

TINJAUAN LITERATUR: PENINGKATAN KETAHANAN API DAN SIFAT MEKANIK PADA KOMPOSIT POLIMER DENGAN PENAMBAHAN BAHAN LIMBAH GEOPOLIMER

Ridwan Afandi¹, Akhmad Nurdin^{2*}, Sri Hastuti³, Febri Budi Darsono⁴, & Fajar Paundra⁵

^{1,2}Program Studi Teknologi Perancangan Rekayasa Manufaktur, Politeknik Manufaktur Ceper

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar

⁴Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang

⁵Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera

*e-mail corresponding: nurdin@polmanceper.ac.id

Abstrak: Komposit dengan matrik polimer yang berkembang saat ini banyak diaplikasikan dibidang otomotif sebagai panel interior, panel pintu, sampai bodi. Dalam pengembangan komposit polimer yang diaplikasikan pada bidang otomotif harus memiliki kualifikasi tahan bakar baik. Saat ini Komposit polimer dengan sifat ketahanan bakar telah dikembangkan dengan material geopolimer yang memiliki keunggulan dan menghasilkan kinerja yang tinggi. Geopolimer merupakan sumber aluminosilikat atau silika oksida dan alumina oksida yang berbentuk polimer anorganik dengan sifat mekanik tahan terhadap panas. Bahan geopolimer banyak didapatkan dari material limbah, diantaranya yang telah dimanfaatkan sebagai penambah material komposit polimer yaitu *fly ash* batubara dan limbah yang berbasis tanah liat. Literatur ini bertujuan untuk menelaah bagaimana arah dan perkembangan teknologi komposit berpenguat polimer yang memiliki ketahanan bakar menggunakan material bersifat limbah. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pendekatan konseptual pada artikel-artikel yang berkaitan dengan pengaruh penambahan jenis material geopolimer terhadap karakteristik tahan bakar komposit berpenguat serat alam. Berdasarkan hasil telaah artikel yang berkaitan penambahan material geopolimer cenderung menurunkan ketahanan terhadap beban tarik dan beban bending, namun sebaliknya penambahan material geopolimer ini menaikkan sifat ketahanan bakarnya.

Kata kunci: Komposit, Geopolimer, Polimer, Ketahanan Bakar

Abstract: Composite polymers are now under development and are widely used in automobile manufacturing for interior panels, door panels, and bodywork. The research and development of polymer composites for the automobile manufacturing must have resilient fire resistance requirements. Currently, polymer composites with fire resistance capabilities have been developed with geopolimer materials, which offer benefits and produce excellent performance. Geopolymers are inorganic polymers that contain aluminosilicates, silica oxides, and alumina oxides. They have thermally resistant mechanical characteristics. Geopolimer materials are commonly derived from waste materials, including those utilized as additions to polymer composite materials, specifically coal fly ash and clay-based waste. The purpose of this literature is to discuss the path and progress of waste-based polymer reinforced composite technology for fire resistance. The methodology employed in this study takes a conceptual approach to articles on the influence of adding different types of geopolimer materials on the fire resistance properties of natural fiber reinforced composites. According to the findings, articles involving the inclusion of geopolimer materials tend to lower resistance to tensile and flexural stresses, whilst the addition of this geopolimer material reduces fire resistant qualities.

Keywords: Composite, Geopolymer, Polymer, Fire Resistance

PENDAHULUAN

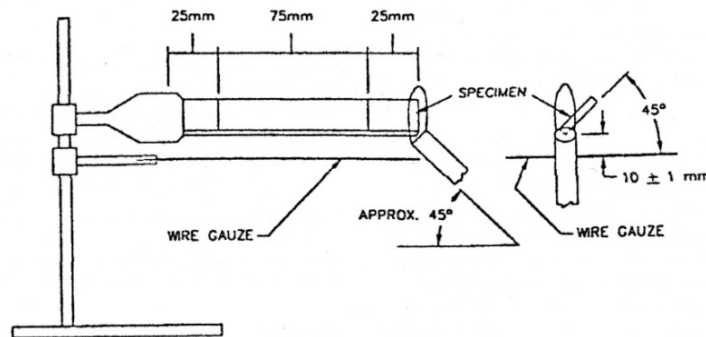
Material bentuk komposit merupakan material yang terdiri dari dua bahan atau lebih yang memiliki sifat berbeda, dengan penggabungan secara makroskopis dan memiliki ikatan antarmuka yang baik dari bahan satu dengan bahan lainnya (Nurdin, Hastuti, D, & Rino, 2019). Penggabungan dengan ikatan antarmuka bertujuan untuk menemukan material baru yang menyerupai sifat asli masing-masing material penyusunnya (Putra et al., 2023). Komposit secara umum tersusun atas serat yang berfungsi sebagai material penguat dan matrik sebagai pengikat antar serat agar selalu dalam posisinya. Karakteristik komposit dipengaruhi masing-masing material serat maupun matriknya,

perbedaan variabel susunan serat mengakibatkan perbedaan dari masing-masing variabel tersebut sedangkan jenis matrik mempengaruhi karakteristik ikatan dengan seratnya (Diana, Safitra, & Ariansyah, 2020).

Dalam rekayasa material, polimer selain dikembangkan pada desain dengan durabilitas tinggi (Nurdin & Himawanto, 2019), polimer juga banyak dikembangkan misalnya sebagai pelapis, cat, glazur, perekat, sampai pengikat yang digunakan pada komposit atau yang disebut dengan matrik polimer komposit (Diana et al., 2020). Sedangkan penguat komposit dapat berasal dari material yang berbasis limbah, misalnya limbah pertanian (Paunda, Imad, Muhyi, Sumardi, & Rojikin, 2022), limbah industri tidak beracun (Harjani, Noviadri, Kristen, & Wacana, 2019), sampai limbah konstruksi bangunan (Harjani et al., 2019).

Material komposit polimer banyak diaplikasikan pada industri transportasi darat, laut, dan udara seiring meningkatnya kebutuhan material yang kuat, tahan korosi, ringan, dan harga terjangkau (Priyanto, 2015). Material komposit yang diaplikasikan dalam industri manufaktur tidak hanya harus memenuhi standar sifat mekanik, namun juga harus memiliki sifat ketahanan bakar yang baik (Zhou, Yao, Chen, Wei, & Wu, 2013). Indikator ketahanan bakar pada polimer dapat dikaji dengan pengujian yang mengacu standar ASTM D-635 seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Indikator yang dapat diklasifikasikan teruji horizontal burning (HB) menurut standar ASTM D-635 harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Nilai ROB tidak lebih dari 40 mm/menit sepanjang jarak 75 mm untuk spesimen dengan ketebalan 3 mm hingga 13 mm.
- Nilai ROB tidak lebih dari 75 mm/menit sepanjang jarak 75 mm untuk spesimen dengan ketebalan 3 mm.
- Apabila api padam sebelum garis tanda 10 mm, maka spesimen dinyatakan memenuhi klasifikasi HB.

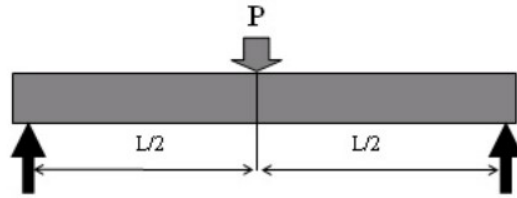


Gambar 1. Skema pengujian ketahanan bakar (ASTM D-635 Standards, 2003)

Saat ini Komposit polimer dengan sifat ketahanan bakar telah dikembangkan dengan penambahan geopolimer yang memiliki keunggulan dalam menghasilkan kinerja yang tinggi (Kuncoro Diharjo, Afandi, Purwanto, Suharty, & Jihad, 2013). Geopolimer merupakan sumber aluminosilikat atau sumber silika dan alumina yang bentuk polimer anorganik (Kuncoro Diharjo et al., 2013), dengan sifat mekanik tahan terhadap panas, dan memiliki kuat tekan yang baik (Sutrisno, Hari, & Mustafa, 2016). Bahan geopolimer silika dan alumina banyak didapatkan dari material yang tidak digunakan, misalnya abu terbang batubara atau *fly ash* (Kuncoro Diharjo & Firdaus, 2007), pecahan genting (Siswanto & Diharjo, 2011), pecahan bata merah (Halauddin, 2017), dan bahan geopolimer lainnya yang cenderung bersifat limbah dengan jumlah yang melimpah.

Selain memiliki ketahanan bakar yang baik, karakteristik material komposit dengan penambahan geopolimer serbuk harus memiliki kekuatan mekanik yang baik, sehingga mampu menahan gaya-gaya yang diterima dari berbagai arahnya misalnya gaya bending. Gaya bending diilustrasikan beban yang diterima oleh sebuah batang yang berbentuk balok persegi panjang yang terkena gaya tegak lurus terhadap sumbu batangnya dan ditumpu oleh dua buah tumpuan dengan jarak gaya ke masing-masing tumpuan sama besar seperti (Kuncoro Diharjo, Jamasri, & Firdaus, 2007)

yang ditunjukkan Gambar 2 menunjukkan tegangan bending dengan tiga titik.



Gambar 2. Skema tegangan bending tiga titik (Kuncoro Diharjo et al., 2007)

METODE

Metode yang digunakan penelitian ini menggunakan pendekatan konseptual bidang menurut (Cahyono, Sutomo, & Aris Hartono, 2019) yang dijabarkan melalui lima tahapan yang meliputi: (a) Menemukan literatur yang relevan, (b) Evaluasi sumber literatur, (c) Identifikasi tema/topik dan kesesuaian teori, (d) Struktur garis besar, dan (e) Menyusun ulasan literatur.

Literatur yang digunakan dalam penyusunan artikel ini dalam bidang material komposit yang berpegang polimer dengan topik penambahan filler material geopolimer keramik sebagai penambah nilai ketahanan terhadap api. Topik tenang komposit yang memiliki ketahanan terhadap api dapat dijumpai berbagai artikel ilmiah yang diterbitkan dalam prosiding maupun jurnal nasional terakreditasi, serta prosiding maupun jurnal internasional. Berdasarkan literatur, saat ini perkembangan penambahan limbah geopolimer memanfaatkan limbah yang terbagi menjadi dua material dasar, yaitu limbah yang berbasis *flyash* batubara dan limbah yang berbasis *clay* atau lempung. Sedangkan penambahan *filler* geopolimer keramik selain meningkatkan ketahanan api secara langsung juga mempengaruhi sifat mekaniknya, sehingga secara garis besar penyusunan artikel ini membahas dan mengulas tentang bagaimana pengaruh presentase penambahan geopolimer keramik sebagai *filler* terhadap karakteristik ketahanan bakar dan mekanik komposit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geopolimer *Fly Ash* Batubara

Limbah serbuk fly ash batubara banyak dihasilkan dari pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menyebabkan pencemaran udara dan air, sehingga dikategorikan sebagai limbah berbahaya oleh pemerintah. Fly ash batubara mengandung lebih dari 80% silika oksida (SiO_2) dan alumina oksida (Al_2O_3). Serta bahan lainnya seperti CaO (coarse) yang memiliki ketahanan melting pada temperatur diatas 1100°C (Kuncoro Diharjo & Firdaus, 2007). Penelitian yang dilakukan pada referensi(Kuncoro Diharjo & Firdaus, 2007) dan (Kuncoro Diharjo et al., 2007) melakukan studi dengan metode yang sama memanfaatkan partikel abu batubara atau fly ash sebagai material penambah dengan parameter ukuran butir 0,1 sampai 0,5 mm dan fraksi volume 20% sampai 60% pada polimer poliester. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik komposit terhadap ketahanan bakarnya (Kuncoro Diharjo & Firdaus, 2007), serta terhadap kekuatan lentur dan regangan lentur (Kuncoro Diharjo et al., 2007).

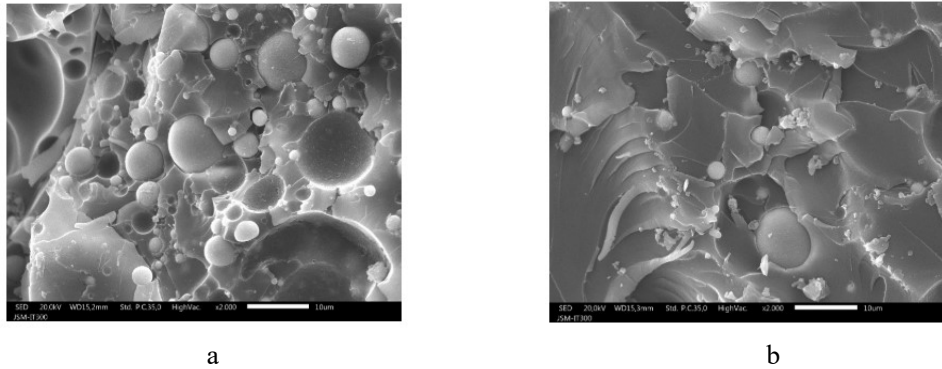
Diharjo dkk tahun 2007a dan 2007b yang sesuai pada referensi (Kuncoro Diharjo & Firdaus, 2007)(Kuncoro Diharjo et al., 2007) meneliti tentang pemanfaatan *fly ash* batubara sebagai material komposit dengan matrik unsaturated polyester resin (UPRs) and Methyl Ethyl Keton Peroxide (MEKPO) hardener dengan variasi fraksi 0% sampai 70% terhadap sifat ketahanan bakar komposit (Kuncoro Diharjo & Firdaus, 2007), dan variasi ukuran partikel 0,01 sampai 0,5 mm terhadap gaya lentur komposit (Kuncoro Diharjo et al., 2007). Hasil uji bakar menunjukkan semakin naik nilai fraksi volume *fly ash* semakin naik pula ketahanan bakarnya. Pada penelitian ini pada penambahan fly ash sampai dengan fraksi volume paling tinggi 70% semakin meningkatkan nilai ketahanan bakar sampai 3,4 kali tanpa penambahan *fly ash*, dengan waktu awal pembakaran 12,5 detik untuk tanpa penambahan *fly ash* dan 42,92 detik untuk penambahan *fly ash* sampai 70%. Naiknya waktu awal pembakaran ini seiring naiknya fraksi volume disebabkan kandungan silika oksida (SiO_2) dan alumina oksida (Al_2O_3) pada fly ash yang mencapai 80% secara bersama mampu menyerap panas dari pembakaran komposit (Kuncoro Diharjo & Firdaus, 2007). Sedangkan secara umum hasil studi uji

lentur menunjukkan semakin naik fraksi berat *fly ash* semakin menurun nilai regangan atau elastistasnya, selain itu penelitian ini juga menunjukkan semakin kecil ukuran butir partikel *fly ash* nilai kekuatan lentur dan regangan lentur semakin naik. Hasil optimal dari komposit yang memiliki kekuatan lentur dan modulus lentur ditunjukkan pada komposit dengan variasi fraksi berat 40% dan ukuran partikel 0,10 mm dengan nilai 127.24 MPa. Komposit yang diperkuat dengan ukuran partikel yang lebih kecil memiliki permukaan kontak yang lebih banyak dan besar antara penguat (*fly ash*) dengan matriknya, sehingga saat terkena beban secara langsung, beban berpindah geser melalui penguat dengan matriknya, hal ini menyebabkan semakin besar permukaan kontakannya, maka kekuatan komposit lebih tinggi. Selain itu secara umum penelitian ini juga menunjukkan semakin bertambahnya fraksi volume dari penguat (*fly ash*) nilai elastisitas lentur komposit semakin berkurang dan cenderung lebih bersifat getas dengan bentuk patahan berupa garis lurus seperti yang ditunjukkan Gambar 3, hal ini disebabkan material yang digunakan berupa serbuk (Kuncoro Diharjo et al., 2007).

Prasetyo dkk pada tahun 2020 sesuai pada referensi (Prasetyo, Diharjo, Ariawan, Suharty, & Masykuri, 2020) menambahkan *fly ash* pada resin *phenolic*. Penelitian ini mengamati pengaruh penambahan fraksi volume serbuk *fly ash* 0% sampai 50% pada resin *phenolic* terhadap nilai tegangan lentur dan nilai ketahanan api. Hasil studi ini menunjukkan penambahan serbuk *fly ash* pada komposit bermatrik resin *phenolic* mempengaruhi nilai tegangan lentur, dengan nilai optimal pada fraksi volume 30% yang mencapai 91,42 MPa. Nilai tegangan lentur optimal ini dipengaruhi oleh ikatan yang kuat antara serbuk *fly ash* dan pengikat resin *phenolic*, sedangkan pada fraksi volume lebih dari 30% ikatan berkurang yang disebabkan terbentuknya rongga antar serbuk dan matrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dengan analisa pengamatan *Scanning Electron Microscope (SEM)* pada fraksi volume 50% atau diatas 30% (4a) terdapat banyak rongga dibandingkan pada fraksi volume 20% atau dibawah 30% (4b). Pada studi ini nilai ketahanan api menunjukkan semakin naik fraksi volume *fly ash* semakin naik pula waktu awal pembakaran sampai 2,52 detik serta semakin menurunkan nilai perambatan api sampai 17,23 detik, hal ini disebabkan pada *fly ash* memiliki senyawa yang tidak mudah terbakar seperti SiO_2 and Al_2O_3 . Selain itu, penelitian komposit *fly ash* bermatrik *phenolic* ini juga menambahkan serat karbon sebagai penguat dengan jumlah 1 sampai 4 lapis. Secara umum penambahan jumlah lapis serat karbon menaikkan nilai tegangan lentur dari nilai 91,42 MPa tanpa serat karbon menjadi 176,47 MPa pada satu lapis serat karbon, dan mencapai 303,43 MPa pada empat lapis serat karbon, kenaikan nilai tegangan lentur ini disebabkan semakin bertambah presentase penguat, maka ketahanan dalam menahan gaya semakin naik. Sedangkan pada nilai ketahanan api, semakin bertambah jumlah lapisan serat karbon sampai 4 lapis, maka waktu awal pembakaran semakin naik dibandingkan tanpa serat karbon sampai 3,73 pada jumlah 4 lapis, dan menurunkan nilai perambatan api sampai 12,72 detik pada jumlah 4 lapis pula. Kenaikan nilai ketahanan api dengan menambahkan serat karbon sampai 4 lapis ini disebabkan dari sifat serat karbon yang memiliki sifat konduktivitas panas yang tinggi dan sifat pemadaman sendiri (Prasetyo et al., 2020).

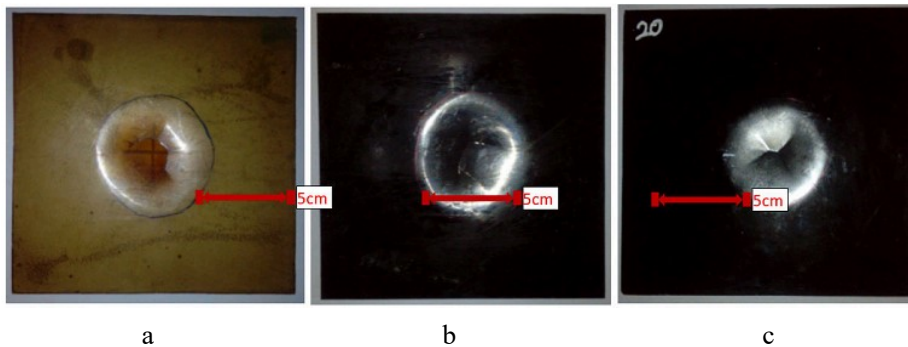


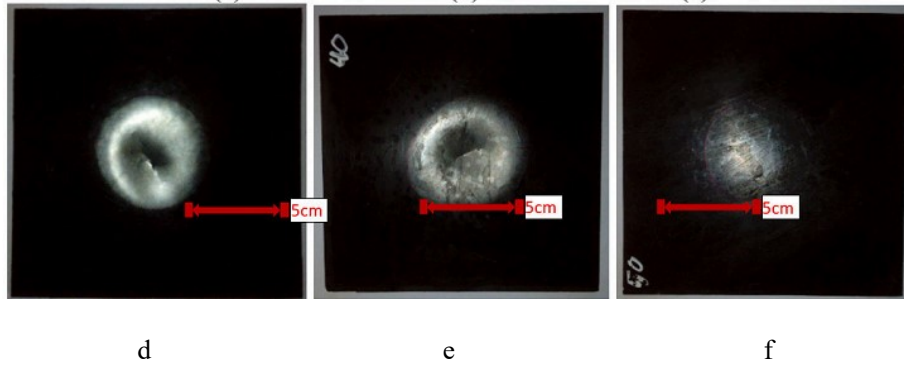
Gambar 3. Bentuk patahan uji lentur komposit *fly ash* – poliester (Kuncoro Diharjo et al., 2007)



Gambar 4. Pengamatan SEM bentuk patahan (a) 50% fly Ash (b) 20% fly ash (Prasetyo et al., 2020)

Diharjo dkk pada tahun 2020 seperti yang ditunjukkan referensi (K Diharjo, Prasetya, Masykuri, & Suharty, 2020) meneliti tentang pengaruh penambahan *fly ash* batubara berukuran $\leq 75 \mu\text{m}$ atau mesh 200 sebagai penguat pada pengikat resin *ripoxy R-802* dengan variasi fraksi volume *fly ash* 0 sampai 50% terhadap ketahanan bakar dengan metode *horizontal burning* dan *surface burning*. Menggunakan metode *horizontal burning*, penelitian ini menunjukkan semakin naik fraksi volume dari *fly ash* maka waktu awal penyalaan komposit semakin naik mulai 4,36 detik pada fraksi volume 0% sampai 12,39 detik pada fraksi volume 50%, serta penurunan rambatan api dari 22,37 pada fraksi volume 0% sampai 12,96 detik pada fraksi volume 50%. Sedangkan pada pengujian ketahanan bakar menggunakan metode *surface burning* menunjukkan semakin naiknya nilai fraksi volume dari *fly ash* maka dekomposisi *volatile* semakin rendah, hal ini seperti pada Gambar 5 yang menunjukkan hasil *burner surface* dekomposisi yang dibagi menjadi 3 jenis, yaitu (1) dekomposisi berat ditandai dengan adanya sebuah lubang dan cembungan, hal ini terjadi pada komposit dengan fraksi volume *fly ash* 0% dan 10%, (2) dekomposisi menengah ditandai dengan adanya retakan dan cembungan, hal ini terjadi pada fraksi volume *fly ash* 20%, 30%, dan 40%, (3) dekomposisi ringan dengan adanya cembungan yang kecil tanpa rekatakan, hal ini terjadi pada pada fraksi volume *fly ash* 50%. Penambahan *fly ash* batubara pada resin *ripoxy R-802* sebagai komposit meningkatkan kemampuan ketahanan bakar, hal ini disebabkan *fly ash* mengandung unsur dengan titik leleh yang tinggi seperti silika oksida (SiO_2), alumina oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), magnesium oksida, dan kalsium oksida yang masing-masing unsur tersebut dapat menghambat rambatan api dengan mengurangi pasokan bahan bakar sebagai salah satu syarat dari segitiga api (K Diharjo et al., 2020)





Gambar 5. Hasil dekomposisi *surface burning* komposit *fly ash – epoxy R-802*

(a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, (e) 40%, dan (f) 50%

Geopolimer Berbasis *Clay*

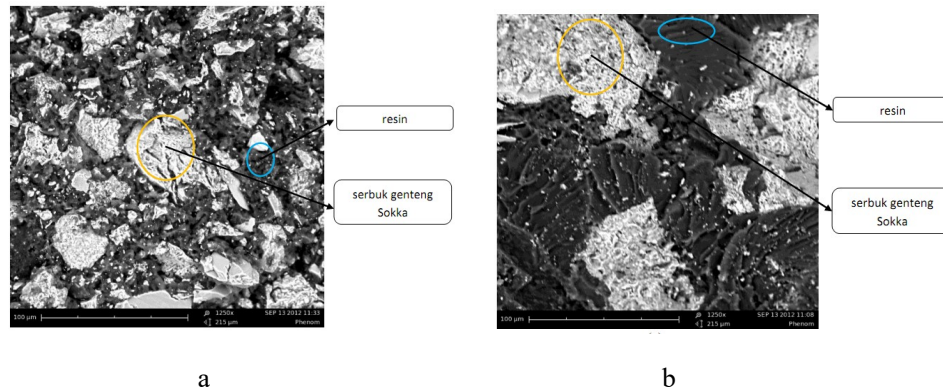
Clay atau tanah lempung merupakan tanah yang bersifat liat, elastis, dan mudah untuk dibentuk dalam keadaan basah dan bersifat palstis dalam keadaan kering. Sifat dari tanah lempung yang mudah dibentuk berpotensi untuk dimanfaatkan berbagai aplikasi dalam lingkup material keramik yang sangat luas seperti bahan baku pembuatan batu bata, genting yang kaku, hingga benda-benda rumah tangga seperti gerabah. Sifat keramik memiliki karakteristik yang positif sebagai material meliputi kapasitas panas tinggi, konduktivitas panas yang rendah, tahan korosi, isolator, non-magnetik, keras, dan kuat. Namun dengan sifat-sifat tersebut keramik memiliki sifat yang getas dan cenderung rapuh (Siswanto & Diharjo, 2011). Unsur utama yang terkandung pada *clay* atau lempung adalah silika oksida (SiO_2) dan aliminia (Al_2O_3) yang memiliki sifat ketahanan terhadap api yang tinggi. Selain itu lempung juga mengandung *Montmorillonite* atau *MMt* dengan sifat mampu mengadsorpsi atau penyerapan yang tinggi, sifat liat yang tinggi dalam keadaan basah, dan berkerut jika dikeringkan, seta butir-butirnya berupa kepingan halus (Tarigan, 2013).

Siswanto dkk pada tahun 2011 seperti yang ditunjukkan pada referensi (Siswanto & Diharjo, 2011) meneliti tentang komposit serbuk genting berpegikat BQTN Polyester Resin dengan variasi ukuran serbuk mesh 40-60, 60-80, dan 80-100 serta fraksi volume 30%, 40%, dan 50% terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending. Hasil penelitian ini menunjukkan ukuran serbuk mesh dan fraksi volume dari serbuk genting berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan bending. Secara umum semakin halus ukuran serbuk genting nilai kekuatan tarik dan kekuatan bending naik dengan masing-masing paling optimal pada variasi mesh 80 - 100 dengan nilai kekuatan tarik mencapai 22,32 MPa, dan nilai kekuatan bending mencapai 86,67 MPa. Sedangkan pada variasi fraksi volume menunjukkan kekuatan tarik dan bending menurun diatas fraksi volume 30% yaitu 40% dan 50% dengan nilai optimal masing-masing kekuatan tarik 22,32 MPa pada fraksi volume 30% dan 86,67 MPa pada fraksi volume 30% pula. Pada serbuk genting dengan mesh 80-100 memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan mesh 40-60 dan 60-80, sehingga luasan area partikel-partikel yang diikat oleh matrik semakin luas dibandingkan mesh 40-60 dan 60-80 dan berpotensi meningkatkan kekuatan mekaniknya. Sedangkan pada fraksi volume 40% dan 50% sifat kelekuasaan matrik mengisi daerah antar butir semakin menurun dibandingkan fraksi volume, sehingga cenderung membentuk rongga antara serbuk dengan matrik dan hal ini berpotensi menurunkan kekuatan mekaniknya (Siswanto & Diharjo, 2011).

Tarigan pada tahun 2013 seperti yang ditunjukkan pada referensi (Tarigan, 2013) melakukan penelitian tentang ketahanan bakar pada komposit serbuk genting sokka clay-epoxy R-802 terhadap ketahanan bakar menggunakan metode horizontal burning. Variasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 3 ukuran, yaitu dengan mesh 80 tertahan di mesh 100 ($177\mu\text{m}$ - $149\mu\text{m}$), mesh 150 tertahan di mesh 200 ($99\mu\text{m}$ - $74\mu\text{m}$), dan lolos mesh 200 ($\leq 74\mu\text{m}$). Selain itu, penelitian ini juga menggunakan variasi fraksi volume 10% sampai 40% masing-masing dengan ukuran serbuk mesh 150 tertahan di mesh 200 ($99\mu\text{m}$ - $74\mu\text{m}$). Hasil penelitian ini menunjukkan semakin kecil ukuran serbuk sokka clay maka waktu awal pembakaran naik serta waktu kerambatan bakar semakin menurun. Fenomena ini terjadi disebabkan ukuran serbuk yang semakin kecil menaikkan tingkat

gesekan antar partikel yang cenderung meningkatkan kekuatan ikatan dengan matriknya seperti yang ditunjukkan dengan pengamatan scanning electron microscope pada Gambar 6a, sedangkan pada ukuran serbuk yang lebih besar memiliki kepadatan yang lebih tinggi namun luas kontak antar partikel semakin rendah sehingga memicu ketidakmampuan matrik dalam mengisi ruang kosong dan cenderung munculnya void pada komposit seperti yang ditunjukkan dengan pengamatan scanning electron microscope pada Gambar 6b. Sedangkan pada variasi fraksi volume, semakin naik nilai fraksi serbuk sokka clay maka waktu awal pembakaran naik serta waktu kerambatan bakar semakin menurun. Hal ini terjadi yang disebabkan serbuk genteng sokka-clay tersusun dari beberapa unsur penyusun diantaranya silika, alumina (titik lebur 660°C), oksida besi (titik lebur 1535°C), magnesium oksida (titik lebur 650°C), kalsium oksida (titik lebur 845°C) yang dapat menahan laju api (Tarigan, 2013).

Diharjo dkk pada tahun 2015 seperti yang ditunjukkan referensi (Kuncoro Diharjo, Suharty, Nusantar, & Afandi, 2015) meneliti tentang pengaruh fraksi volume dan ukuran serbuk sokka-clay yang diikat oleh polypropylene daur ulang terhadap kekuatan tarik dan ketahanan bakar. Variasi fraksi volume serbuk sokka-clay yang digunakan 10% sampai 50%, sedangkan ukuran serbuk yang digunakan $\leq 74 \mu\text{m}$ (mesh 200), $74\text{-}100 \mu\text{m}$ (mesh 200-150), $100\text{-}125 \mu\text{m}$ (mesh 150-120). Hasil penelitian ini menunjukkan semakin naik fraksi volume serbuk, maka nilai kekuatan tarik semakin menurun hal ini disebabkan semakin besar fraksi volume pada komposit interaksi antara *sokka-clay* dengan matrik *polypropylene* daur ulang dan semakin banyak sampai 50% interaksi tersebut semakin berkurang yang menyebabkan komposit menjadi getas. Pada ukuran serbuk, semakin besar ukuran partikel maka nilai kekuatan tarik pada komposit semakin menurun namun sebaliknya semakin kecil ukuran partikel serbuk maka semakin naik nilai kekuatan tariknya, hal ini disebabkan ukuran partikel yang semakin kecil ikatan kontak antar permukaan serbuk dan matrik semakin banyak yang menyebabkan kontak permukaan yang lebih luas. Sedangkan pada uji ketahanan bakar menunjukkan semakin naik presentase fraksi volume maka waktu pembakaran awal semakin lama dan laju perambatan bakar semakin menurun, hal ini disebabkan tanah lempung berfungsi sebagai material penahan dan penghambat pembakaran oleh unsur Al_2O_3 dan SiO_2 saat komposit terbakar. Selanjutnya ukuran partikel serbuk juga mempengaruhi nilai ketahanan bakar dengan semakin kecil ukuran partikel serbuk maka waktu pembakaran awal semakin lama dan laju perambatan bakar semakin menurun, hal ini disebabkan ukuran partikel yang lebih kecil cenderung memiliki nilai densitas yang tinggi, sedangkan material dengan nilai densitas yang lebih tinggi memiliki jarak antar partikel yang lebih rapat dan sulit untuk dibakar (Kuncoro Diharjo et al., 2015).



Gambar 6. Pengamatan patahan *scanning electron microscope*
(a) serbuk $\leq 74\mu\text{m}$, dan (b) serbuk $177\mu\text{m}\text{-}149\mu\text{m}$

SIMPULAN

Geopolimer merupakan material yang tersusun atas unsur utama silika oksida (SiO_2) dan alumina oksida (Al_2O_3) yang memiliki sifat ketahanan terhadap pembakaran yang baik. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah direview dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penambahan material geopolimer *fly ash* batubara maupun yang berbasis tanah lempung pada material komposit polimer cenderung menurunkan nilai kekuatan tarik dan kekuatan lentur.
2. Penambahan material geopolimer *fly ash* batubara maupun yang berbasis tanah lempung pada material komposit polimer cenderung menaikkan waktu awal pembakaran dan menurunkan waktu perambatan api. Kemampuan menaikkan waktu awal pembakaran dan kemampuan menurunkan waktu perambatan api ini membuktikan penambahan material limbah geopolimer mampu menaikkan sifat ketahanan bakar pada komposit polimer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai dalam skema Penelitian Dosen Pemula atau PDP tahun anggaran 2024 dengan perjanjian atau kontrak nomor 031 /LL6/PPM-V/AL.04/2024.

DAFTAR RUJUKAN

- Annual Book of ASTM Standars. (2003). *Standard Test Method for Rate of Burning and / or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position*.
- Cahyono, E. A., Sutomo, & Aris Hartono. (2019). Literatur Review ; Panduan Penulisan dan Penyusunan. *Jurnal Keperawatan*, 12(2).
- Diana, L., Safitra, A. G., & Ariansyah, M. N. (2020). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 4(2), 59–67.
- Diharjo, K, Prasetya, Y., Masykuri, M., & Suharty, N. S. (2020). Fly ash / ripoxy composite : Inflammability on horizontal and surface burning Fly Ash / Ripoxy. In *1st International Seminar on Advances in Metallurgy and Materials (i-SENAMM 2019)* (Vol. 030009).
- Diharjo, Kuncoro, Afandi, R., Purwanto, A., Suharty, N. S., & Jihad, B. H. (2013). Adhesive Nanosilica / Aluminium Powder - Epoxy for Joint Application on Composite Car Body of Electrical Vehicle, 13–17.
- Diharjo, Kuncoro, & Firdaus, F. (2007). Fire Resistance of Fly Ash - Polyester. *Jurnal Teknik Gelagar*, 18(February), 86–94.
- Diharjo, Kuncoro, Jamasri, & Firdaus, F. (2007). Effect of Particulate Size of Fly Ash and Fly-Ash Weight Fraction To Flexural Properties of Fly Ash –Polyester Composite. In *International Conference On Chemical Sciences (ICCS-2007)* (pp. 24–26).
- Halauddin. (2017). Pengaruh Penambahan Sekam Padi dan Polimer Emulsi *Polyvinyl Acecate Co Acrylic* pada Tanah Lempung Dengan Objek Pengujian Kekuatan Batu Bata Menggunakan Metode Uniaxial. *Jurnal Inersia*, 9(1), 39–46.
- Harjani, C., Noviandri, P., Kristen, U., & Wacana, D. (2019). Desain partisi penyerap noise berbahan komposit kain perca. *Lintas Ruang*, (August). <https://doi.org/10.24821/lintas.v7i1.3064>
- Kuncoro Diharjo, Suharty, N., Nusantar, A., & Afandi, R. (2015). The Effect of Sokka Clay on the Tensile and Burning Properties of rPP / Clay Composite. *Advanced Materials Research*, 1123, 338–342. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1123.338>
- Nurdin, A., Hastuti, S., D, H. P., & Rino, H. (2019). Pengaruh Alkali dan Fraksi Volume terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Akar Wangi – Epoxy. *ROTASI*, 21(1), 30–35.
- Nurdin, A., & Himawanto, D. A. (2019). Studi numerik kekuatan material transmisi roda gigi pico hydro. *JTMI*, 14(1), 24–29.
- Paunda, F., Imad, K., Muhyi, A., Sumardi, O., & Rojikin, S. (2022). Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Serat Ampas Tebu Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Bermatrik Polyester. *Jurnal Foundry*, 5(1), 12–18.
- Prasetyo, B. D., Diharjo, K., Ariawan, D., Suharty, N. S., & Masykuri, M. (2020). Flexural and inflammability properties of FA / CF / Phenolic hybrid composite Flexural and Inflammability Properties of FA / CF / Phenolic Hybrid Composite. In *1st International Seminar on Advances in Metallurgy and Materials (i-SENAMM 2019)* (Vol. 030006). AIP Publishing.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0021602>

- Priyanto, K. (2015). Kekuatan Bending dan Ketahanan Bakar Komposit Hybrid Serat Gelas, Serat Karbon, dan Serbuk Genteng Sokka Dengan Matriks Bisphenol-A. Universitas Sebelas Maret.
- Putra, F. U., Paundra, F., Muhyi, A., Hakim, F., Triawan, L., & Aziz, A. (2023). Pengaruh Variasi Tekanan dan Fraksi Volume Pada Hybrid Composite Serat Sabut Kelapa dan Serat Bambu Bermatriks Resin Polyester Terhadap. *Jurnal Foundry*, 6(1), 8–15.
- Siswanto, & Diharjo, K. (2011). Pengaruh Fraksi Volume dan Ukuran Partikel Komposit *Polyester* Resin Berpenguat Partikel Genteng Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Bending. *Politeknosains Vol.*, X(2), 91–99.
- Sutrisno, Hari, S. Y., & Mustafa. (2016). Pengaruh Serbuk Geomaterial pda Komposit. In Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan *IV 2016* (pp. 117–122).
- Tarigan, R. A. P. (2013). Pengaruh Fraksi Berat Dan Ukuran Serbuk Genteng Sokka Terhadap Ketahanan Bakar Komposit Geopolimer. Universitas Sebelas Maret.
- Zhou, J., Yao, Z., Chen, Y., Wei, D., & Wu, Y. (2013). Thermomechanical analyses of phenolic foam reinforced with glass fiber mat. *Materials and Design*, 51, 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.030>