

Pemanfaatan Limbah Pasir CO₂ sebagai Material Anti Bakar pada Komposit Polimer Berpenguat Serat Ijuk

Akhmad Nurdin^{1*}, Muhamad Dwi Nugroho², Muhammad Zulfa Bayu Saputra²,
Adinda Tania Sheeva Alip², Ridwan Afandi²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Universitas Tidar

²Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Ceper
Kab Klaten, Jawa Tengah, Indonesia

*E-mail: akhmadnurdin.89@gmail.com

Abstrak

Era industrialisasi saat ini menjadi persoalan serius tentang penanganan limbah hasil manufaktur dari sebuah produk. Saat ini sebagian besar industri pengecoran logam menggunakan pasir sebagai cetakan, salah satu jenis cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir CO₂ yang terdiri dari pasir silika yang berpengikat *waterglass* dan Gas CO₂ dengan sifat yang hanya bisa dipakai beberapa kali sehingga penggunaannya terbatas dan cenderung menghasilkan limbah. Pasir silika disusun sebagian besar SiO₂ yang memiliki ketahanan bakar yang baik, sehingga dapat digunakan sebagai material antibakar pada material komposit polimer berpenguat serat alam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah pasir CO₂ pada fraksi volume 0%, 5%, 10%, dan 15% pada volume matrik *polyester* dengan penguat serat ijuk terhadap karakteristik ketahanan bending dan ketahanan bakar. Limbah pasir CO₂ yang telah hancur dengan tingkat kehalusan 50 mesh dicampur dengan resin poliester sebagai matrik, selanjutnya dituang secara *hand layup* pada serat ijuk acak yang telah disiapkan dalam cetakan. Pengujian penelitian ini meliputi pengujian ketahanan bending, dan pengujian ketahanan bakar dengan menghitung waktu awal pembakaran. Berdasarkan hasil pengujian penambahan limbah pasir CO₂ mempengaruhi nilai uji bending dan uji bakar yang saling berbanding terbalik. Pada penambahan fraksi volume pasir CO₂ 5% terhadap volume matrik merupakan variasi yang direkomendasikan untuk diterapkan.

Kata kunci: komposit, serat alam, ketahanan bakar, pasir CO₂, uji bakar

1. Pendahuluan

Komposit merupakan gabungan material yang tersusun lebih dari satu material secara makroskopik yang memiliki sifat berbeda dan tanpa ikatan secara atom [1]. Perkembangan dan penelitian material komposit polimer saat ini bergeser dari serat sintesis menjadi serat yang berasal dari alam, dengan keunggulan massa jenis ringan dan ramah lingkungan [1]. Salah satu serat alam yang dimanfaatkan untuk komposit polimer dengan ketersediaannya melimpah yaitu serat ijuk [2][3]. Serat alam pada dasarnya merupakan material biomassa yang memiliki sifat mudah terbakar [4], selain itu polimer atau plastik merupakan produk turunan yang berasal dari minyak bumi [5] sehingga juga mudah terbakar. Komposit polimer telah banyak diterapkan pada bidang otomotif mulai dari material interior sampai bodi kendaraan bermotor [6]. Dalam perkembangannya, sektor otomotif harus memiliki material dengan ketahanan bakar yang baik [7].

Era industrialisasi saat ini menjadi persoalan serius tentang penanganan limbah sehingga harus dilaksanakan pengolahan limbah agar dapat meminimalisir acaman terhadap lingkungan, hal ini merupakan konsep yang disebut dengan *zero waste industri* [8]. Sebagian besar industri pengecoran logam menggunakan pasir sebagai cetakan [9].

Salah satu tipe pasir yang digunakan adalah pasir CO₂, yang tersusun material pasir silika berpengikat polimer tipe *waterglass* selanjutnya dikeraskan gas CO₂ [10]. Komposisi limbah pasir CO₂ pada dasarnya didominasi oleh silika dan alumina yang merupakan unsur keramik geopolimer dan memiliki titik bakar mencapai 1400°C – 1500°C [11]. Limbah cetakan pasir CO₂ (Gambar 1) ini sulit untuk digunakan ulang secara fungsional [12], sehingga sulit untuk menerapkan konsep *zero waste industri*.



Gambar 1. Limbah pasir CO₂ [10]

Pada komposit serat alam ikatan antara serat dan matrik dapat ditingkatkan dengan menghilangkan sifat lilin pada serat alam, salah satu menggunakan metode rendaman larutan alkali. Semakin kuat ikatan antara serat dan matrik secara langsung akan semakin menaikkan sifat mekaniknya [1]. Sifat mekanik dari komposit juga dipengaruhi oleh perbandingan komposisi antara serat, matrik, maupun filler atau disebut fraksi volume [13]. Pengujian beban mekanik pada komposit polimer untuk mengetahui karakteristik-nya meliputi uji tarik [13], uji bending, uji impak [1], serta uji bakar [14]. Material komposit polimer dengan penambahan unsur material keramik sebagai filler secara langsung berdampak positif terhadap sifat ketahanan bakarnya [15][16]. Pada dasarnya keramik memiliki sifat getas dan hal ini secara langsung mempengaruhi karakteristik mekanik material aslinya [14], sehingga diperlukan perbandingan komposisi antara serat, matrik, maupun filler yang tepat untuk mendapat kinerja yang optimal.

Komposisi antara serat sebagai penguat dan matrik sebagai pengikat akan mempengaruhi kinerja mekanik komposit polimer. Hasil riset pengaruh penambahan serat alam menggunakan serat ijuk berdasarkan parameter fraksi volume dengan pengikat polyester mempengaruhi karakter ketahanan impak. Variasi fraksi volume yang digunakan 35%, 40%, 45%, dan 50%. Preparasi serat ijuk sebelum dicetak komposit dilakukan treatment perendaman alkali menggunakan NaOH 5% selama 2 jam. Riset ini menunjukkan semakin bertambah fraksi volume serat sampai 50%, maka nilai energi yang mampu diserap komposit semakin besar [17]. Riset ukuran butir serbuk *sokka clay* dengan ukuran partikel mesh 80, 150, 200 sebagai *filler* juga mempengaruhi sifat ketahanan bakar pada komposit *clay-repoxy*. Hasil penelitian menunjukkan semakin kecil butiran partikel sampai ukuran mesh 200 menunjukkan nilai waktu penyalaan api cenderung semakin menurun, dan kecepatan pembakaran cenderung semakin naik. Berdasarkan nilai ketahanan bakar tersebut, komposit *sokka clay-riproxy* dikategorikan baik/mampu menahan laju pembakaran api. Penambahan material serbuk keramik geopolimer secara langsung akan merubah karakter ketahanan bakar pada komposit polimer. Riset penambahan serbuk abu terbang batubara atau *fly ash* (kandungan 90% silika oksida) dengan penambahan 0% sampai 50% pada komposit bermatrik *riproxy* berpengaruh terhadap nilai ketahanan bakarnya. Hasil studi ini menunjukkan penambahan komposisi *fly ash* sampai 50% menambah ketahanan panas material dengan nilai awal penyalaan api dari 4,36 detik pada tanpa penambahan sampai 12,39 detik pada penambahan 50% dan nilai perambata api turun dari 22,37 mm/menit pada tanpa penambahan sampai 12,96 mm/menit dengan penambahan 50% [18].

Pada dasarnya material keramik geopolimer cenderung bersifat getas, dan akan berpengaruh terhadap sifat mekanik jika ditambahkan pada material komposit polimer, sehingga komposisi serbuk geopolimer perlu dikontrol. Riset

penambahan serbuk geopolimer menggunakan bata ringan dengan kandungan dominasi silika oksida pada komposit polimer secara langsung mempengaruhi karakteristik ketahanan bending pada komposit bermatrik *ripox*. Pada penambahan dengan ukuran meshing 50 menunjukkan nilai tegangan bending yang dapat diterima akan menurun dibanding tanpa serbuk bata ringan, dan nilai ini akan semakin menurun pada ukuran mesh 100 dan 150, namun pada ukuran mesh 200 nilai tegangan bending yang mampu diserap komposit sampai patah naik dibandingkan ukuran mesh 150. Sedangkan penambahan fraksi volume 15% serbuk bata ringan akan menurunkan ketahanan bending komposit selanjutnya terus menurun sampai penambahan fraksi volume 60% [14].

Berdasarkan beberapa sumber yang telah ditelaah, perbandingan komposisi serat alam, matrik, dan filler mempengaruhi karakteristik mekanik dan ketahanan bakar komposit polimer, sehingga pada riset ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah pasir CO₂ 0%, 5%, 10%, dan 15% pada volume matrik *polyester* komposit serat ijuk terhadap ketahanan bending dan ketahanan bakar. Riset ini secara langsung bermanfaat untuk mengurangi limbah pasir CO₂, menaikkan nilai keekonomian limbah pasir CO₂, dan mengembangkan material maju yang bersifat aplikatif.

2. Metodologi

Alat yang digunakan untuk pembuatan spesimen, meliputi : disk mill digunakan untuk menghaluskan limbah pasir CO₂ menjadi serbuk, ayakan sieve mesh 50 digunakan untuk mengayak limbah pasir CO₂, timbangan digital digunakan untuk menimbang serat dan filler-matrik, oven listrik digunakan untuk menurunkan kadar air pada serbuk limbah pasir CO₂, Satu set pembuat cetakan press baja untuk pembuatan komposit, dan alat permesinan yang meliputi gerinda dan mesin amplas. Sedangkan bahan yang dibutuhkan, meliputi : limbah Pasir CO₂ di sekitar industri pengecoran logam, serat Ijuk dengan ukuran dan orientasi yang merujuk pada penelitian Salahudin dkk., (2021) menggunakan serat ijuk dengan orientasi “straight” 9 cm, resin polyester dan katalis mekpo dengan penggunaan 2,9% dari berat resin total (Diharjo dkk., 2015), *wax glass mirror* untuk anti lengket pada cetakan, dan NaOH 5% untuk proses alkali

Komposit polimer yang menjadi subyek pada penelitian ini merujuk penelitian yang dilakukan oleh Salahudin dkk., (2021) menggunakan serat ijuk sebagai penguat dengan variasi fraksi volume serat 50%, untuk memperoleh ketahanan beban impak paling tinggi. Selain itu penambahan filler silika oksida dan alumina oksida sebagai peningkatan ketahanan bakar merujuk pada penelitian Tarigan (2013). Setelah alat dan bahan yang diperlukan telah disiapkan dipastikan bersih dari kotoran, selanjutnya dilakukan tahap dipotong sepanjang 9 cm, kemudian perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 5% selama 2 jam dan dikeringkan dalam kondisi suhu ruang [17]. Pengolahan limbah pecahan pasir CO₂ menggunakan alat *disc mill machine* sampai menjadi serbuk, setelah itu serbuk diayak atau *sieving* menjadi dengan ukuran butir mesh 50 [14].

Pembuatan cetakan dari baja menerapkan pembuatan komposit polimer dengan metode *press hand lay-up*. Cetakan disiapkan berdasarkan ukuran dari spesimen pengujian yang sesuai standar, ASTM D790-02 untuk pengujian beding dan ASTM D-635 untuk pengujian ketahanan bakar. Setelah cetakan dan serbuk limbah pasir CO₂ telah siap, tahap selanjutnya ini mencetak spesimen, dengan langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan cetakan baja yang telah dilapisi astralon dan *wax* supaya spesimen mudah dilepas dari cetakan.
2. Menyiapkan ijuk yang telah dipotong 9cm dengan fraksi volume 50% terhadap total volume, ke dalam cetakan.
3. Mencampur resin poliester dan katalis mekpo 2.9% dari berat resin atau campuran ini disebut matrik.

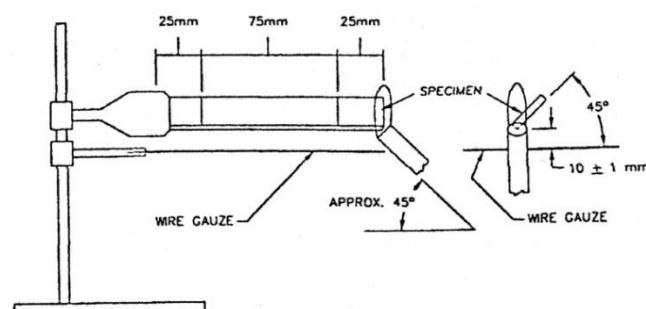
4. Resin poliester dan katalis yang telah tercampur dengan promotor dan katalis ditambahkan serbuk limbah pasir CO₂ dengan variasi fraksi volume poliester-Serbuk limbah pasir CO₂ 0%,5%, 10%, dan 15% dengan ukuran butir mesh 50
5. Menuangkan matrik dan serbuk limbah pasir CO₂ ke cetakan dan diratakan dengan cara *hand lay-up*.
6. Kemudian menutup cetakan dengan baja yang terlebih dahulu diberi lapisan astralon yang diolesi dengan wax.
7. Memberi pembebanan press pada cetakan baja, selanjutnya cetakan dapat dibuka setelah 24 jam.
8. Mengukur spesimen komposit untuk memastikan kesesuaian dengan standar pengujian yang akan dilakukan.

Setelah spesimen jadi dan sesuai dengan standar pengujian, seluruh spesimen diberi perlakuan post curing pada suhu 80⁰ Celcius selama 120 menit untuk menghilangkan tegangan sisa dalam komposit saat pengerasan resin. Pengujian bending pada penelitian ini menggunakan universal testing machine atau UTM untuk polimer. Untuk pengujian bending menggunakan standar ASTM D790-02 dengan metode *three point bending*, sedangkan pengujian bakar dilakukan sesuai dengan standar ASTM D-635, yaitu pembakaran dilakukan dengan mengatur posisi burner pada sudut 45 derajat dan panjang sampel masuk kedalam api adalah 6 mm selama 30 detik, skema uji bakar ditunjukkan Gambar 2.

Berdasarkan Hasil Uji XRF pada limbah pasir CO₂ di UPT Laboratorium Universitas Diponegoro Semarang menunjukkan didominasi oleh unsur SiO₂ Silika Dioksida dengan presentase 63,9%, selanjutnya diikuti unsur Al₂O₃ Alumina Oksida 2,4%. Unsur Silika Dioksida dan Alumina Oksida ini merupakan kategori keramik geopolimer yang memiliki ketahanan bakar yang mencapai 1400⁰C – 1500⁰C [11].

Tabel 1. Komposisi Limbah Pasir CO₂

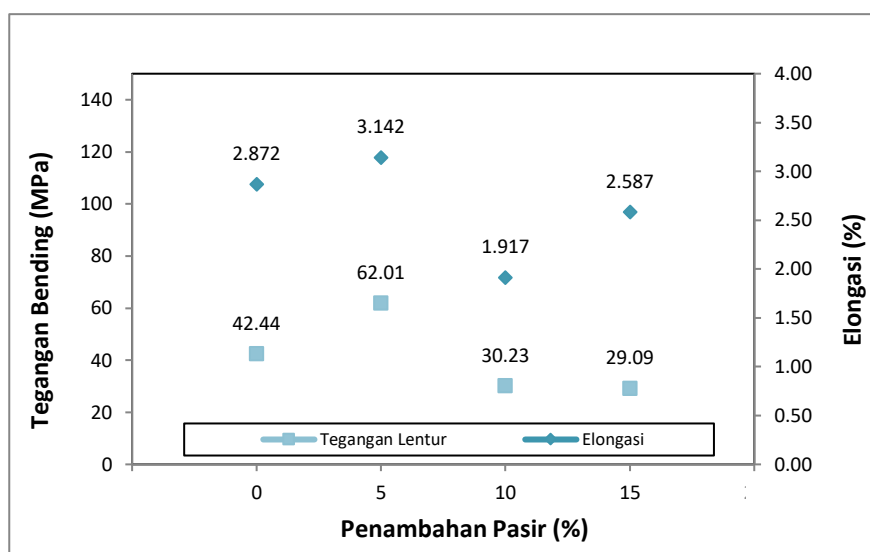
Component	Result (%)
MgO	0.265
Al ₂ O ₃	2.40
SiO ₂	63.9
P ₂ O ₅	0.0501
SO ₃	0.0642
Cl	0.0164
K ₂ O	0.0994
CaO	0.193
Fe ₂ O ₃	0.335
ZnO	0.0073
ZrO ₂	0.0786
Balance	32.6



Gambar 2. Skema uji bakar horisontal Tarigan (2013)

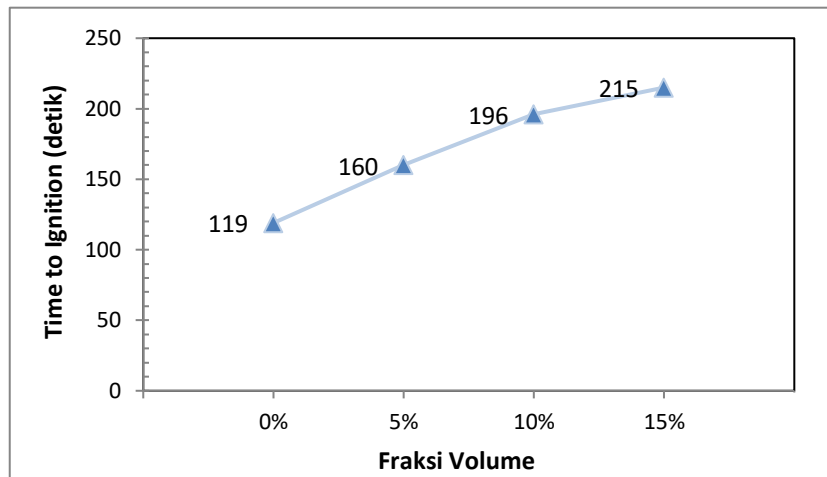
3. Hasil dan pembahasan

Hasil penelitian ini membahas tentang pengaruh fraksi volume filler dengan masing-masing menggunakan mesh 50 yang diplotkan dalam diagram tegangan bending dalam satuan MPa. Grafik tegangan bending ditunjukkan pada Gambar 3, grafik tersebut menyajikan pada penambahan 5% filler pasir CO₂ menunjukkan kenaikan nilai ketahanan terhadap beban bending dibandingkan tanpa menggunakan filler pasir CO₂. Kenaikan nilai tegangan bending penambahan 5% dibandingkan 0% ini disebabkan komposit yang diperkuat dengan partikel memiliki permukaan kontak yang lebih banyak dengan matriknya, sehingga saat terkena beban secara langsung, beban akan berpindah geser melalui filler dan serat, hal ini menyebabkan semakin besar permukaan kontakannya, maka kekuatan komposit akan lebih tinggi [20]. Namun nilai ketahan beban bending ini akan turun mencapai 50% pada penambahan filler pasir CO₂ 10%, selanjutnya menurun pada penambahan 15%. Penurunan nilai tegangan bending yang mampu diterima ini disebabkan material berbasis geopolimer merupakan material yang bersifat getas [21], sehingga komposit juga cenderung bersifat getas. Selain itu Gambar 2 juga menunjukkan semakin meningkat fraksi volume filler pasir CO₂ pada komposit maka elongisasi akan semakin rendah sehingga berpotensi menurunkan sifat ketahanan terhadap tegangan bendingnya [20].



Gambar 3. Nilai ketahanan beban bending

Metode pengujian ketahanan bakar dilakukan merujuk pada penelitian [15] menggunakan standar ASTM D-635, dengan *time to ignition* atau awal pembakaran dihitung saat melewati pembakaran 10 mm. Gambar 3 menunjukkan nilai waktu awal pembakaran semakin naik seiring dengan bertambahnya fraksi volume dari 119 detik pada penambahan 0% limbah pasir CO₂ sampai 215 detik pada fraksi volume 15%. Naiknya nilai awal pembakaran seiring semakin bertambahnya fraksi volume limbah pasir CO₂ disebabkan kandungan SiO₂ yang tahan suhu tinggi semakin banyak [6], sehingga dapat menahan laju bakar [15] [19]. Limbah pasir CO₂ pada komposit bersifat sebagai material keramik yang tidak mudah terbakar diantaranya mengandung SiO₂ and Al₂O₃ [22], hal ini sesuai dengan komposisi mayoritas pada limbah pasir CO₂ berasal dari material yang memiliki titik leleh yang tinggi. Sebagai material yang bersifat titik lelehnya tinggi, silika dioksida menyerap panas saat komposit terbakar [6], dengan mengurangi suplai bahan bakar sebagai salah satu syarat terjadi pembakaran [23] sehingga dapat menahan laju pembakaran [15].



Gambar 4. Pengaruh fraksi volume pasir CO₂ terhadap *time of ignition*

4. Kesimpulan

Hasil penelitian secara umum menunjukkan ketahanan uji bending dipengaruhi oleh fraksi volume matrik-filler, semakin banyak penambahan limbah pasir CO₂ karakteristik komposit cenderung semakin getas. Tren sebaliknya terjadi hasil uji bakar yang menunjukkan ketahanan bakar juga dipengaruhi fraksi volume matrik-filler dengan semakin banyak penambahan limbah pasir CO₂ karakteristik ketahanan bakar komposit lebih baik. Berdasarkan hasil pengujian tersebut nilai uji bending dan uji bakar yang saling berbanding terbalik. Sehingga pada penambahan fraksi volume pasir CO₂ 5% terhadap volume matrik merupakan variasi yang direkomendasikan untuk diterapkan.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Simbelmawa Dikti yang telah mendanai penelitian ini dalam skema Program Kreativitas Mahasiswa Riset Eksakta (PKM-RE) tahun anggaran 2024, serta institusi Politeknik Manufaktur Ceper yang telah memfasilitasi penelitian ini

Daftar Pustaka

- [1] A. Nurdin, S. Hastuti, H. P. D, and H. Rino, “Pengaruh Alkali dan Fraksi Volume terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Akar Wangi – Epoxy,” ROTASI, vol. 21, no. 1, pp. 30–35, 2019.
- [2] U. B. Surono and Sukoco, “Analisa Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Serat Ijuk Dengan Bahan Matrik Poliester,” in Prosiding Seminar Nasional XI “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2016 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta, 2016, no. 2009.
- [3] D. A. Ramadhan, F. Putri, and D. Arnoldi, “Analisis Ketangguhan Material Alternatif Komposit Serat Ijuk Dan Resin Polyester Sebagai Cover Body,” Mach. J. Teknol. Terap., vol. 2, no. 2, pp. 99–104, 2021.
- [4] K. Jayaprakash, A. Osama, R. Rajagopal, B. Goyette, and O. P. Karthikeyan, “Agriculture Waste Biomass Repurposed into Natural Fibers : A Circular Bioeconomy Perspective,” Bioengineering, vol. 9, no. 296, pp. 1–12, 2022.
- [5] B. Wajdi, Sarifudin, B. A. Novianti, L. Zahara, and E. Korespondensi, “Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) Dengan Metode Pirolisis Sebagai Energi Alternatif,” vol. 4, no. 1, pp. 100–112, 2020.

- [6] K. Diharjo and F. Firdaus, "Fire Resistance Of Fly Ash - Polyester," *J. Tek. Gelagar*, vol. 18, no. February, pp. 86–94, 2007.
- [7] Siswanto and K. Diharjo, "Pengaruh Fraksi Volume Dan Ukuran Partikel Komposit Polyester Resin Berpenguat Partikel Genteng Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending," *POLITEKNOSAINS VOL.*, vol. X, no. 2, pp. 91–99, 2011.
- [8] M. Nasir, E. P. Saputro, and S. Handayani, "Manajemen pengelolaan limbah industri," *BENEFIT J. Manag. dan Bisnis*, vol. 19, no. 2, pp. 143–149, 2015.
- [9] A. Pujianto, R. Faizah, A. Widiyanto, T. A. Putra, H. Prayuda, and F. Firdaus, "Pemanfaatan Limbah Bata Ringan Sebagai Bahan Penyusun Pengganti Pada Beton," *J. Bangunan*, vol. 26, no. 2, pp. 1–8, 2021.
- [10] S. I. Khasanah, N. R. Sesunan, and H. Abdillah, "Study of the Reclamation of Waste CO₂ Moulding Sand in," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 9, pp. 5454–5459, 2020.
- [11] F. Anggria et al., "Analisis pengaruh ukuran serbuk kaca pada pembuatan kanvas rem sepeda motor dengan pengisi serbuk piston bekas," *Jom FTeknik*, vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2016.
- [12] D. Idamayanti, A. Siswanto, R. Widodo, and A. B. Iskandar, "Wet Reclamation for Improving Properties of Waste Silica Sand from Foundry," *Int. J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 5, no. 5, pp. 19–23, 2018.
- [13] F. U. Putra, F. Paundra, A. Muhyi, F. Hakim, L. Triawan, and A. Aziz, "Pengaruh Variasi Tekanan Dan Fraksi Volume Pada Hybrid Composite Serat Sabut Kelapa Dan Serat Bambu Bermatriks Resin Polyester Terhadap," *J. Foundry*, vol. 6, no. 1, pp. 8–15, 2023.
- [14] R. Afandi and M. Munadi, "INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MESH SIZE AND FRACTION VOLUME ON," *J. Media Mesin*, vol. 24, no. 2, pp. 90–95.
- [15] R. A. P. Tarigan, "Pengaruh Fraksi Berat Dan Ukuran Serbuk Genteng Sokka Terhadap Ketahanan Bakar Komposit Geopolimer," Universitas Sebelas Maret, 2013.
- [16] S. B. Setiajit, K. Diharjo, and W. W. Raharjo, "The influence of magnesium oxide and montmorillonite on the flame retardant and flexural strength of fiber glass-unsaturated polyester composites" in *The 5th International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering 2019 (ICIMECE 2019)*, 2020, vol. 030150.
- [17] X. Salahudin et al., "Serat ijuk sebagai penguat komposit guna meningkatkan nilai ketangguhan impak," in *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan*, 2021.
- [18] K. Diharjo, A. Purwanto, J. A. Nasiri, and B. H. Jihad, "Sifat Tahan Api Dan Kekuatan Bending Komposit Geopolimer," in *Prosiding InSINas 2012*, 2012, no. February 2020, pp. 67–72.
- [19] Kuncoro Diharjo, N. Suharty, A. Nusantara, and R. Afandi, "The Effect of Sokka Clay on the Tensile and Burning Properties of rPP / Clay Composite," *Adv. Mater. Res.*, vol. 1123, pp. 338–342, 2015.
- [20] K. Diharjo, Jamasri, and F. Firdaus, "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)*, 2007, pp. 24–26.
- [21] Y. Hakim, E. Kusumastuti, and Jumaeri, "Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer dengan Penambahan Serat Eceng Gondok dan Serbuk Aluminium," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 3–10, 2017.
- [22] B. D. Prasetyo, K. Diharjo, D. Ariawan, N. S. Suharty, and M. Masykuri, "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), 2020, vol. 030006, no. September.

- [23] K. Diharjo, Y. Prasetya, M. Masykuri, and N. S. Suharty, “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), 2020, vol. 030009, no. September.