

Analisa Sifat Mekanik pada Bahan Anti Peluru dari Adisi Berpenguat Serat Panjang Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Okta Riza¹, Siti Nikmatin², Hendradi Hardhienata², Firda Aulya Syamani³

¹ Biophysics Program, Physics Department, Bogor Agricultural University, Indonesia

² Physics Department, Bogor Agricultural University, Indonesia

³ Indonesian Institute of Sciences, Jalan Raya Bogor, Cibinong, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 29 Agustus 2021

Revisi diterima: 26 November 2021

Diterima: 19 April 2022

Tersedia Online: 23 Mei 2022

Corresponding author: oktariza510@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki banyak hasil perkebunan yang diantaranya adalah kelapa sawit serta perkembangannya meningkat. TKKS merupakan salah satu limbah pabrik sawit yang belum dimanfaatkan dengan optimal sehingga menjadi limbah padat. Pemanfaatan serat TKKS pada biokomposit merupakan pemanfaatan limbah TKKS yang melimpah. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh biokomposit dengan adisi serat panjang TKKS termodifikasi untuk penggunaannya pada bahan anti peluru dan mengetahui sifat mekanisnya. Pada biokomposit tersebut diperoleh sifat mekanik yang baik untuk aplikasi bahan anti peluru, biokomposit tersebut lentur dan dapat meredam gaya dan energi yang diberikan oleh peluru. Biokomposit yang mengandung konsentrasi serat sebesar 18% dengan polimer epoxy merupakan sampel terbaik.

Kata kunci: TKKS, biokomposit, aplikasi bahan anti peluru, sifat mekanik

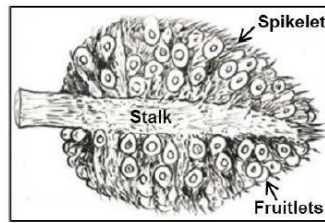
ABSTRACT

Indonesia has many plantation products, including oil palm and its development increased. OPEFB is one of the palm oil mill waste that has not been used optimally so that it becomes solid waste. Utilization of OPEFB fiber in biocomposite is an abundant utilization of OPEFB waste. This study aims to obtain a biocomposite with the addition of modified EFB long fiber for its use in bulletproof materials and to determine its mechanical properties. The biocomposite obtained good mechanical properties for the application of bullet-proof materials, the biocomposite is flexible and can absorb the force and energy exerted by the bullet. Biocomposite containing fiber concentration of 18% with epoxy polymer is the best sample.

Keywords: OPEFB, biocomposite, application of bullet-proof materials, mechanical properties

1. PENDAHULUAN

Salah hasil perkebunan di Indonesia yang perkembangannya setiap tahunnya meningkat adalah kelapa sawit [1]. Hampir setiap pulau di Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit. Tahun 2016 luas perkebunan kelapa sawit mencapai 11,67 juta Ha [2]. Tandan Kelapa Sawit merupakan salah satu bagian dari kelapa sawit (Gambar 1) yang terdiri dari spikelet, stalk, dan fruitlets.



Gambar 1. Komponen TKKS

Dalam produksi minyak sawit hanya buahnya yang diambil untuk diolah menjadi minyak, sedangkan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) tidak digunakan sehingga akan menjadi limbah. TKKS ini merupakan salah satu limbah padat yang pemanfaatannya belum optimal karena TKKS banyak menumpuk di sekitar pabrik. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan pengolahan terhadap TKKS menjadi material baru melalui terobosan dan inovasi teknologi yaitu rekayasa material biokomposit.

Biokomposit merupakan bahan rekayasa material dimana bahan tersebut tersusun dari dua atau lebih bahan dengan sifat setiap bahan berbeda dan menjadi material baru dengan sifat yang lebih unggul dari material penyusunnya serta salah satu penyusunnya berasal dari alam. Biokomposit juga dapat terdiri dari polimer alami sebagai matriks dan serat alami (*biofiber*) sebagai penguat. Biokomposit pada bahan anti peluru sebaiknya memiliki sifat ketahanan terhadap api (*flame retardant*) dan memiliki sifat mekanik yang mampu menyerap energi tumbukan melalui kekuatan impact yang tinggi.

Asal dan umur serat tersebut dapat mempengaruhi struktur dan sifat serat alam, serta pada umumnya kekakuan dan kekuatan serat alami bergantung pada kandungan selulosa dan sudut spiral yang terbentuk antara ikatan mikrofibril pada lapisan kedua dinding sel dengan sumbu serat [3].

Serat alami dapat menjadi pengisi (*filler*) biokomposit yang ramah lingkungan, memiliki keunggulan yang lebih baik dari serat sintesis karena mudah didapat, mudah diproses, densitas rendah dan *degradable*. Oleh karena itu diharapkan dalam penelitian ini selain mengoptimalkan limbah TKKS menjadi suatu produk yang bernilai ekonomi, juga didapatkan biokomposit yang ramah lingkungan dan memiliki sifat yang lebih baik dari produk sintesis serta produk sebelumnya.

Antipeluru merupakan salah satu peralatan untuk pertahanan dan perlindungan diri prajurit angkatan bersenjata (sebagai pelindung organ penting pada bagian dada, perut, punggung dll) dan memiliki fungsi utama untuk menahan penetrasi dan mengurangi energi *impact* yang ditimbulkan oleh proyektil sehingga dapat meredam cedera, dimana saat terjadi tumbukan antara peluru dan anti peluru maka energi kinetik tersebut diserap dan didistribusikan pada luasan plat anti peluru dan energi yang tersisa diteruskan ke tubuh prajurit. Anti peluru diharapkan dapat meredam bahkan menghentikan proyektil (peluru) dengan cara menyebarkan energi kinetik pada anti peluru sehingga energi akibat beban balistik pada peluru yang diteruskan ke pengguna semakin kecil. Namun pada kenyataannya pada anti peluru yang telah digunakan oleh prajurit (pengguna), energi yang diterima oleh pengguna masih menyebabkan trauma fisik seperti memar, bengkak, dan luka dalam lainnya. Selain itu antipeluru tersebut bobotnya cukup besar sehingga dapat mengurangi gerakan (*mobilitas*) pengguna sehingga perlu dilakukan penelitian tentang material alternatif pengganti antipeluru konvensional yang kinerjanya cukup relatif sama dalam menahan energi *impact* proyektil.

2. METODE

2.1 Pengujian sifat mekanis pada serat

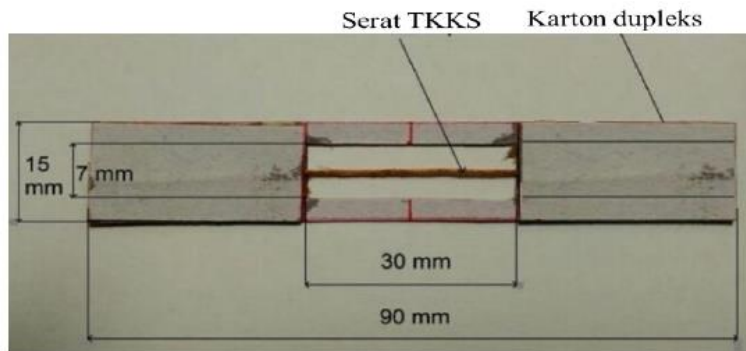
Pada serat panjang TKKS dilakukan pengujian mekanik *tensile strength* (kekuatan tarik) . Kekuatan tarik yang dimaksud adalah tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh suatu bahan saat bahan tersebut diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Pada umumnya kekuatan tarik dapat diketahui dengan melakukan uji tarik serta mencatat perubahan regangan dan tegangan. Kekuatan tarik maksimum merupakan titik tertinggi kurva tegangan-regangan. Pada hasil dari pengujian ini dapat dibuat grafik beban versus perpanjangan atau elongasi. Dimensi dari kekuatan tarik adalah gaya persatuan luas yaitu N/m^2 atau Pascal (Pa). Perhitungan beban dan elongasi dirumuskan dengan

$$\text{tegangan } (\sigma) = \frac{F}{a} \quad 1$$

Regangan merupakan jumlah perubahan pertambahan panjang yang diakibatkan oleh pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur mula-mula (*gage length*). Regangan dapat diperoleh dari persamaan perubahan panjang berbanding panjang mula-mula

$$\text{elongasi } (\epsilon) = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \quad 2$$

Pada serat kontrol dan serat yang telah di beri perlakuan *flame retardant* juga dilakukan pengujian mekanik yaitu dengan pengujian *tensile strength* ASTM D3379-75. Serat TKKS diambil yang berukuran panjang dan direkatkan pada karton dupleks seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. Spesimen pengujian tarik (menurut ASTM D3379-75)

2.2 Pembuatan biokomposit

Dalam penelitian ini digunakan serat panjang TKKS dalam bentuk *bundle fiber*. Serat tersebut telah diberi perlakuan *flame retardant*. Pembuatan komposit menggunakan serat yang telah diberi perlakuan termal dengan matriks resin epoxy dan polyester dengan konsentrasi *low filler loading* dan *high filler loading* (Tabel 1 dan 2).

Tabel 1. *Low filler loading*

No	Sampel		Konsentrasi serat (%)	Konsentrasi resin (%)
	Epoxy	Polyester		
1	Serat kontrol	Serat kontrol	0	100
2	A	E	6	94
3	B	F	12	88
4	C	G	15	85
5	D	H	18	82

Tabel 2. *High filler loading*

No	Sampel		Konsentrasi serat (%)	Konsentrasi resin (%)
	Epoxy	Polyester		
1	Serat kontrol	Serat kontrol	0	100
2	BB	EE	50	50
3	CC	FF	60	40
4	DD	GG	70	30

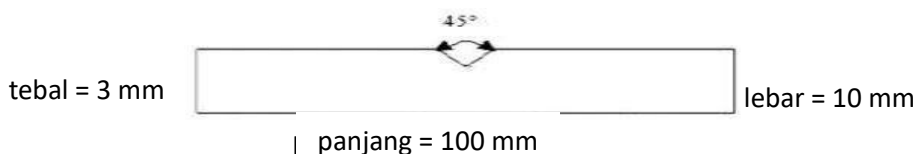
Pada penelitian ini bobot polimer ditambah serat pada suatu cetakan adalah sebesar 900 gram. Kemudian sampel-sampel tersebut di cetak dengan *hot press* sehingga diperoleh *prototype* lembaran bidang padat pada bidang ukuran 30 cm x 30 cm x 1 cm lalu diuji impak dan tembak peluru.

2.3 Pengujian Biokomposit

Analisa biokomposit dilakukan dengan pengujian sifat mekanis yaitu pengujian *impact strength* (ASTM D-256A) dan pengujian balistik. Pengujian mekanis *impact strength* (kekuatan dampak) yang merupakan pengujian untuk mengukur ketahanan benturan suatu material. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan material terhadap deformasi dari luar.

Saat pengujian *impact* terjadi pembenturan yang cepat dan energi kinetik pendulum yang menumbuk spesimen membuat energi tersebut dapat diserap oleh biokomposit. Pendulum diangkat sampai ketinggian tertentu (energi potensial konstan) lalu dilepaskan. Setelah itu pendulum mengayun ke bawah memukul sampel dan mematahkan spesimen. Energi yang diserap oleh sampel dihitung dari ketinggian ayunan lengan setelah menyentuh sampel, kemudian sampel dibuat *notch* untuk menentukan sensitivitas energi dan *impact strength*.

Notched izod impact strength merupakan ukuran ketahanan benturan suatu material. Prinsip kerja *izod impact* ialah dengan cara mengamati gerakan pendulum yang menggeser jarum pada alat dan nilai energi tumbukan dapat dilihat langsung dari pada skala yang ditunjukkan oleh jarum. Dalam pengujian ini menggunakan alat uji dengan kecepatan *impact* 3,5 m/s, panjang lengan pendulum 0,322 m, massa bandul 0,5 kg



Gambar 3. Spesimen pengujian *impact strength*

Nilai *impact strength* dapat dihitung dari data energi *impact* dari alat dibagi dengan tebal spesimen uji.

$$E = m \times g \times l (\cos(\alpha) - \cos(\beta)) \tag{4}$$

Pengujian balistik menggunakan pistol Glock 9 x 19 mm (Gambar 4) peluru bermassa 12,25 gram buatan pindad jenis MUI – JHP A1 (Gambar 5). Pada pengujian balistik menggunakan jarak 30 meter dimana masing-masing sheet bahan anti peluru dilakukan penembakan 3 kali (Gambar 6).



Gambar 4. Pistol pada pengujian balistik



Gambar 5. Peluru bermassa 12.25 g



Gambar 6. Pengujian balistik menggunakan jarak 30 meter

Spesimen uji tembak merupakan prototipe biokomposit yang terdiri dari serat *flame retardant* dan polimer (Gambar 7). Pengujian tembak dilakukan dengan memberikan pengaturan posisi spesimen pada tumpuan antara sisi kanan dan kiri dengan posisi penembak, kemudian dengan menggunakan senjata sesuai dengan standar pengujian pada penelitian ini diatur juga posisi penembak berdiri sejajar dengan spesimen biokomposit dengan jarak 30 m. Kemudian spesimen tersebut diamati pola kerusakan dan kedalaman penetrasi yang terjadi.



Gambar 7. spesimen pengujian tembak

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Sifat Mekanis Biokomposit dengan Pengujian *Impact Strength*

Pengujian *impact strength* dilakukan dengan mengukur ketahanan beban terhadap beban kejut. Pada dasarnya pengujian ini merupakan penyerapan energi potensial maupun beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda yang diuji sehingga benda tersebut mengalami deformasi (perubahan). Sehingga dapat dikatakan bahwa pengujian impak bertujuan untuk mengukur besar energi yang diserap suatu material sampai material tersebut patah. Polimer dan konsentrasi dari serat yang mengisi biokomposit dapat mempengaruhi kekuatan impak pada suatu biokomposit tersebut. Hal itu dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pengujian *impact strength* pada biokomposit

Konsentrasi serat	Energi kinetik (kJ)	
	Epoxy	Polyester
6%	0.277	0.261
12%	0.320	0.672
15%	0.585	0.767
18%	1.157	1.091

Berdasarkan Tabel 3 diatas, nilai impak meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi serat yang digunakan. Nilai impak terbesar adalah 1.157 kJ pada sampel epoxy dengan konsentrasi serat 18%, nilai terkecil adalah 0.277 kJ pada sampel epoxy dengan konsentrasi serat 6%. Semakin tinggi nilai impak maka semakin lentur bahan tersebut, sehingga dapat diasumsikan bahwa jumlah serat yang digunakan mempengaruhi kelenturan bahan biokomposit tersebut karena bahan tersebut menjadi lebih tangguh dan ulet.

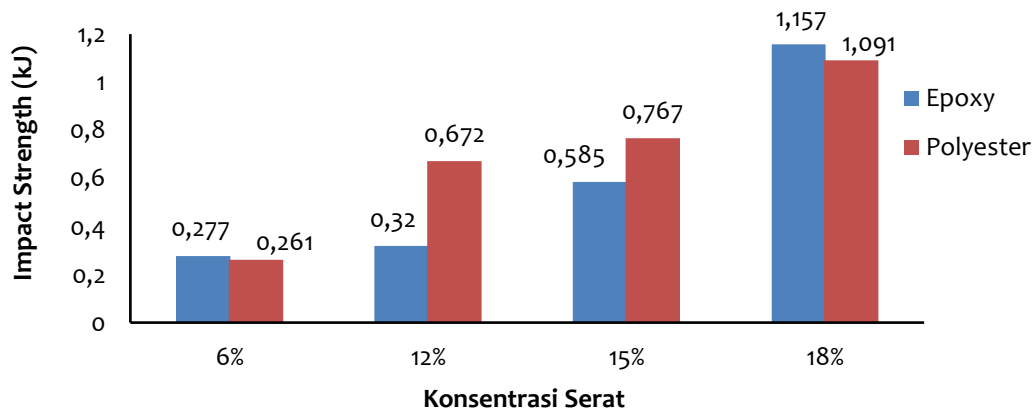
Perbedaan nilai impak dapat disebabkan karena perbedaan konsentrasi serat pada komposit tersebut. Konsentrasi serat dapat mempengaruhi nilai impak karena serat dapat menahan energi dari impak. Serat yang tidak mengisi seluruh ruang pada komposit menjadi tidak lentur dan memiliki nilai impak yang kecil. Nilai impak terbesar berada pada sampel dengan konsentrasi serat 18% pada polimer epoxy dan polyester. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat dapat mempengaruhi kekuatan impak suatu bahan.

Kuat impak merupakan energi yang dapat diserap oleh suatu bahan karena pembebanan gaya secara tiba-tiba hingga bahan mengalami kerusakan. Nilai kuat impak tersebut menunjukkan bahwa serat TKKS memiliki kemampuan yang baik dalam

menyerap gaya yang diberikan secara tiba-tiba. Semakin banyak serat yang digunakan sebagai *filler* pada biokomposit tersebut maka semakin banyak pula gaya yang dapat diserap. Hal tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh penyaluran gaya pada *filler*.

Komposisi *filler* dapat mempengaruhi gaya yang diserap oleh masing-masing partikel *filler* sehingga ketahanan bahan tersebut terhadap gaya yang diberikan secara tiba-tiba akan semakin besar. Konsentrasi serat juga dapat mempengaruhi ketahanan bahan tersebut dalam menahan gaya yang diberikan.

Gambar 8 di bawah ini merupakan grafik hubungan antara nilai *impact strength* pada sampel biokomposit terhadap sampel biokomposit epoxy dan polyester dengan berbagai konsentrasi serat. Berdasarkan grafik tersebut nilai kuat impact tertinggi berada pada sampel biokomposit dengan konsentrasi serat 18% dengan nilai 1.157 kJ pada polimer epoxy dan 1.1091 kJ pada polimer polyester. Nilai impact terendah berada pada sampel biokomposit dengan konsentrasi serat 6% dengan nilai 0.277 pada polimer epoxy dan 0.261 pada polimer polyester, terlihat pada grafik tersebut bahwa semakin besar konsentrasi serat maka akan semakin besar pula nilai impact. Hal ini disebabkan karena konsentrasi serat yang semakin besar maka akan semakin besar pula kemampuan serat tersebut dalam menyerap gaya secara tiba-tiba.



Gambar 8. *Impact strength* pada biokomposit

3.2 Analisa Sifat Mekanis Biokomposit dengan Pengujian Balistik

Pengujian mekanis selanjutnya yaitu pengujian balistik (pengujian tembakan). Berdasarkan hasil pengujian balistik, ada beberapa sampel yang tembus dan ada juga sampel yang tidak dapat di tembus oleh proyektil peluru. Proyektil tersebut masuk ke dalam dan komposit mengalami kerusakan. Pada sampel *high filler loading* semuanya tembus terhadap peluru, sedangkan sampel *low filler loading* ada yang tembus dan ada yang tidak tembus peluru, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5 di bawah ini

Tabel 4. Pengujian balistik sampel material anti peluru dengan polimer epoxy

Sampel	Konsentrasi serat TKKS	Uji balistik, x setelah tumbukan (mm)						Rata-rata (mm)
		1	2	3	4	5	6	
A	6%	Tembus						-
B	12%	Tembus						-
C	15%	2.20	2.45	2.22	2.50	2.21	2.20	2.29±0.14
D	18%	2.23	2.12	2.14	2.02	2.21	2.15	2.14±0.07

Tabel 5. Pengujian balistik sampel material anti peluru dengan polimer polyester

Sampel	Konsentrasi serat TKKS	Sampel ke 1-6. Uji balistik, x setelah tumbukan (mm)						Rata-rata (mm)
		1	2	3	4	5	6	
E	6%	Tembus						
F	12%	Tembus						-
G	15%	2.94	3.10	3.00	3.13	2.88	2.97	3.00±0.13
H	18%	2.71	3.00	3.00	2.94	3.12	3.00	2.96±0.09

Keterangan

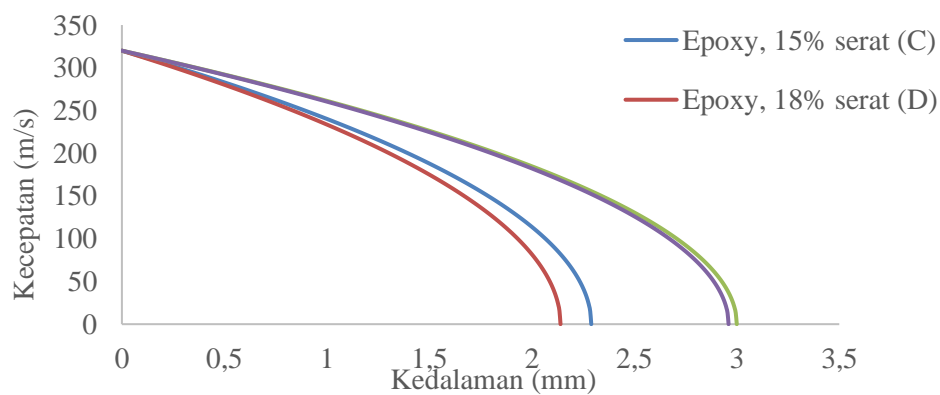
x = jarak atau kedalaman peluru bersarang di dalam sampel setelah tumbukan

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa sampel C dan D merupakan sampel terbaik karena tidak tembus oleh peluru. Hal tersebut dapat disebabkan karena kandungan serat yang lebih banyak, dimana pada sampel C mengandung 15% serat TKKS dan sampel D sebanyak 18% serat TKKS. Serat itu dapat menahan suatu tumbukan yang disebabkan oleh peluru karena serat alami memiliki kelenturan serta dapat menyerap energi dari laju proyektil peluru sehingga peluru tidak menempus komposit. Selain itu terlihat juga pada Tabel 10 rata-rata nilai kedalaman tembakan semakin mengecil seiring dengan meningkatnya konsentrasi serat yang digunakan, hal ini disebabkan karena serat tersebut dapat meredam gaya yang diberikan oleh peluru terhadap biokomposit sehingga biokomposit dengan konsentrasi serat tertinggi memiliki rata-rata nilai kedalaman tembakan yang lebih kecil.

Selain itu terlihat pada Tabel 5 bahwa sampel G dan H merupakan sampel terbaik karena tidak tembus oleh peluru. Hal tersebut dapat disebabkan karena kandungan serat yang lebih banyak, dimana pada sampel G mengandung 15% serat TKKS dengan rata-rata nilai kedalaman tembakan sebesar 3 mm dan sampel sebanyak 18% serat TKKS dengan rata-rata nilai kedalaman tembakan sebesar 2.96 mm. Pada Tabel 5 terlihat bahwa rata-rata nilai kedalaman tembakan semakin mengecil seiring dengan meningkatnya konsentrasi serat yang digunakan, hal ini disebabkan karena serat tersebut dapat meredam gaya yang diberikan oleh peluru terhadap biokomposit sehingga biokomposit dengan konsentrasi serat tertinggi memiliki rata-rata nilai kedalaman tembakan yang lebih kecil.

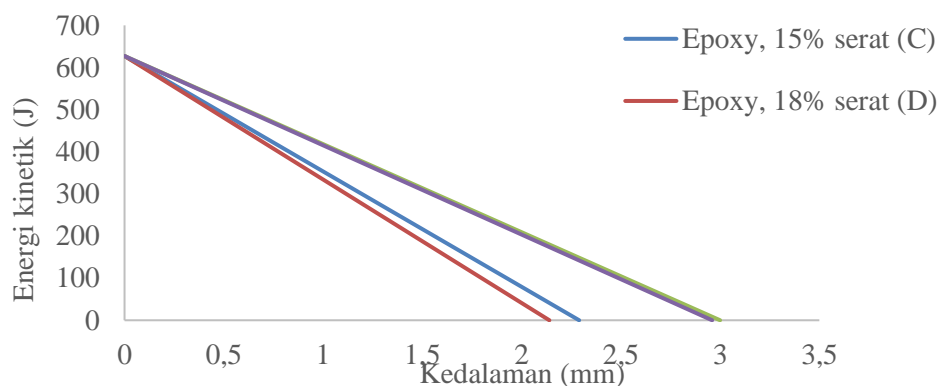
Serat merupakan unsur utama pada komposit, serat itu dapat menentukan karakteristik bahan komposit misalnya: kekakuan, kekuatan dan sifat mekaniknya. Serat tersebut dapat menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit, selain itu matriks merupakan pelindung dan pengikat serat agar bekerja dengan baik.

Pada Gambar 9 merupakan grafik hubungan antara kecepatan dan kedalaman tembakan pada biokomposit dengan polimer epoxy dan polyester. Terlihat pada grafik tersebut bahwa kecepatan semakin menurun dan kedalaman tembakan semakin besar. Kecepatan peluru sebelum tumbukan dianggap konstan 320 m/s. Pada gambar 9 nilai v_t setelah tumbukan mengalami penurunan hingga peluru berhenti di dalam bahan sejauh s (m). Berdasarkan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa biokomposit tersebut memiliki gaya hambat sehingga berhenti pada kedalaman tertentu.



Gambar 9. Hubungan fungsi menggunakan pendekatan kecepatan (v_t) terhadap kedalaman tembakan (s) pada biokomposit dengan polimer epoxy dan polyester

Pada Gambar 10 merupakan grafik hubungan kedalaman (s) terhadap energi kinetik (J) pada biokomposit dengan polimer epoxy dan polyester. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa semakin besar kedalaman maka semakin kecil energi kinetik dihasilkan, energi kinetik tersebut berkurang berubah menjadi energi panas, ini menunjukkan bahwa serat TKKS dapat berfungsi untuk meredam laju peluru.



Gambar 10. Hubungan fungsi menggunakan pendekatan kedalaman (s) terhadap energi kinetik (J) pada biokomposit dengan polimer epoxy dan polyester

4. KESIMPULAN

Biokomposit dengan adisi serat TKKS setelah perlakuan *flame retardant* optimum yaitu Ca(OH)_2 dengan konsentrasi 3 M, sifat mekanik serat tersebut baik untuk aplikasi bahan anti peluru, karena biokomposit tersebut mampu meredam gaya dan energi yang diberikan oleh peluru. Sampel terbaik berada pada biokomposit yang mengandung konsentrasi serat sebesar 18% dengan polimer epoxy.

5. REFERENCES

- [1] Anggoro DD, Kristina N, "Combination of natural fiber *Boehmeria nivea* (Ramie) with matrix epoxide for bullet proof vest body armor," *International Conference of Chemical and Material Engineering (ICCME)* [Internet]. hlm 1-9; [diunduh 2018 Juni 20]. Tersedia pada: doi:10.1063/1.4938317, 2018.
- [2] Astika, Lokantara P, Karohika G., "Sifat Mekanis Komposit Polyester dengan Penguat Serat Sabut Kelapa", *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 6(2):115-122. 2013
- [3] Azhari R, "Analisa komposit multi Reinforcement sebagai material alternatif rompi anti peluru dalam menahan energi impact proyektil," Institut Sepuluh November, 2017.
- [4] Badan Pusat Statistik, "Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2016," 2016.
- [5] Bodur MS, Bakkal M, Sonmez HE, "The effects of different chemical treatment methods on the mechanical and thermal properties of textile fiber reinforced polymer composites", *Journal of Composite Materials*. 0(0):1-14. 2016.
- [6] Dewanti DP, "Potensi selulosa dari limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk bahan baku plastik ramah lingkungan", *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1):81-84, 2018.
- [7] Direktorat Jenderal Perkebunan, "Statistik Perkebunan Indonesia," 2017.
- [8] Eriningsih R, Mutia T, Judawisastra H, "Komposit *sunvisor* tahan api dari bahan baku serat nenas", *Jurnal Riset Industri*, 5(2):191-203, 2011.
- [9] Etikaningrum, Hermianto J, Iriani ES, Syarief R, Permana AW, "Pengaruh penambahan berbagai modifikasi serat tandan kosong kelapa sawit pada sifat fungsional *biodegradable foam*", *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 13(3):146-155, 2017.

- [10] Gea S, Zulfahmi Z, Yunus D, Andriyani A, Hutapea YA. 2018, " Isolation of nanofibre cellulose from oil palm empty fruit bunch via steam explosion and hydrolysis with hcl 10%", *Journal of Physics*. 979(2018):1-9.doi:10.1088/1742-6596/979/1/012063, 2018.
- [11] Hassan A, Salema AA, Ani FN, Bakar AA, "A Review on Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber-Reinforced Polymer Composite Materials", *Polym. Comp*: 2079-2101, 2010.
- [12] R. P. Chand N, Tiwary RK, "Bibliography resource structure properties of natural cellulosic fibres an annotated bibliography," *J. Mater. Sci.*, vol. 23(2), pp. 381–387, 1988.
- [13] Suryadi GS," Kajian mikrostruktur, sifat termal, mekanik, dan permukaan biokomposit berpenguat tandan kosong kelapa sawit" [tesis], Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor, 2016
- [14] Zhao WJ, Hu QX, Zhang NN, Wei YC, Zhao Q, Zhang YM, Dong JB, Sun ZY, Liu BJ, Lid L, Hu W, " In situ inorganic flame retardant modified hemp and its polypropylene composites", *The Royal Society of Chemistry*, 7: 32236–32245, 2017.