

## Karakterisasi Mekanik Komposit *Carbon Fiber-Eglass Acrylic* sebagai Bahan Struktur *Toe cap* pada *Safety shoes*

Hendrix Noviyanto Firmansyah\*, Widi Widayat, Karnowo, Tegar Unggul Pratama  
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50229  
\*E-mail: hendrix@mail.unnes.ac.id

Diajukan: 17-09-2024; Diterima: 03-12-2024; Diterbitkan: 21-12-2024

### Abstrak

Alat pelindung diri (APD) adalah seperangkat alat yang digunakan untuk melindungi diri dari bahaya kecelakaan kerja. *Safety shoes* adalah salah satu APD yang digunakan sebagai pelindung kaki dari benda jatuh. *Toe cap* adalah struktur utama *safety shoes* yang berperan dalam menahan dampak dari benda jatuh tersebut. Saat ini *toe cap* masih didominasi oleh material metal yang secara umum didasarkan pada kekuatan yang tinggi, namun metal memiliki massa yang tinggi dibandingkan dengan material polimer dan komposit. Oleh karena itu, terdapat perasaan kurang nyaman saat dipakai. Pemakaian jangka panjang dapat berdampak kurang baik bagi kesehatan kaki. Resiko jatuh saat menggunakan *safety shoes* semakin meningkat saat melakukan aktivitas, akibat perubahan pusat massa sehingga akan mengganggu keseimbangan. Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah menemukan material pembuat *toe cap* dari bahan yang ringan namun kuat menahan beban dampak. Pada penelitian ini dilakukan uji karakterisasi Impak dan Bending dengan standar pengujian ASTM D6110 dan ASTM D790. Material komposit variasi serat karbon/akrilik (CA), variasi serat kaca/akrilik (GA) dan variasi Serat karbon/serat kaca/akrilik (CGA). Spesimen dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dengan fraksi volume 60% serat dan 40% matriks. Secara umum, modus kegagalan yang terjadi pada uji bending adalah delaminasi. Dari hasil pengamatan patahan pada uji dampak menunjukkan semua spesimen tidak patah sempurna. Pada variasi CA menunjukkan kegagalan spesimen disebabkan kegagalan matriks, spesimen terdeformasi karena *debonding* dan delaminasi. Sedangkan pada variasi CGA dan GA terjadi *incomplete fiber failure*. Hasil uji bending menyebutkan jenis variasi CGA unggul jauh dari dua variasi lainnya dengan tegangan bending maksimum sebesar 208,70 MPa. Sedangkan pada uji dampak, jenis variasi yang unggul adalah CA dimana energi serap yang dihasilkan sebesar 12,45 J dengan harga dampak 197,70 kJ/m<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** ASTM; bending; dampak; komposit; *toe cap*

### Abstract

Personal protective equipment (PPE) is a set of tools used to protect oneself from the dangers of work accidents. *Safety shoes* are one of the PPE used as foot protection from falling objects. *Toe cap* is the main structure of *safety shoes* that plays a role in withstanding the impact of falling objects. Currently, *toe caps* are still dominated by metal materials which are generally based on high strength, but metal has a high mass compared to polymer and composite materials. Therefore, there is a feeling of discomfort when worn. Long-term use can have a negative impact on foot health. The risk of falling when using *safety shoes* increases when doing activities, due to changes in the center of mass which will disrupt balance. One solution to this problem is to find a material for making *toe caps* from materials that are lightweight but strong enough to withstand impact loads. In this study, Impact and Bending characterization tests were carried out with ASTM D6110 and ASTM D790 test standards. Composite materials are variations of carbon fiber/acrylic (CA), variations of glass fiber/acrylic (GA) and variations of carbon fiber/glass fiber/acrylic (CGA). The specimens were made using the *hand lay-up* method with a volume fraction of 60% fiber and 40% matrix. In general, the failure mode that occurs in the bending test is delamination. From the results of fracture observations in the impact test, all specimens did not break completely. In the CA variation, specimen failure was caused by matrix failure, the specimen was deformed due to *debonding* and delamination. While in the CGA and GA variations, *incomplete fiber failure* occurred. The bending test results stated that the CGA variation type was far superior to the other two variations with a maximum bending stress of 208.70 MPa. While in the impact test, the superior variation type was CA where the resulting absorbed energy was 12.45 J with an impact strength of 197.70 kJ/m<sup>2</sup>.

**Keywords:** ASTM; bending; impact; komposit; *toe cap*

### 1. Pendahuluan

*Safety shoes* adalah salah satu perangkat pelindung kaki saat melakukan pekerjaan dilapangan atau laboratorium yang dilengkapi dengan *toe cap* untuk mencegah cedera akibat benda jatuh [1,2]. *Toe cap* sebagai struktur utama *safety shoes* yang dirancang untuk melindungi jari kaki dari beban tekan / beban dampak. Secara umum material pembuat *toe cap* dapat

terbuat dari metal, polimer dan komposit. Saat ini *toe cap* yang terpasang pada *safety shoes* masih di dominasi oleh material metal yang cenderung lebih berat jika dibandingkan dengan sepatu harian biasa [3]. Alasan penggunaan material metal adalah karena kekuatan dan biaya produksi yang murah. Namun, material metal memiliki massa yang besar, sehingga akan terasa berat jika dipakai dan memungkinkan menimbulkan masalah bagi kesehatan jika digunakan secara terus menerus dan dalam jangka waktu yang lama. Hal tersebut dapat menimbulkan masalah keseimbangan pada tubuh penggunanya dan dapat memberikan resiko jatuh saat beraktifitas atau melewati rintangan di pekerjaannya[2].

Pendekatan yang dilakukan untuk memecahkan masalah tersebut adalah menggunakan bahan material yang ringan namun cukup kuat untuk menahan beban. Bahan material *toe cap* yang ringan, kuat dan tangguh adalah solusi dari masalah tersebut. Sehingga jenis material yang sesuai dengan persyaratan tersebut adalah komposit. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian sebelumnya tentang kajian variasi jenis material yang akan digunakan pada *toe cap safety shoes* menggunakan Metode Elemen Hingga, yang mana hasilnya adalah material komposit sebagai pilihannya [4].

Komposit memiliki keunggulan dari metal dan polimer yaitu memiliki kekuatan yang tinggi dengan massa yang rendah. Komposit hibrid menggunakan lebih dari satu jenis penguat dalam matriks yang sama dengan tujuan untuk mendapatkan efek sinergis dari sifat-sifat penguat terhadap sifat-sifat komposit secara keseluruhan [5]. Selain itu, dengan hibridisasi serat merupakan strategi yang menjanjikan untuk memperkuat material komposit [6]. Penggunaan resin *acrylic* sebagai pengganti resin epoxy telah banyak digunakan pada penelitian saat ini. Hal ini dikarenakan resin thermoplastic memiliki potensi sifat mekanik baik seperti resin thermoset, proses manufaktur dapat dilakukan pada suhu rendah dan dimungkinkan untuk daur ulang [7]. Penggunaan resin *acrylic* pada komposit sangat luas meliputi bidang manufaktur, transportasi, infrastruktur, dan bidang medis [8–16]. Kebaharuan pada penelitian ini adalah pengujian karakteristik komposit yang terdiri atas serat carbon/serat e-glass dengan menggunakan resin *acrylic* pada *toe cap*. Penelitian ini termasuk kedalam penelitian yang baru karena belum banyak aplikasi komposit hibrid serat carbon dan serat gelas dengan *acrylic* pengikatnya untuk aplikasi struktur *toe cap* pada *safety shoes*. Saat ini penggunaan *acrylic* hanya sebatas pada pengganti jari kaki palsu atau prostesis [17]. Secara teori dan simulasi, kajian penelitian untuk bahan pembuat *toe cap* telah dilakukan pada penelitian sebelumnya[4,18].

## 2. Material dan metodologi

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan 3 variasi komposit yang terbuat dari serat carbon dan serat e-glass dengan menggunakan resin *acrylic* yang kemudian akan diuji impact dan uji bending. Jenis serat karbon dan serat gelas yang digunakan adalah jenis anyaman. Sedangkan resin *acrylic* yang digunakan adalah jenis liquid dengan serbuk hardener. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D790 dan ASTM D6110 [19,20].

**Tabel 1.** Dimensi spesimen dan jenis pengujian

Standar pengujian	Jenis pengujian	Dimensi
ASTM D790	Bending test	127 mm x 12,7 mm x 6 mm
ASTM D6110	Impact test	127 mm x 12,7 mm x 6,2 mm

Pembuatan spesimen komposit menggunakan metode *hand lay-up*. Komposisi penyusun komposit dengan perbandingan fraksi massa 60% serat penguat dan 40% matriks pada pengujian bending, 60% serat penguat dan 40% matriks pada pengujian impact, dan pada spesimen dengan serat campuran (*carbon fiber* dan *e-glass fiber*) dengan komposisi 30% serat karbon, 30% serat e-glass, dan 40% matriks. Detail pembagian komposisi komposit sebagai berikut:

1. Spesimen CA ( 40% *Acrylic* resin + 60% *Carbon* )
2. Spesimen GA ( 40% *Acrylic* resin + 60% *Eglass* )

3. Spesimen CGA ( 40% *Acrylic resin* + 30% *Carbon* + 30% *Eglass* )

Hasil pengujian dapat dihitung menggunakan persamaan bending dan *impact*.

Kekuatan bending didapat menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \tag{1}$$

Keterangan:  $\sigma_b$  adalah tegangan bending, P adalah beban, L adalah panjang spesimen, b adalah lebar spesimen dan d adalah tinggi spesimen.

Energi impact didapat menggunakan persamaan berikut:

$$E_s = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \tag{2}$$

Keterangan:  $E_s$  adalah energi yang diserap, m adalah massa spesimen, g adalah percepatan gravitasi,  $\lambda$  adalah panjang lengan pendulum,  $\beta$  adalah sudut akhir dan  $\alpha$  adalah sudut awal.

### 3. Hasil dan pembahasan

#### 3.1 Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan di Laboraturium Nurtanio, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto. Proses pengujian dimulai dengan pengecekan alat uji dan pemasangan alat untuk uji bending dengan 3 titik tumpu.



**Gambar 1.** Spesimen uji bending

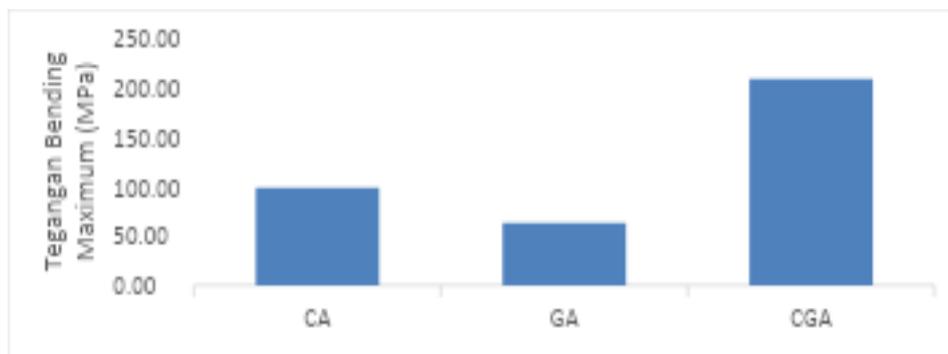
Hasil uji menunjukkan variasi CGA adalah jenis variasi yang menerima beban paling besar di antara semua spesimen. Beban terbesar terjadi pada variasi CGA spesimen yang ke-3 dengan nilai 82,235 kgf. Untuk variasi CA. beban terbesar terjadi pada spesimen ke-2 yaitu sebesar 39,185 kgf. Sedangkan variasi GA menerima beban maksimum pada spesimen ke-2 sebesar 25,221 kgf. Dari data tersebut selanjutnya diolah untuk mendapatkan tegangan rata-rata. Rata-rata nilai gaya pada variasi CGA adalah 789,86 N. Sedangkan pada variasi CA dan GA secara berurutan adalah 374,87 N dan 238 N. Dengan diketahui besarnya gaya yang terima, selanjutnya adalah menentukan besarnya tegangan yang terjadi pada spesimen. Data besarnya gaya dan tegangan tersaji pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Tegangan bending

No	Kode	Beban (kgf)	P (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	Tegangan (MPa)	Tegangan rata-rata (MPa)
1	CA	37,216	365,09	80	12,7	6	95,82	98,39
2		39,185	384,4	80	12,7	6	100,89	

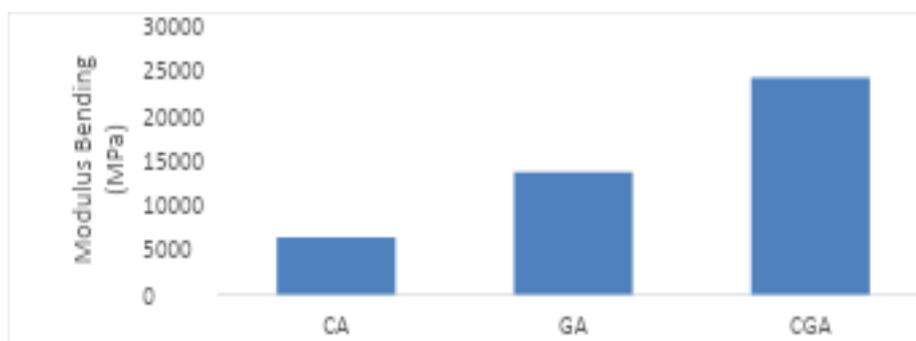
3		38,237	375,11	80	12,7	6	98,45	
1		23,494	230,48	80	12,7	6	60,46	
2	GA	25,221	247,42	80	12,7	6	65,85	62,74
3		24,068	236,11	80	12,7	6	61,92	
1		77,733	762,56	80	12,7	5,98	201,83	
2	CGA	81,43	798,83	80	12,7	5,98	211,43	209,05
3		82,385	808,2	80	12,7	5,98	213,91	

Tegangan maksimum dimiliki oleh variasi CGA dengan nilai 209,05 MPa. Jika dibandingkan dengan variasi CA, maka variasi CGA 112,47 % lebih besar. Sedangkan pada variasi GA yang memiliki nilai tegangan 62,74 MPa memiliki persentase perbedaan 233,21% jika dibandingkan dengan CGA.



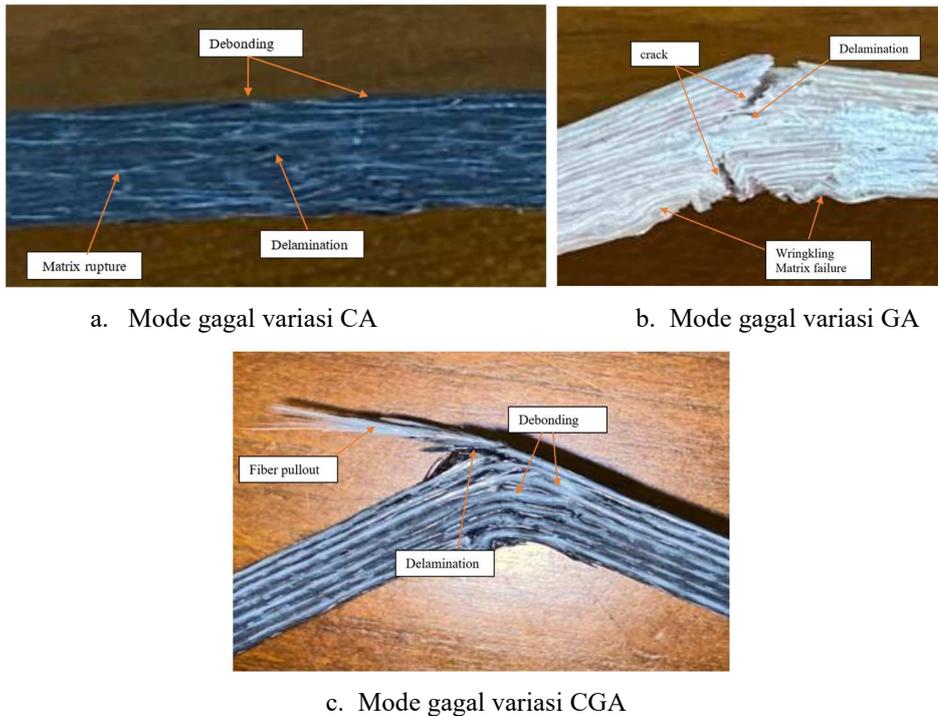
**Gambar 2.** Grafik tegangan bending maksimum

Nilai tegangan bending maksimum menggunakan material *carbon/eglass fiber* sesuai dengan nilai tegangan bending yang dilakukan pada penelitian sebelumnya dimana nilai tegangan maksimum dengan menggunakan serat karbon lebih tinggi dibandingkan dengan serat kaca pada pengujian bending [21]. Selain menentukan tegangan yang terjadi saat uji bending, modulus lentur juga dicari untuk memberikan informasi mengenai kekakuan dan respon saat pembebanan bending diberikan. Untuk menentukan modulus bending, langkah yang dilakukan adalah membuat grafik tegangan vs regangan dan mencari daerah elastis untuk didapatkan nilai modulusnya. Pada langkah ini akan menggunakan persamaan linier dari perangkat lunak *microsoft excel* untuk mendapatkan nilai modulus bending. Berikut adalah tampilan grafik nilai modulus lentur pada variasi jenis material.



**Gambar 3.** Grafik modulus (*flexural modulus*)

Masih sama seperti pada nilai tegangan maksimum, nilai modulus variasi CGA memiliki nilai yang tertinggi sebesar 24.205 MPa. Namun pada variasi CA yang pada nilai tegangan maksimal menempati urutan ke-2 berubah menjadi urutan ke-3 atau terakhir digantikan oleh variasi GA dengan nilai 13.683 MPa. Sedangkan nilai modulus variasi CA sebesar 6.327,4 MPa. Memiliki modulus yang tinggi dapat diartikan bahwa material dapat menahan beban yang tinggi dengan hanya sedikit deformasi. Sehingga dari pengujian bending dapat rekomendasikan bahwa variasi CGA merupakan pilihan terbaik dari variasi lainnya.

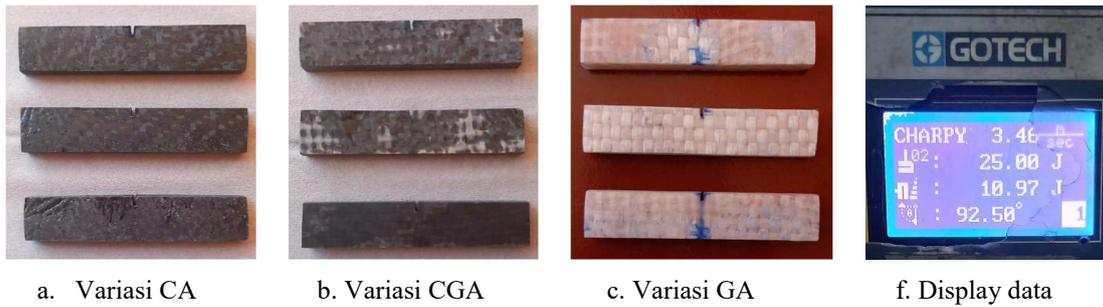


**Gambar 4.** Identifikasi jenis kegagalan spesimen hasil uji bending

Modus kegagalan yang terjadi pada spesimen bisa dilihat pada gambar 4. Jenis kegagalan yang terjadi pada variasi CGA (Gambar 4.c) adalah jenis *debonding*, *fiber pullout* dan *delamination*. Pada variasi CA (gambar 4.a) jenis kegagalan yang terjadi adalah *matrix failure*, *delamination* dan *debonding*. Sedangkan pada variasi GA (gambar 4.b) terjadi kegagalan karena *cracking*, delaminasi dan *wringkling*. Delaminasi yang terjadi pada semua variasi dikarenakan ikatan matrik dalam komposit tidak dapat menahan beban yang terjadi, sehingga terlepasnya lamina susunan komposit. Resin akrilik tidak cukup kuat untuk menahan beban yang diberikan, sehingga gagal sebelum serat rusak. Hal ini menyebabkan kehilangan kekakuan pada komposit yang memicu terjadinya *wringkling* pada variasi GA. Kegagalan pada semua variasi memiliki daerah yang sama, yaitu daerah permukaan spesimen. Ini dikarenakan pada permukaan spesimen menerima beban paling tinggi selama proses pengujian. Sehingga kegagalan terjadi seperti *fiber break* atau *cracking* dimulai pada lapisan permukaan. Pada permukaan yang dalam menerima tegangan tekan dengan ciri terjadinya *wringkling*, sedangkan pada bagian luar akan menerima tegangan tarik yang menyebabkan *crack* atau *fiber pullout*.

### 3.2 Pengujian impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan metode Charpy. Spesimen yang disiapkan adalah 3 buah pada tiap variasi. Kegiatan pengujian dimulai dengan memasang spesimen pada alat dan melepaskan pendulum supaya menghantam spesimen. Besarnya energi dan sudut pendulum tercatat pada alat.



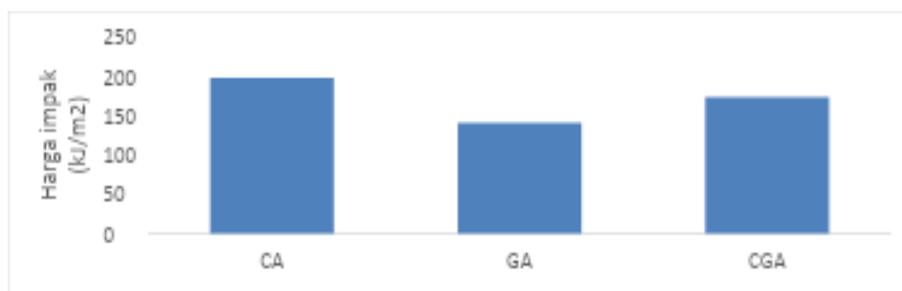
**Gambar 5.** Spesimen pengujian impak

Variasi CA adalah spesimen yang memiliki energi yang paling tinggi dengan rata-rata sebesar 12,45 Joule. Sedangkan pada variasi CGA dan variasi GA nilai rata-rata energi yang diserap adalah 10,92 Joule dan 8,87 Joule dengan Persentase selisih 12, 29% dan 28,81%. Setelah semua data diambil, langkah selanjutnya adalah menentukan Harga Impak (HI) spesimen. HI didapatkan dari membagi energi yang terserap dengan luas permukaan spesimen. Nilai HI pada masing-masing spesimen tersaji pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Harga impak

No	Kode	A (mm <sup>2</sup> )	$\beta$ (°)	E (Joule)	Rata-rata E (Joule)	HI (J/mm <sup>2</sup> )	Rata - rata HI (J/mm <sup>2</sup> )	Rata - rata HI (kJ/m <sup>2</sup> )
1		62,99	83,05	13,18		0,21		
2	CA	62,99	88,65	11,87	12,45	0,19	0,20	197,70
3		62,99	85,76	12,31		0,20		
1		62,99	84,20	8,78		0,14		
2	GA	62,99	103,40	8,50	8,87	0,13	0,14	140,74
3		62,99	99,80	9,32		0,15		
1		62,99	92,50	10,97		0,17		
2	CGA	62,99	88,10	11,16	10,92	0,18	0,17	173,40
3		62,99	94,10	10,64		0,17		

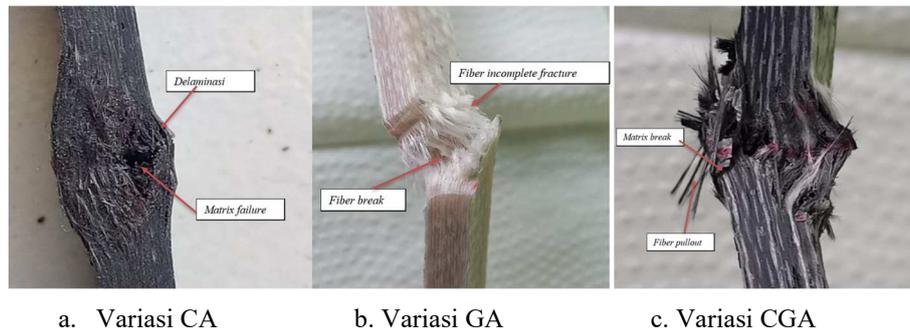
Seperti terlihat pada Tabel 4 harga impak (HI) rata-rata CA sebesar 197,70 kJ/m<sup>2</sup> adalah yang tertinggi dari semua variasi. Nilai ini liner dengan besarnya energi yang diserap. Variasi CGA memiliki rata-rata HI sebesar 173, 40 kJ/m<sup>2</sup> dan 140, 74 kJ/m<sup>2</sup> adalah besarnya HI untuk variasi GA. Grafik harga impak variasi komposit tersaji pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik Harga Impak

Hasil dari pengamatan patahan menunjukkan semua spesimen tidak patah sempurna. Pada variasi CA menunjukkan kegagalan pada spesimen disebabkan kegagalan matrik. Terlihat pada variasi ini tidak tampak adanya serat yang patah saat menerima impak. Yang terjadi spesimen terdeformasi karena *debonding* dan delaminasi. Sedangkan pada variasi CGA dan

GA terjadi *incomplete fiber failure*. Terlihat patahan serat secara jelas pada permukaan spesimen. Pada variasi CGA terjadi juga delaminasi dan *debonding* seperti pada variasi CA. Hal ini dikarenakan ikatan antara serat dengan matrik gagal saat pengujian. Matrik yang digunakan tidak cukup kuat untuk menahan impact.



**Gambar 7.** Jenis kegagalan komposit hasil uji impact

Pada pengujian impact arah serat dan jumlah layer sangat berpengaruh pada nilai impact. Terjadi karena arah serat  $90^\circ$  memiliki arah transversal, dikarenakan serat karbon memiliki arah bidirectional dapat menahan patahan horizontal [22]. Laminasi dengan dominasi serat karbon mampu meningkatkan nilai kekuatan impact pada material *hybrid composite carbon/eglass fiber* dibandingkan dengan serat kaca [23].

#### 4. Kesimpulan

Komposit yang dibuat sebagai material kandidat pembuatan *toe cap* pada sepatu keselamatan (*safety shoes*) adalah komposit yang terbuat dari serat karbon/akrilik (CA), Serat kaca/akrilik (GA), dan Serat karbon/Serat kaca/Akrik (CGA). Hasil pengujian bending menunjukkan jenis komposit CGA memiliki kemampuan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan variasi lainnya. Jenis variasi CGA unggul jauh dari dua variasi lainnya dengan tegangan bending maksimum sebesar 208,70 MPa. Namun pada pengujian impact jenis variasi CA yang memiliki nilai yang tertinggi dengan energi serap yang dihasilkan sebesar 12,45 J dengan harga impact 197,70 kJ/m<sup>2</sup>. Hasil ini lebih besar 12,29% jika dibandingkan dengan variasi CGA. Jika dilihat dari total keseluruhan, jenis variasi CGA merupakan jenis variasi yang memenuhi kriteria sebagai bahan pembuat komposit. Saran pada penelitian selanjutnya adalah pembuatan dan pengujian prototipe dengan apparatus uji impact yang disesuaikan dengan Standard Internasional.

#### Ucapan Terimakasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang atas biaya penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Bianchi I, Forcellese A, Simoncini M, Vita A, Castorani V, Arganese M, De Luca C. Life cycle impact assessment of safety shoes toe caps realized with reclaimed composite materials *J. Clean. Prod.* 2022; 347: 131321.
- [2] Boysen M D, Munk-Hansen M, Steffensen M, Holsgaard-Larsen A, Madeleine P. The biomechanical differences of wearing safety shoes compared with everyday shoes on dynamic balance when tripping over an obstacle *Appl. Ergon.* 2023; 111: 104040.
- [3] FX Laksana Agung Saputra. Kecelakaan Kerja Makin Marak dalam Lima Tahun Terakhir. 2024 . *bpjsketenagakerjaan.go.id*
- [4] Firmansyah H N, Anggoro A B and Safriana E. Kajian Awal Material Pembuat Toe Cap (Safety Shoes) menggunakan Metode Elemen Hingga *J. Rekayasa Mesin.* 2021; 16: 379.
- [5] Shahzad A. Investigation into fatigue strength of natural/synthetic fiber-based composite materials *Mechanical and*

*Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. 2018.

- [6] Aranda M T, Leguillon D. Prediction of failure of hybrid composites with ultra-thin carbon/epoxy layers using the Coupled Criterion *Eng. Fract. Mech.* 2023; 281: 109053.
- [7] Kinvi-Dossou G, Matadi Boumbimba R, Bonfoh N, Garzon-Hernandez S, Garcia-Gonzalez D, Gerard P, Arias A. Innovative *acrylic* thermoplastic composites versus conventional composites: Improving the impact performances *Compos. Struct.* 2019; 217: 1–13.
- [8] Gharebagh T G, Hamedirad F, Miruzadeh K. Comparison of bond strength of *acrylic*, composite, and nanocomposite artificial teeth to heat-cure *acrylic* denture base resin *Front. Dent.* 2019; 16: 166–72.
- [9] Loyaga-Rendon P G, Takahashi H, Hayakawa I, Iwasaki N. Compositional characteristics and hardness of *acrylic* and composite resin artificial teeth *J. Prosthet. Dent.* 2007; 98: 141–9.
- [10] Kazuhide Yashiki, Kazuaki Sanada, Naoto Matsushita K N. Adhesive Properties of *Acrylic* Interlayer with Cellulose Nanofibers in Glass polycarbonate Laminated Safety Glass.pdf *J. Soc. Mater. Sci. Japan.* 2022; 71: 609–16.
- [11] Lee J, Clark S R, Tantbirojn D, Koriath T V P, Hill A E, Versluis A. Strength and stiffness of interim materials and interim fixed dental prostheses when tested at different loading rates *J. Prosthet. Dent.* 2022; 127: 161–7.
- [12] Herrera N, Li J, Lee K Y. Tough poly(ethylene glycol)-sized bacterial cellulose sheet for high impact strength laminated *acrylic* composites *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2022; 156: 106845.
- [13] Tomczak D, Wichniarek R, Kuczko W Caffeine–*Acrylic* Resin DLP-Manufactured Composite as a Modern Biomaterial *Designs* 7. 2023.
- [14] Devine M, Bajpai A, Obande W, Ó Brádaigh C M, Ray D. Seawater ageing of thermoplastic *acrylic* hybrid matrix composites for marine applications *Compos. Part B Eng.* 2023; 263.
- [15] Yu J, Pan Z, Cai Q, Zhang F, Wu Z. Open hole tensile behavior of plain woven carbon/glass hybrid composites *Int. J. Mech. Sci.* 2023; 246: 108142.
- [16] Mohammed M, Hadi A N. *Acrylic* Composite Biomaterials for Dental Applications: A Review of Recent Progress *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.* 2021; 78: 165–87.
- [17] Fernandez T, Virginia S, College G D. *Acrylic* TOE Prosthesis for a Partial TOE Amputation : A Case Report. 2016; 32–6.
- [18] Abdi Setyo Wibowo, Ajeng Wulansari R I. Pengaruh Variasi Arah Serat Dan Jumlah Layer Terhadap Uji Tarik Dan Impact Komposit Serat Karbon Fiber *J. Teknol. Penerbangan.* 2023; 7: 1–6.
- [19] Materials P M. Standard Test Methods for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched iTeh Standards iTeh Standards Document Preview. 1998; 08: 3–8.
- [20] ASTM International. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. D790 *Annu. B. ASTM Stand.* 2002; 1–12.
- [21] Ozsoy N, Mimarolu A, Ozsoy M and Ozsoy M I. Comparison of mechanical behaviour of carbon and glass fiber reinforced epoxy composites *Acta Phys. Pol. A.* 2015; 127: 1032–4.
- [22] Maulana M H and Setyowati V A. Pengaruh Jumlah Layer Dan Orientasi Sudut Filler Karbon Pada Polymer Matrix Composite Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact *Semin. Nas. Teknol. Ind. Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*. 2021; 1: 285–91.
- [23] Ishtiaq S, Saleem M Q, Naveed R, Harris M and Khan S A. Glass–Carbon–Kevlar fiber reinforced hybrid polymer composite (HPC): Part (A) mechanical and thermal characterization for high GSM laminates *Compos. Part C Open Access.* 2024; 14.