selama ini abu layang batubara kurang dimanfaatkan dan memiliki potensi mencemari lingkungan, dikarenakan abu layang batubara termasuk dalam limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Tahun 2015 penggunaan batubara di Indonesia mencapai 236 juta ton yang umumnya digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) (Badan Pusat Statistik, 2017). Pembakaran batubara menghasilkan sekitar 5% polutan padat abu batubara. Abu batubara tersebut mengandung 10-20% jenis *bottom ash* dan 80-90% jenis abu layang (Wardani, 2008). Berlimpahnya abu layang di beberapa PLTU di Indonesia merupakan suatu hal yang menarik untuk diteliti. Salah satunya adalah tentang kelayakan penggunaan abu layang sebagai material dasar/mentah untuk pembuatan bahan bangunan (Anwar & Kusumastuti, 2016). Geopolimer merupakan material yang dapat memanfaatkan abu layang dalam bidang konstruksi. Geopolimer dapat dibuat dengan mereaksikan sumber aluminosilikat dengan larutan alkali (Fletcher *et al.*, 2005). Geopolimer seperti halnya beton/mortar semen memiliki pH 10 hingga 12, dimana pH tersebut memiliki alkalinitas yang tinggi. Sehingga tidak memungkinkan pertumbuhan mikroba apa pun. Kondisi pH tinggi ini perlahan-lahan dapat berkurang seiring waktu karena adanya karbon dioksida dan hidrogen sulfida di atmosfer yang menghasilkan *weak acids* (asam karbonat, asam tiosulfat dan lain-lain). Ketika pH beton/mortar berkurang hingga di bawah 9 serangan atau deposisi bakteri pada permukaan beton dapat terjadi. Adanya koloni mikroba pada permukaan, kapiler dan rekahan mikro/makro beton menyebabkan kerusakan beton melalui biodeteriorasi (Adak *et al.*, 2015).

Biodeteriorasi dapat dicegah dengan penambahan CuO yang dibuat nanopartikel sebagai antibakteri dan dikompositkan dengan Geopolimer. CuO yang dibuat nanopartikel memiliki kemampuan yang baik sebagai antimikroba yakni terhadap bakteri, virus dan mikroorganisme eukariotik. Nanopartikel CuO memiliki kemampuan untuk menembus dinding sel bakteri dan akan membentuk lubang pada permukaan sel, kemudian akan terakumulasi pada permukaan sel. Hal ini menyebabkan perubahan struktural dalam membran sel seperti permeabilitas membran sel dan kematian sel. Nanopartikel CuO dapat diaplikasikan sebagai agen antimikroba (Ahamed *et al.*, 2014).

Metode

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini cetakan silinder plastik, pengaduk (mixer), oven, neraca analitik, peralatan plastik (beaker polipropilen, gelas dan wadah plastik serta pengaduk plastik), alat-alat gelas, termometer, kompor listrik, peralatan uji antibakteri, inkubator, *laminar air flow*, *magnetic stirrer*, *furnace*, serta ayakan 100 dan 200 *mesh*. Bahan yang digunakan antara lain sampel abu layang PLTU Tanjung Jati Jepara, natrium hidroksida pelet (NaOH 99%, *Merck*), Natrium silikat (Na₂SiO₃ *Merck*) memiliki kandungan Na₂O 8% dan SiO₂ 27%, aquades, tembaga (II) sulfat pentahidrat (CuSO₄.5H₂O, *Merck*), asam sitrat (99%, *Merck*), indikator pH universal, media *Nutrien Broth* (NB), media *Nutrien Agar* (NA), suspensi bakteri *Eschericia coli* dan bakteri *Bacillus subtilis*.

Abu layang dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 24 jam, kemudian diayak menggunakan ayakan 100 *mesh* dan dianalisis komposisi kimianya menggunakan XRF. Sintesis nanopartikel CuO menggunakan metode sol gel. Sebanyak 1000 mL CuSO₄.5H₂O 0,1 M ditambahkan dengan 500 mL asam sitrat 0,1 M diaduk dengan *magnetic stirrer* sampai homogen. Selanjutnya ke dalam larutan tersebut ditambahkan tetes demi tetes 500 mL NaOH 1M sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 3 jam sampai berwarna biru gelap. Selanjutnya disimpan (*aging*) selama 48 jam dan dicuci dengan aquades beberapa kali. Selanjutnya, gel tersebut dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C sampai berat konstan dan dikalsinasi pada 500°C selama 4 jam untuk memperoleh nanopartikel CuO (Radhakrishnan & Beena, 2014). Kemudian dikarakterisasi dengan XRD.

Pembuatan larutan pengaktif dilakukan dengan melarutkan natrium hidroksida dalam aquades (NaOH : H₂O = 1 : 2 b/b) (Kusumastuti & Widiarti, 2015). Dalam penelitian ini menggunakan NaOH sebanyak 4 g dan H₂O sebanyak 8 g. Sintesis komposit geopolimer dilakukan dengan mencampurkan larutan alkali kemudian ditambahkan dengan serbuk nanopartikel CuO yang divariasikan sebesar 0; 0,25; 0,5; 1; 1,5% (b/b) dari abu layang. Larutan campuran kemudian ditambahkan dalam abu layang 33 g. Campuran ini dituang dalam cetakan silinder plastik (perbandingan diameter dan tinggi silinder 1 : 2). Benda uji yang sudah dilepaskan di *curing* selama 24 jam pada temperatur 60°C. Setelah itu, benda uji disimpan pada suhu kamar selama 28 hari untuk diuji kuat tekan, uji antibakteri, XRD, FT-IR dan SEM.

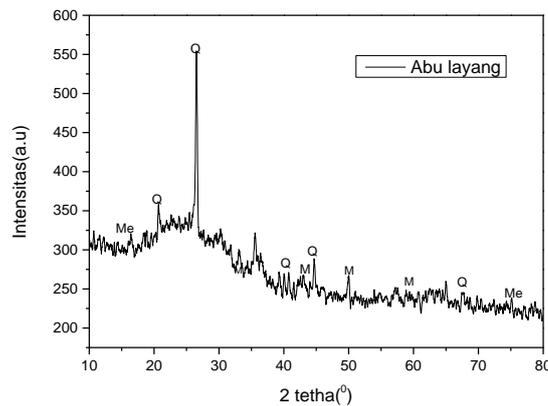
Hasil dan Pembahasan

Sampel abu layang PLTU Tanjung Jati Jepara dikarakterisasi menggunakan beberapa instrumen. Instrumen yang digunakan meliputi XRF, FT-IR dan XRD. Hasil XRF abu layang ditampilkan pada Tabel 1.

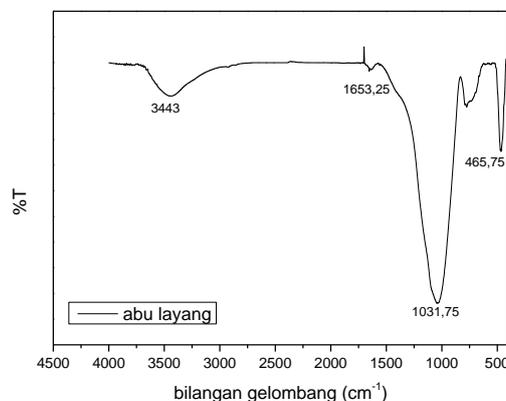
Tabel 1. Hasil analisis XRF abu layang

Nama senyawa	Jumlah (%)
SiO ₂	38,08
Al ₂ O ₃	14,50
Fe ₂ O ₃	20,73
CaO	8,84
MgO	2,61
Na ₂ O	5,41
K ₂ O	2,97
SO ₃	2,25
TiO ₂	1,66
P ₂ O ₅	1,29

Berdasarkan kandungan kapur yang terdapat pada abu layang PLTU Tanjungjati Jepara termasuk dalam golongan abu layang kelas F, yaitu abu layang yang memiliki kandungan CaO < 10% (ASTM C618). Selain itu terdapat Fe₂O₃ sebanyak 20,73% yang mengindikasikan abu layang Tanjung Jati Jepara dikategorikan abu layang yang memiliki kadar besi yang tinggi. Hasil XRD abu layang ditampilkan pada Gambar 1.

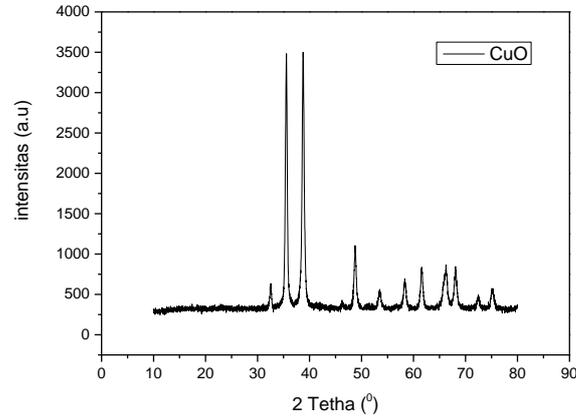
**Gambar 1.** Difraktogram XRD abu layang

Puncak-puncak tajam pada Gambar 1 menunjukkan fasa kristalin yang tidak reaktif, sedangkan fasa *amorf* ditunjukkan dengan adanya gundukan (*hump*) pada $2\theta = 10-40^\circ$. Silika dan alumina dalam fasa *amorf* lebih reaktif dan kelarutannya lebih besar dalam larutan alkali (Li *et al.*, 2013). Abu layang yang berfasa *amorf* lebih reaktif sehingga lebih mudah mengalami pelarutan Si dan Al oleh larutan alkali. Hasil FT-IR abu layang ditampilkan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Spektrum FT-IR abu layang

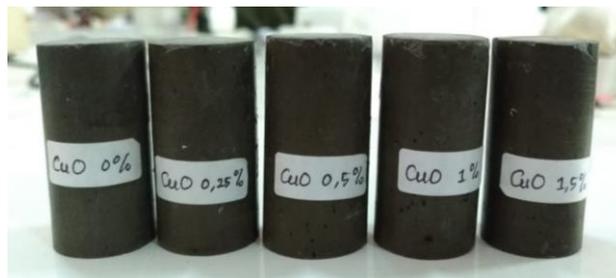
Gambar 2 menunjukan puncak-puncak hasil analisis yang menjelaskan adanya vibrasi gugus fungsi dalam abu layang. Pada puncak 465,75 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur simetri Al-O-Si, sedangkan

puncak pada bilangan gelombang $1031,75\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur asimetri T-O-Si (T=Si dan Al). Puncak pada bilangan gelombang $1653,25\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi tekuk H-O-H dan puncak pada bilangan gelombang 3443 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur -OH dan H-O-H (Bakharev, 2005). Hasil analisis XRD nanopartikel CuO ditampilkan pada Gambar 3.



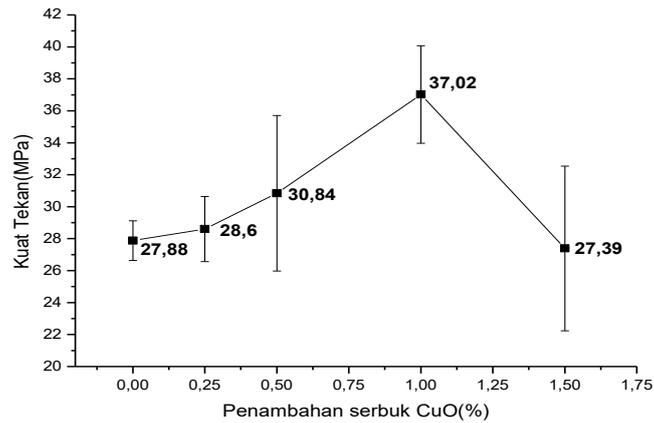
Gambar 3. Difraktogram XRD dari CuO

Data yang didapatkan sesuai dengan (JCPDS 05-0661) yang menunjukkan *peak* CuO pada $2\theta = 30^\circ$ hingga 50° (Qamar *et al.*, 2015). CuO hasil sintesis mempunyai fase monoklinik sesuai dengan (JCPDS 05-0661) (Li & Wang, 2010). Selain untuk mengetahui kristalinitas CuO, instrumen XRD dapat digunakan untuk mengetahui ukuran partikel CuO hasil sintesis. Perhitungan ukuran partikel dilakukan menggunakan pendekatan persamaan *Debye-Scherrer*. Hasil dari perhitungan tersebut menunjukkan hasil ukuran CuO yang didapat sebesar 52,93 nm. Hasil Sintesis Komposit Geopolimer-CuO ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil sintesis komposit geopolimer-CuO (a) 0% CuO, (b) 0,25% CuO, (c) 0,5 % CuO, (d) 1% CuO, (e) 1,5%CuO

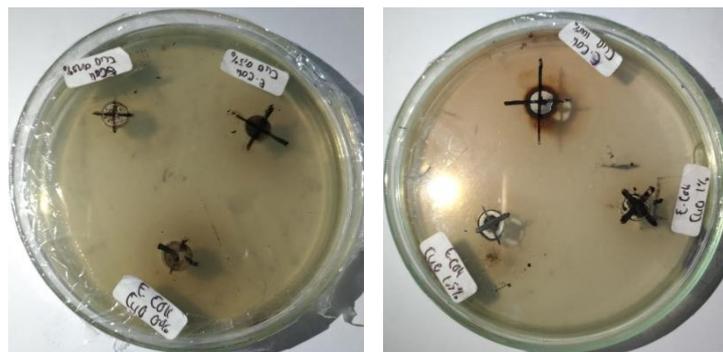
Gambar 4 menunjukkan komposit geopolimer-CuO dengan berbagai variasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Secara fisik keadaan geopolimer terlihat sama, baik warna, dan tekstur. Persebaran CuO tidak terlihat pada sampel uji dengan penambahan 0,25% CuO dan tetap sama seiring dengan naiknya jumlah persentase nano CuO yang ditambahkan. Nano CuO pada sampel uji geopolimer dapat bercampur dengan baik dengan pasta geopolimer. Sampel komposit geopolimer-CuO dengan berbagai variasi menunjukkan adanya endapan hitam yang diduga merupakan oksida besi. Adanya endapan ini terjadi diakibatkan vibrasi yang dilakukan pada saat mencetak kurang maksimal selain itu faktor kandungan Fe_2O_3 yang tinggi menjadi salah satu faktor yang mengakibatkan tersisanya Fe_2O_3 dalam proses geopolimerisasi. Diagram hasil pengujian kuat tekan komposit geopolimer-CuO ditampilkan pada Gambar 5.



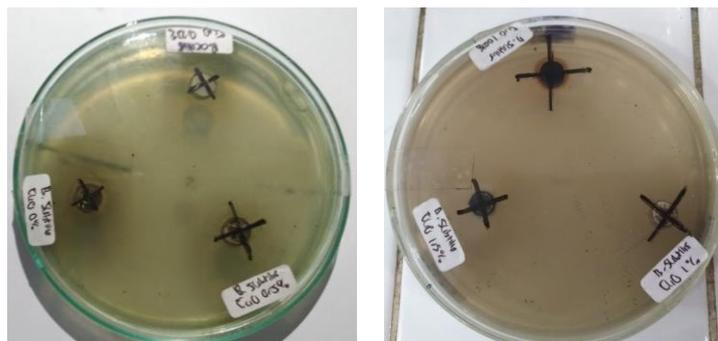
Gambar 5. Diagram kuat tekan komposit geopolimer-CuO

Penambahan nano CuO lebih besar dari 1% mengakibatkan penurunan pada kuat tekan sampel uji geopolimer. Penurunan kekuatan fisik dari sampel uji geopolimer setelah penambahan nano CuO 1% dikarenakan CuO telah melebihi batas yang dapat masuk dalam matriks geopolimer. Dibuktikan pada penambahan CuO 1,5% yang mengakibatkan kuat tekan menurun. Penurunan kuat tekan pada sampel uji diakibatkan karena terlalu banyaknya nano CuO yang mengisi ruang diantara matriks geopolimer. Penambahan CuO yang optimum dapat memperkuat geopolimer dan ketika jumlahnya telah melebihi keadaan optimum maka kuat tekannya akan menurun. Adanya nanopartikel dalam geopolimer mengakibatkan kuat tekan meningkat. Namun, adanya penambahan nanopartikel berlebihan akan merusak kekuatan mekanik komposit geopolimer-CuO. Hasil ini sesuai dengan penelitian Akifah *et al.*, (2017) bahwa kuat tekan pada komposit geopolimer-nano TiO₂ mengalami penurunan kuat tekan pada penambahan nano TiO₂ secara berlebihan. Hal ini disebabkan karena pemberian nano TiO₂ yang berlebihan akan merusak kekuatan mekanik komposit geopolimer.

Hasil Pengujian komposit geopolimer-CuO dengan bakteri *Escherichia coli* ditampilkan pada Gambar 6. dan pengujian dengan bakteri *Bacillus subtilis* ditampilkan pada Gambar 7. Hasil rata-rata diameter zona hambat komposit geopolimer-CuO ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Hasil pengujian antibakteri pada bakteri Gram negatif (*Escherichia coli*)



Gambar 7. Hasil pengujian antibakteri pada bakteri Gram positif (*Bacillus subtilis*)

Tabel 2. Rata-rata hasil diameter zona hambat komposit geopolimer (GP)-CuO

Sampel	Rata rata diameter Zona Hambat (mm)	
	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Escherichia coli</i>
GP-CuO 0%	4,75	5,00
GP-CuO 0,25%	4,37	5,00
GP-CuO 0,5%	8,25	7,50
GP-CuO 1%	11,75	7,30
GP-CuO 1,5 %	9,00	8,25
K(+)-CuO 100 %	29,50	27,16
K(-) aquades	-	-

Tabel 2 menyajikan rata-rata hasil diameter zona hambat dari komposit geopolimer-CuO variasi 0-1,5% menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Setelah mendapatkan nilai rata-rata zona hambat selanjutnya disesuaikan dengan standar nilai resistensi bakteri terhadap geopolimer-CuO, kriteria standar resistensi berdasarkan nilai standar resisten dapat dilihat pada Tabel 3.

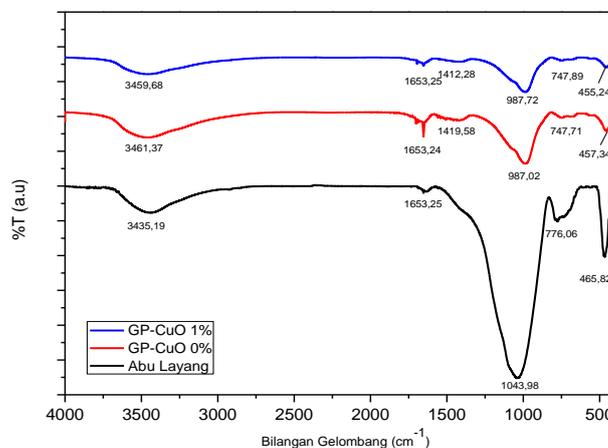
Tabel 3. Standar nilai resistensi

Standar nilai resistensi (mm)	Keterangan
<14	Resistensi
15 - 18	Resistensi sedang
>19	Sensitif

(Cappuccino & Sherman, 1983)

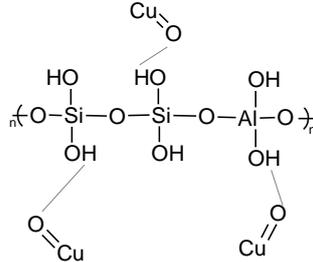
Aktivitas penghambatan bakteri pada geopolimer dengan variasi penambahan CuO dikategorikan resisten terhadap bakteri yang artinya geopolimer-CuO belum bisa digunakan sebagai antibakteri. Sedangkan pada sampel CuO 100% didapatkan aktivitas penghambatan tergolong kategori sensitif terhadap bakteri yang artinya CuO sangat baik sebagai antibakteri. Zona hambat yang tinggi ini disebabkan CuO yang memiliki ukuran nanopartikel. Selain itu, ion Cu^{2+} yang dilepaskan oleh oksidanya membawa muatan positif, membuat interaksi elektrostatis pada reaksi. Ion logam tersebut kemudian direduksi menjadi atom logam oleh gugus tiol pada enzim dan protein yang kemudian menonaktifkan proses metabolisme yang penting bagi sel serta respirasinya hingga mengarah pada kematian sel. Selain itu ukuran nanopartikel tembaga yang lebih kecil dapat meningkatkan performa tembaga sebagai antibakteri (Fadhilah, 2016).

Berdasarkan teori HSAB (pengelompokan asam basa berdasarkan kekerasan dan kelunakan) ion Cu^{2+} yang dikategorikan sebagai ion logam borderline (daerah batas) berikatan kompleks yang lebih kuat dengan atom N maupun atom S yang termasuk dalam basa lemah. Ikatan kompleks antara Cu^{2+} dengan atom S atau N dalam enzim dan protein menyebabkan adanya perubahan struktur pada enzim maupun protein dan mengakibatkan kematian pada bakteri (Irawati *et al.*, 2016). Hasil FT-IR abu layang, komposit geopolimer-CuO 1% dan 0% ditampilkan pada Gambar 8.



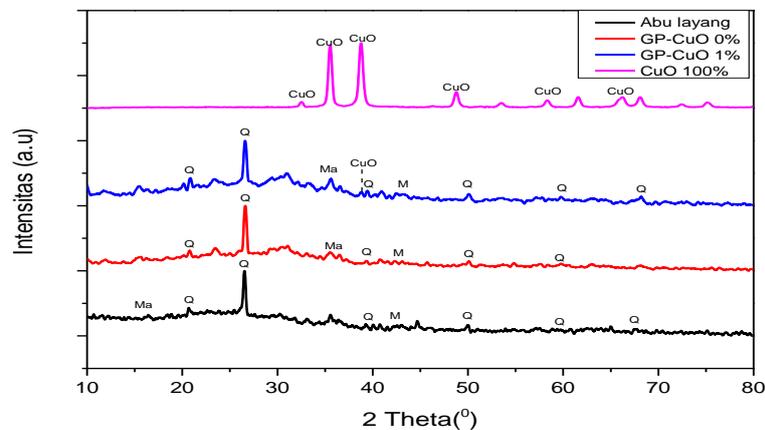
Gambar 8. Spektra FT-IR abu layang, komposit geopolimer (GP)-CuO 0% dan 1%

Pada sampel 0% CuO maupun 1% CuO keduanya terjadi serapan pada bilangan gelombang 987,02 cm^{-1} dan 987,72 cm^{-1} yang menunjukkan pada komposit geopolimer 1% CuO memiliki bilangan gelombang lebih besar dibandingkan pada geopolimer 0%. Hal ini menunjukkan semakin tinggi energi vibrasi, maka ikatan Si-O-Si dan/atau Si-O-Al pada geopolimer tersebut semakin kuat yang menyebabkan kuat tekan menjadi lebih besar (Ekawati & Atmaja, 2011).



Gambar 9. Pembentukan ikatan hidrogen pada komposit geopolimer-CuO

Selain itu faktor lain yang dapat meningkatkan kuat tekan adalah adanya interaksi matriks dengan CuO yakni berupa rantai Si-O-H yang bereaksi dengan atom O yang berasal dari CuO yang membentuk ikatan hidrogen. Terjadinya ikatan hidrogen dapat dilihat dari intensitas serapan pada 3459,68 yaitu vibrasi ulur -OH yang menunjukkan bahwa terjadinya ikatan hidrogen yang terjadi pada sampel uji geopolimer. Selain itu ikatan hidrogen dapat terjadi pada atom -H yang berasal dari komponen penyusun geopolimer yang lain seperti abu layang dan NaOH (Anwar & Kusumastuti, 2016). Peningkatan ikatan hidrogen menyebabkan penguatan ikatan yang terjadi dalam matriks geopolimer, sehingga kuat tekan sampel uji komposit geopolimer meningkat setelah ditambahkan CuO. Hasil XRD abu layang, CuO, komposit geopolimer-CuO 1% dan 0% ditampilkan pada gambar 10.



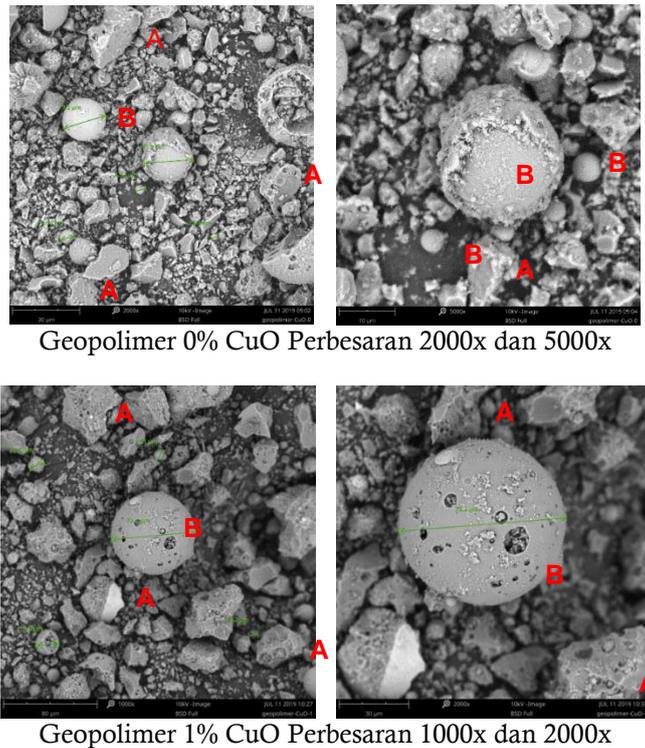
Gambar 10. Difraktogram abu layang, komposit geopolimer-CuO 0 %, CuO 0% dan CuO (Q) *quartz* (SiO_2), (Ma) *magnetite* (Fe_3O_4), dan (M) *mullite* ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dan *Copper Oxide* (CuO)

Terbentuknya geopolimer ditandai dengan peningkatan gundukan (*hump*) 2θ antara 20° sampai 40° (Xu & Deventer, 2000). Pada sampel Komposit geopolimer terbentuk fasa *amorf* yang relatif lebih besar dilihat dari adanya puncak dengan intensitas yang lebih rendah pada mineral utama SiO_2 (*quartz*), $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (*mullite*) dan $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (*magnetite*), hal ini dapat terjadi karena terbentuknya matriks geopolimer berupa fasa *amorf* aluminosilikat yang baru akibat pelarutan fasa *amorf* abu layang dalam larutan alkali (Khale & Chaudhary, 2007).

Geopolimer dengan penambahan 1% CuO mengandung fasa *amorf* lebih besar yang ditandai dengan adanya gundukan (*hump*) pada 2θ sekitar 15° - 45° yang lebih luas jika dibandingkan dengan sampel uji 0% CuO. Fasa kristal komposit geopolimer-CuO 1% memiliki intensitas yang lebih rendah ditandai dengan kristal *quartz* pada $2\theta=26,56$ dibandingkan dengan komposit geopolimer-CuO 0%. Geopolimer yang mempunyai fasa *amorf* lebih besar mempunyai kuat tekan lebih besar. Geopolimer dengan fasa kristal lebih besar mempunyai kuat tekan yang lebih rendah karena sifat kristal yang *brittle* (Anwar & Kusumastuti, 2016).

Penambahan nanopartikel CuO pada sampel uji dapat mengisi matriks geopolimer yang terdapat dalam sampel uji. Pada komposit geopolimer-CuO 1% muncul puncak CuO pada $2\theta=38,75^\circ$, adanya

puncak CuO ini menyebabkan intensitas fasa *quartz* menurun dan meningkatnya fasa CuO dari sampel komposit geopolimer-CuO. Hasil analisis SEM serbuk komposit geopolimer dengan penambahan 1% CuO dan 0% CuO ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil analisis SEM dengan (A) matriks geopolimer (B) abu layang yang tidak bereaksi

Gambar 11 menunjukkan hasil analisis SEM sampel uji dengan 0% CuO dan sampel uji 1% CuO, dapat dilihat bahwa baik sampel 0% CuO maupun 1% CuO keduanya terbentuk matriks geopolimer. Matriks pada geopolimer merupakan hasil reaksi dari monomer-monomer alumina dan silika yang membentuk polimer (Rattanasak *et al.*, 2011). Matriks geopolimer sebenarnya berbentuk morfologi yang padat dan homogen. Namun, karena SEM dilakukan pada sampel serbuk maka yang terlihat pada Gambar 11 adalah pecahan-pecahan matriks yang tidak beraturan.

Pada sampel dengan 0% CuO dan 1% CuO teramati material yang tidak bereaksi. Material yang tidak bereaksi terlihat jelas adalah abu layang yang masih berbentuk bulat. Keberadaan material yang tidak bereaksi ini didukung data XRD yakni munculnya puncak mineral *quartz* (Q), *alluminate* (M), *magnetite* (Ma) yang sama pada difraktogram abu layang. Partikel CuO tidak tampak pada hasil SEM komposit geopolimer-CuO 1%. Hal ini karena pada komposisi tersebut CuO dengan ukuran lebih kecil masuk ke dalam matriks geopolimer yang mengakibatkan kuat tekan geopolimer meningkat jika dibandingkan dengan sampel uji tanpa penambahan CuO. Hal ini sesuai dengan penelitian (Akifah *et al.*, 2017) bahwa penambahan nanopartikel yang dapat terdistribusi merata menyebabkan nanopartikel terikat dengan baik pada matriks. Terikatnya nanopartikel dengan matriks akan meningkatkan kuat tekan.

Simpulan

Sintesis komposit geopolimer-CuO berhasil dibuat, pengaruh penambahan CuO dapat meningkatkan kuat tekan dan efektivitas antibakteri geopolimer. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada komposit geopolimer-CuO 1% sebesar 37,02 MPa. Aktivitas antibakteri terbaik untuk bakteri *Escherchia coli* pada penambahan CuO 1,5% dengan diameter zona hambat sebesar 8,25 mm dan untuk bakteri *Bacillus subtilis* pada penambahan CuO 1% dengan diameter zona hambat sebesar 11,75 mm. Karakteristik komposit geopolimer-CuO terhadap analisis fasa mineral menunjukkan bentuk geopolimer pada fasa *amorf* dan puncak CuO terlihat dengan intensitas sangat kecil. Hasil analisis gugus fungsi dan morfologi pada komposit geopolimer-CuO tidak menunjukkan perubahan secara signifikan bila dibandingkan dengan geopolimer tanpa penambahan CuO.

Daftar Pustaka

- Adak, D., Sarkar, M., Maiti, M., Tamang, A., Mandal, S., & Chattopadhyay, B. 2015. Anti-Microbial Efficiency of Nano Silver-Silica Modified Geopolymer Mortar for Eco-Friendly Green Construction Technology. *RSC Advances*, 5 (79): 64037–64045
- Ahamed, M., Alhadlaq, H.A., Khan, M.A.M., Karuppiah, P., & Al-dhabi, N.A. 2014. Synthesis, Characterization, and Antimicrobial Activity of Copper Oxide Nanoparticles
- Akifah, N., Subaer, & Muris. 2017. Pengaruh Penambahan Nano-TiO₂ terhadap Sifat Mekanik dan Karakteristik Mikro Komposit Geopolimer sebagai Material Self-Cleaning. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*, 13 (1): 282–286
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Pertambangan Bahan Galian Indonesia 2015 & 2017*. Jakarta: Badan Pusat Statistik
- Bakharev, T. 2005. Durability of Geopolymer Materials in Sodium and Magnesium Sulfate Solutions. *Cement and Concrete Research*, 35: 1233–1246
- Cappuccino, J.G., & Sherman, N. 1983. *Microbiology: A Laboratory manual*. Massachusetts Addison-Wesley.
- Ekawati, D., & Atmaja, L. 2011. Studi Perbandingan Sintesis Geopolimer Secara Normal dan Terpisah dari Abu Layang PLTU Suralaya. In *Prosiding Kimia FMIPA*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November
- Fadhilah, D. 2016. *Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Tembaga Oksida Menggunakan Prekursor CuSO₄ Dengan Pereduksi Pati serta Uji Antibakteri*. Universitas Negeri Semarang.
- Fletcher, R.A., MacKenzie, K.J.D., Nicholson, C.L., & Shimada, S. 2005. The Composition Range of Aluminosilicate Geopolymers. *Journal of the European Ceramic Society*, 25 (9): 1471–1477
- Irawati, D.A., Hamzah, B., & Nurdin. 2016. Pengaruh Ion Logam Cu (II) terhadap Persen Ekstraksi Ion Pb (II) Menggunakan Teknik Emulsi Membran Cair. *Jurnal Akademika Kimia*, 5: 172–177
- Khale, D., & Chaudhary, R. 2007. Mechanism of Geopolymerization and Factors Influencing Its Development: A Review. *J. Mater Sci*, 42: 729–746
- Kusumastuti, E., & Widiarti, N. 2015. Sintesis Geopolimer Berbusa Berbahan Dasar Abu Layang Batubara dengan Hidrogen Peroksida sebagai Foaming Agent. *Saintekno*, 13 (1): 17–28
- Li, B., & Wang, Y. 2010. Superlattices and Microstructures Facile Synthesis and Photocatalytic Activity of ZnO-CuO Nanocomposite. *Superlattices and Microstructures*, 47 (5): 615–623
- Li, Z., Chen, R., & Zhang, L. 2013. Utilization of Chitosan Biopolymer to Enhance Fly Ash-Based Geopolymer. *Journal of Materials Science*, 48 (22): 7986–7993
- Qamar, M.T., Aslam, M., Ismail, I.M.I., Salah, N., & Hameed, A. 2015. Synthesis, Characterization and Sunlight Mediated Photocatalytic Activity of CuO Coated ZnO for the Removal of Nitrophenols. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 1–39
- Radhakrishnan, A.A., & Beena, B.B. 2014. Available Online at Indian Journal of Advances in Chemical Science Structural and Optical Absorption Analysis of CuO Nanoparticles, 158–161
- Rattanasak, U., Pankhet, K., & Chindaprasirt, P. (2011). Effect of Chemical Admixtures on Properties of High-Calcium Fly Ash Geopolymer, 18 (3): 364–369
- Wardani, S. 2008. Pemanfaatan Limbah Batubara (*Fly Ash*) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan, 1–71
- Xu, H., & Deventer, J.S.J. Van. 2000. The Geopolymerisation of Alumino-Silicate Minerals. *International Journal of Mineral Processing*, 59: 247–266