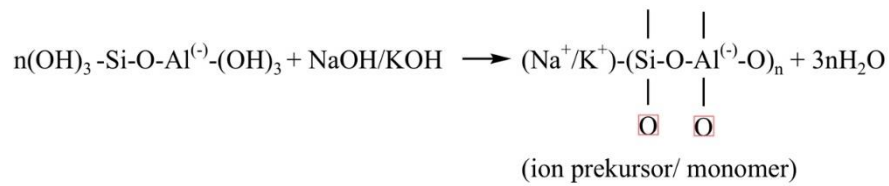


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geopolimer

Geopolimer merupakan polimer anorganik yang memiliki struktur amorf dengan jaringan tiga dimensi AlO_4 dan SiO_4 tetrahedral. Material ini umumnya digunakan sebagai bahan perekat pada konstruksi bangunan. Salah satu bahan baku pembuatan geopolimer adalah larutan alkali seperti sodium hidroksida atau potassium hidroksida yang memiliki sifat basa yang kuat. Secara kimia, struktur geopolimer mirip dengan zeolite low-silica dengan rasio Si/Al antara 1 dan 3. Analisis mikrostruktural menunjukkan geopolimer memiliki luas permukaan ($100 \text{ m}^2 / \text{g}$) dan ukuran pori ($0,5 \text{ cm}^3 / \text{g}$) yang besar. Luas permukaan dan ukuran pori yang besar, serta sifat basa yang kuat pada geopolimer membuat material ini sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai katalis (Nugraha *et al.*, 2017). Aplikasi geopolimer yaitu dapat dimanfaatkan dalam inovasi pembuatan beton untuk mengurangi emisi CO_2 dan sebagai adsorben dalam pengolahan air (Agusti *et al.*, 2015). Geopolimer juga dapat diaplikasikan pada pembuatan hidrotan. Pembuatan hidrotan pada suhu tinggi dapat menimbulkan efek buruk bagi lingkungan terutama emisi CO_2 yang tinggi. Material sejenis yang mampu disintesis pada suhu rendah yaitu dengan geopolimer (Prasetya *et al.*, 2018). Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia oksida alumina-silikat ($Si_2O_5 \cdot Al_2O_3$) dengan alkali poly(silicate) yang memiliki ikatan polimerik Si-O-Al. Polysilicate seperti sodium silikat atau potassium silikat biasanya diperoleh dari industri-industri kimia atau berupa bubuk silika halus sebagai hasil produksi metalurgi ferro-silicon (Subaer *et al.*, 2009). Reaksi-reaksi kimia yang terlibat dalam polimerisasi yaitu:



Gel yang terbentuk sebagai oligomer dalam larutan aluminosilikat jenuh melalui proses kondensasi. Air ikut berperan dalam reaksi, dimana sejumlah air dilepaskan selama pembubaran tetapi berada dalam pori-pori gel. Reaksi kondensasi yang terjadi kemudian menjadi (Malik, 2016):

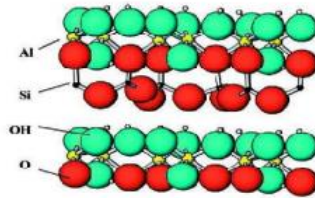


3. Polimerisasi merupakan proses polikondensasi pada pembentukan polimer aluminosilikat amorf atau semi-kristal. Setelah proses gelation terjadi, sistem mengatur ulang untuk meningkatkan konektivitas jaringan gel sehingga terbentuk jaringan aluminosilikat tiga dimensi yang disebut dengan geopolimer (Malik, 2016). Ketiga tahapan dalam geopolimerisasi terjadi hampir bersamaan dan dapat saling tumpang tindih dengan yang lainnya, jadi sulit untuk mengisolasi atau menjelaskan tiap tahap secara terpisah. Geopolimer dapat membentuk satu dari tiga bentuk dasar (Davidovits, 1999) : 1) Poli (sialat), yang memiliki unit berulang [-Si-O-Al-O-]. 2) Poli (sialat-siloxo), yang memiliki unit berulang [-Si-O-Al-O-Si-O-]. 3) Poli (sialat-disiloxo), yang memiliki unit berulang [-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-].

2.2 Kaolin

Kaolin merupakan senyawa hidro aluminium silikat dengan komposisi kimia $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tetapi seringkali dirumuskan sebagai $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Strukturnya digambarkan sebagai lapisan SiO_4 tetrahedral dan $\text{Al}(\text{O}_2\text{OH})_6$ oktahedral yang berikatan bersama dengan rantai hidrogen. Kaolin merupakan batuan yang termasuk kelompok tanah liat (lempung), berwarna putih atau kekuning-kuningan. Mineral yang termasuk kelompok kaolin adalah kaolinit, nakrit, dan haloisit dengan mineral utamanya kaolinit, seringkali oksida-oksida seperti Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O dan Na_2O terdapat dalam kaolin sebagai zat pengotor. Komposisi kaolin murni adalah SiO_2 46,54% Al_2O_3 39,5% dan H_2O

13,96% (Utari, 1994).

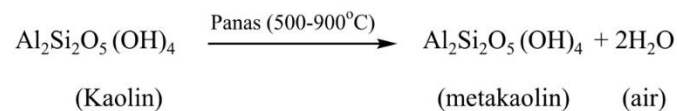


Gambar 2. 2 Struktur Lapisan Ikatan Kaolin (Lusiana dan Heru, 2014)

Kaolin dapat digunakan sebagai adsorben. Hal ini dikarenakan struktur kaolin yang berbentuk lapisan menyebabkan kaolin dapat menyerap berbagai materi diantara lapisan-lapisan struktur kaolin seperti logam berat dan zat warna (Yavuz *et al.*, 2003). Kaolin telah diterima secara luas sebagai adsorben karena kapasitas adsorpsi kaolinitnya yang tinggi (Wahyuni *et al.*, 2018).

2.3 Metakaolin

Metakaolin berasal dari kaolin yang dipanaskan pada suhu 500 – 900°C, berbentuk serbuk berukuran 0,5 sampai 5 mikron dan berwarna putih (Dharmawan *et al.*, 2017). Reaksi perubahan kaolin menjadi metakaolin yaitu sebagai berikut (Hasanah, 2018).



Perubahan yang terjadi pada metakaolin adalah dehidroksilasi oleh pemberian panas dalam jangka waktu tertentu. Kalsinasi adalah pemanasan pada temperatur tertentu untuk menghilangkan komposisi tertentu serta menghilangkan molekul air (dehidroksilasi). Pada temperatur rendah <100°C terjadi penyerapan air pada pori di permukaan kaolin. Pada temperatur ~100-400°C terjadi penghilangan berat yang berkaitan dengan proses predehidrasi, yang merupakan hasil penataan ulang lapisan oktahedral, pertama-tama terjadi pada gugus -OH dipermukaan dan pada temperatur ~400-800°C terjadi proses dehidroksilasi (penghilangan gugus -OH pada kaolin dan terjadi pembentukan metakaolin dengan fasa amorf (Sunardi *et al.*, 2011). Proses ini disebut dehidroksilasi kaolin. Hasil kalsinasi menyebabkan

kehilangan uap air, sehingga terjadi dekomposisi fasa akibatnya kisi dari rangka kristal mengalami deformasi fasa yang pada akhirnya kristalinitasnya hilang berubah menjadi amorf yang diduga mengalami perubahan derajat kristalinitas (Primandini *et al.*, 2012). Peristiwa ini disebut peristiwa dehidroksilasi yang menghasilkan perubahan fasa kristalin kaolin ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) menjadi metakaolin ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) amorf (Saukani *et al.*, 2018).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat akibat ikatan kimia dan fisika. Adsorpsi dibagi menjadi dua yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Reynold, 1982). Adsorpsi fisika terjadi terutama karena adanya gaya Van der Waals. Apabila gaya tarik antar molekul zat terlarut dengan adsorben lebih besar dari pada gaya tarik antara molekul dengan pelarutnya maka zat terlarut tersebut akan diadsorpsi. Ikatan tersebut sangat lemah, sehingga mudah untuk diputuskan apabila konsentrasi zat terlarut yang teradsorpsi diubah. Jadi proses ini berlangsung bolak-balik sedangkan dalam proses adsorpsi kimia ikatan antara zat terlarut yang teradsorpsi dan adsorben sangat kuat, sehingga sulit untuk dilepaskan dan proses hampir tidak mungkin untuk bolak-balik (Sari *et al.*, 2016).

Peristiwa adsorpsi kimia berlangsung karena adanya ikatan kimia yang terjadi antara molekul adsorbat dengan permukaan pengemban. Ikatan kimia yang terbentuk adalah ikatan kovalen atau ion. Ikatan yang terjadi pada adsorpsi kimia adalah sangat kuat. Ikatan kimia yang terbentuk sangat kuat ini, mengakibatkan adsorbat tidak mudah mengalami desorpsi (Suarsa, 2018). Sorpsi adalah proses penyerapan ion oleh partikel penyerap. Proses sorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi dan absorpsi. Proses adsorpsi jika ion tersebut tertahan dipermukaan partikel penyerap (adsorben), sedangkan absorpsi jika proses pengikatan ini berlangsung sampai di dalam partikel penyerap (absorben) (Zaini *et al.*, 2017).

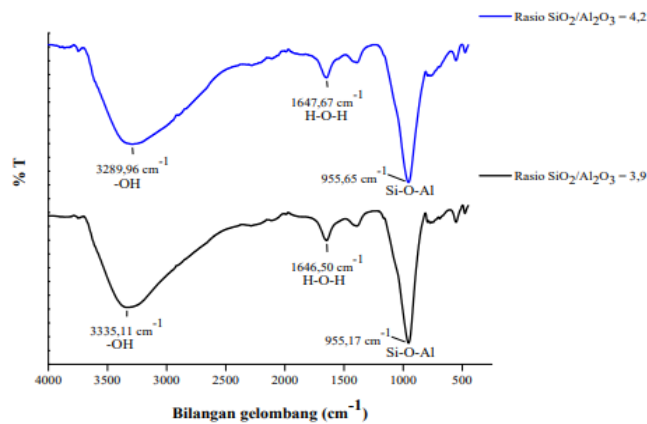
2.5 Instrumen yang Digunakan dalam Penelitian

Instrumen yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Instrumen-instrumen tersebut digunakan untuk menganalisis sifat fisik dan kimia dari kaolin dan metakaolin agar mendapatkan hasil analisis yang lebih baik sehingga dilakukan karakterisasi sebagai berikut:

2.5.1 Fourier Transform Infrared (FTIR)

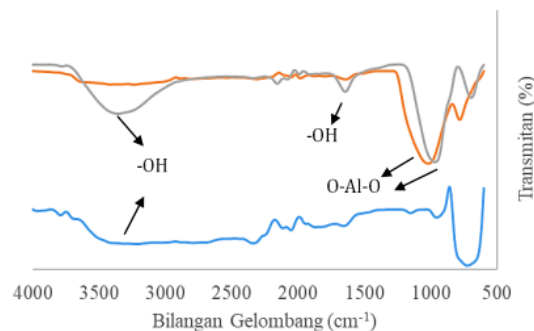
Spektroskopi FTIR merupakan salah satu metode dalam analisis analitik yang sangat baik dalam proses identifikasi struktur molekul suatu senyawa. Analisis menggunakan spektroskopi FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan ikatan pada geopolimer dengan gelombang elektromagnet infra merah pada bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} (Mustakim *et al.*, 2019). Keunggulan metode FTIR adalah informasi struktur molekul dapat diperoleh secara tepat dan akurasi pengukuran yang lebih tinggi. Keuntungan yang lain dari metode ini adalah dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase yaitu gas, padat atau cair (Kusumastuti, 2011).

Prinsip FTIR yaitu terjadinya serapan dari senyawa yang memiliki tingkat energi vibrasi pada ikatan kovalen yang akan mengalami perubahan momen dipol di dalam molekul. Atom-atom pada molekul tidak hanya diam melainkan bervibrasi. Radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu cuplikan kemudian molekul-molekul dapat menyerap energi. Absorpsi energi di setiap frekuensi dapat dideteksi dengan mengakumulasi jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui cuplikan (Rizaldi, 2017). Adapun contoh analisis spektroskopi FTIR dalam geopolimer kaolin Capkala dengan variasi rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$:



Gambar 2. 3 Spektrum FTIR Geopolimer (Mustakim et al., 2019)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Mustakim *et al.*, (2019), menunjukkan bahwa munculnya pita serapan sekitar 3500 cm^{-1} dan 1600 cm^{-1} , berturut-turut merupakan vibrasi ulur (*stretching vibration*) -OH dan vibrasi tekuk (*bending vibration*) H-O-H . Dapat dilihat pada spektrum FTIR geopolimer dengan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,9$ dan pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,2$ memiliki pita serapan pada bilangan gelombang $3335,11\text{ cm}^{-1}$, $3289,96\text{ cm}^{-1}$ dan $1646,50\text{ cm}^{-1}$, $1647,67\text{ cm}^{-1}$ berturut-turut menunjukkan vibrasi ulur (*stretching vibration*) O-H dan vibrasi tekuk (*bending vibration*) H-O-H . Pita ini menunjukkan adanya adanya molekul-molekul air pada geopolimer. Pita serapan pada gelombang $722,22\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur simetri (*symmmetric stretching vibration*), vibrasi tekuk (*bending vibration*) Si-O-Al pada bilangan gelombang $555,56\text{ cm}^{-1}$ dan vibrasi tekuk (*bending vibration*) Si-O pada bilangan gelombang $472,22\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 2. 4 Spektrum FTIR kaolin (biru), metakaolin (jingga) dan metakaolin teraktivasi KOH (abu-abu) (Ramadhy et al., 2020)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ramadhy *et al.*, (2020), menunjukkan bahwa metakaolin teraktivasi KOH memiliki puncak pada bilangan gelombang 1644,38 cm^{-1} dan 3359,34 cm^{-1} yang berturut-turut merupakan vibrasi tekuk –OH yang terperangkap dalam kisi kristal serta vibrasi ulur O-H. Akan tetapi, terjadi pengurangan ketajaman untuk puncak –OH pada bilangan gelombang 3000-3500 cm^{-1} antara kaolin dengan metakaolin serta metakaolin teraktivasi KOH. Selain itu, dapat dilihat adanya pergeseran puncak pada bilangan gelombang 967,11 cm^{-1} yang merupakan daerah vibrasi O-Al-O antara metakaolin hasil aktivasi larutan KOH dengan metakaolin. Penelitian lain mengenai spektrum FTIR kaolin yang dilakukan oleh Nugraha dan Umi, (2017), menunjukkan bahwa gugus fungsi khas dari senyawa yang terdapat dalam kaolin menunjukkan adanya puncak serapan yang tajam pada bilangan gelombang sekitar 3695 cm^{-1} dan 3448 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya vibrasi ulur O-H yang memiliki perbedaan lingkungan, pada bilangan gelombang 3695 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H yang terikat atom Al oktahedral (Al-O-H), pada permukaan silikat atau pada antar lapis silikat.

2.5.2 X-ray fluorescence (XRF)

X-ray fluorescence (XRF) adalah suatu metode analitik untuk menentukan komposisi kimia dari berbagai jenis material. Material yang dianalisis dapat berupa padatan, cairan maupun serbuk. *X-ray fluorescence* (XRF) dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi suatu lapisan. Keuntungan menggunakan XRF adalah cepat, akurat, dan hanya memerlukan sampel dalam jumlah kecil. Aplikasi XRF sangat luas meliputi industri logam, semen, minyak, polimer, non- destruktif, plastik dan makanan, bidang pertambangan, geologi dan mineralogi, serta analisis air dan limbah pada lingkungan. *X-ray fluorescence* (XRF) juga merupakan suatu teknik analisis yang banyak dimanfaatkan untuk keperluan penelitian (Brouwer, 2010).

Prinsip kerja dari XRF adalah sinar-X yang menjadi sumber pengekstiasikan mengenai cuplikan dan menyebabkan interaksi antara sinar-X yang menjadi

karakteristik untuk setiap unsur. Sinar-X tersebut selanjutnya mengenai detektor yang akan menimbulkan pulsa listrik yang lemah, pulsa tersebut kemudian diperkuat dengan *preamplifier* dan *amplifier* lalu disalurkan pada penganalisis saluran ganda atau *multi channel analyzer* (MCA). *X-ray fluorescence* (XRF) adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan dalam analisa batuan karena membutuhkan jumlah sample yang relatif kecil. Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral (Munasir *et al.*, 2012).

2.5.3 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi adalah peristiwa terhamburnya gelombang oleh adanya suatu gangguan misalnya kisi, diikuti oleh hamburan ke segala arah yang menimbulkan penguatan atau pelemahan pada suatu kondisi tertentu. Teknik difraksi sinar-X menggunakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sebesar $0,7\text{\AA}$ - $2,0\text{\AA}$ yang dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi kemudian elektron-elektron ini berubah menjadi energi foton sehingga energinya lebih besar dari pada energi sinar UV-Vis serta tidak mengalami pembelokan pada medan magnet. Difraksi sinar-X digunakan untuk mengetahui pengaturan atom-atom dalam tingkat molekul. Pengaturan atom dapat diinterpretasikan melalui analisa nilai d dari data difraksi sinar-X. Nilai d dapat diketahui melalui data difraksi sinar-X puncak yang melebar menunjukkan kristalinitas rendah (amorf), sedangkan puncak yang meruncing menunjukkan kristalinitas yang lebih baik (Atkins *et al.*, 2010).

Prinsip kerja XRD yaitu sinar-X dihasilkan dari suatu logam pada panjang gelombang tertentu, akan memvariasikan besar sudut pantulannya dan terjadi pantulan elastis yang dapat dideteksi. Menurut hukum Bragg's jarak antar bidang atom dapat dihitung dengan data difraksi yang dihasilkan pada besar sudut-sudut tertentu. Jarak antar *interplanar* atau jarak *interlayer* dapat di kalkulasikan melalui persamaan Bragg's. Hukum Bragg's menyatakan bahwa dua berkas sinar-X yang

pararel mengenai bidang kristal yang sama jarak antar bidang (d), maka perbedaan jarak yang ditempuh oleh kedua sinar tersebut berbanding lurus dengan panjang gelombang dinyatakan sebagai berikut (Atkins *et al.*, 2010):

$$2d \sin \theta = n \lambda \dots\dots\dots(i)$$

keterangan:

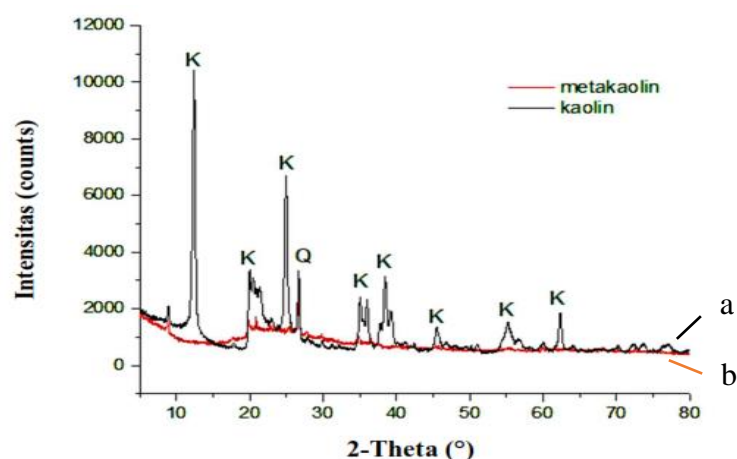
d = jarak antar bidang kristal (Å)

λ = panjang gelombang (Å)

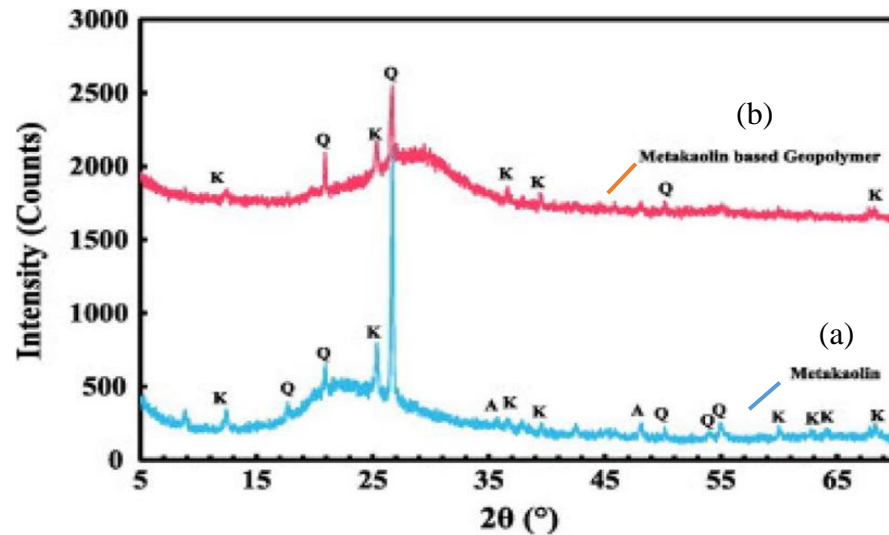
θ = sudut difraksi (derajat)

n = orde (1, 2, 3, ..., n)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Purbasari *et al.*, (2021), menunjukkan bahwa setelah mengalami proses dehidroksilasi pada suhu 550 °C selama 3 jam menjadi metakaolin. Pada kaolin terdapat puncak-puncak yang berasal dari mineral kaolinit dan juga kuarsa atau SiO₂. Puncak-puncak kaolinit tidak banyak ditemukan pada metakaolin. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar kaolin telah berubah menjadi metakaolin. struktur kristal sebesar 78,6% dan pada metakaolin sebesar 37,1%. Kaolin telah berubah menjadi metakaolin yang mempunyai struktur amorf (Davidovits, 2008). Puncak-puncak difraksi untuk mineral kaolinit adalah 12,42°; 20,40°; 24,88°, sedangkan puncak-puncak pada mineral kuarsa adalah 20,88°; 26,66° (Sunardi *et al.*, 2011).



Gambar 2. 5 Spektrum XRD Kaolin (a) dan Metakaolin (b) (Purbasari *et al.*, 2021)



Gambar 2. 6 Spektrum XRD Metakaolin (a) dan geopolimer (b) (Kim dan Lee, 2020)

Hasil dari Analisis XRD untuk metakaolin dan geopolimer, menunjukkan bahwa hilangnya puncak kaolinit setelah kalsinasi dan mengalami proses dehidroksilasi molekul air yang ada di struktur kaolinit dalam metakaolin. Kemudian, terjadi pembentukan produk baru dengan struktur yang berbeda dari metakaolin yang dinamakan geopolimer. Geopolimer membentuk fasa amorf dengan kandungan mineral utama quartz yang ditandai dengan adanya puncak pada 2θ sekitar $10^\circ - 35^\circ$ (Alouani *et al.*, 2019).