



Studi Efektivitas Karakteristik Serat Alami Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) sebagai Pengganti Serat Sintesis Kevlar untuk Bahan Komposit Anti Peluru: Jurnal Review

*Effectiveness Study of Natural Kenaf Fiber (*Hibiscus Cannabinus*) Characteristics as a Substitute for Kevlar Synthetic Fiber in Bulletproof Composite Materials: A Journal Review*

Yuniarti Nur Azizah^{1,a)}, Jupriyanto¹, I.B Putra Jandhana¹, George Royke Deksin¹

¹Program Studi Industri Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

^{a)}Corresponding author: ynurazizah@live.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji potensi serat kenaf dalam meningkatkan perlindungan balistik dengan mengeksplorasi peningkatan sifat mekanik serat serta sekaligus mengatasi masalah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada bahan impor seperti serat Kevlar. Metode penelitian ini menggunakan tinjauan literatur, dengan fokus pada sumber-sumber yang kredibel seperti buku, jurnal ilmiah, dan sumber internet yang memiliki keterkaitan langsung dengan topik penelitian untuk dasar menganalisis sifat mekanik dan balistik dari serat tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat kenaf menawarkan kekuatan mekanik dan balistik yang cukup menarik yang dilihat dari stabilitas termal yang menjanjikan, meskipun memiliki daya serap air yang lebih tinggi daripada Kevlar. Berbagai teknik peningkatan, termasuk perlakuan kimia dan hibridisasi dengan serat lain, dibahas untuk mengoptimalkan sifat mekanik dan balistik komposit berbasis kenaf. Ulasan ini menggarisbawahi potensi serat kenaf sebagai alternatif yang layak dalam aplikasi balistik, mendorong keberlanjutan dan efektivitas biaya serta dampak lingkungan dalam pengembangan bahan pertahanan.

Kata Kunci: anti peluru; serat kenaf; serat kevlar; sifat balistik; sifat mekanik

Abstract

This research examines the potential of kenaf fiber in improving ballistic protection by exploring the improvement of fiber mechanical properties while simultaneously addressing environmental issues and reducing dependence on imported materials such as Kevlar fiber. This research method uses a literature review, focusing on credible sources such as books, scientific journals, and internet sources that have a direct relationship with the research topic to analyze the fiber's mechanical and ballistic properties. The results show that Kenaf fibers offer attractive mechanical and ballistic strength, as seen from their promising thermal stability, despite having higher water absorption than Kevlar. Various enhancement techniques, including chemical treatment and hybridization with other fibers, are discussed to optimize kenaf-based composites' mechanical and ballistic properties. This review underscores the potential of kenaf fiber as a viable alternative in ballistic applications, promoting sustainability and cost-effectiveness as well as environmental impact in the development of defense materials.

Keywords: bulletproof; ballistic properties; kenaf fiber; kevlar fiber; mechanical properties; ballistic properties

PENDAHULUAN

Undang - Undang No. 2 Tahun 2002 mengenai pertahanan negara menegaskan pentingnya pemanfaatan sumber daya alam dan buatan guna memperkuat sistem pertahanan. Satu di antara kebijakannya ialah kemandirian industri pertahanan, didukung oleh tiga pilar iptek: akademi dan badan litbang, industri, dan pengguna (TNI). Ancaman terhadap kedaulatan negara tidak hanya berasal

dari agresi militer konvensional tetapi juga dari ancaman non-konvensional seperti serangan siber, infiltrasi ekonomi, dan gangguan ekologi. Kebijakan pertahanan yang menekankan pada kemandirian industri pertahanan dan pemanfaatan sumber daya alam dan buatan dapat diimplementasikan dengan memanfaatkan kekayaan lokal. Tentara Nasional Indonesia (TNI) sebagai pengguna dapat bekerja sama dengan industri dan akademisi untuk menguji dan mengimplementasikan material berbasis material alam

sebagai kekayaan lokal untuk perlengkapan militer, memastikan material tersebut memenuhi standar dan kebutuhan operasional militer. Dengan mendukung industri lokal dalam pengolahan dan produksi serat alam, pemerintah dapat menciptakan ekosistem industri yang berkelanjutan dan mandiri, meliputi peningkatan kapasitas produksi, pelatihan tenaga kerja, dan pengembangan infrastruktur industri [1].

Perkembangan teknologi industri pertahanan senjata di Indonesia telah menghasilkan berbagai jenis peluru baru dengan peningkatan signifikan dalam ukuran, bentuk, dan energi kinetik. Inovasi ini meningkatkan efektivitas dan daya rusak amunisi, yang pada gilirannya meningkatkan ancaman terhadap penggunanya. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan dan ekspansi elemen berkinerja tinggi untuk digunakan dalam *armor* balistik guna melindungi individu dari ancaman tersebut. Teknologi armor balistik yang canggih, seperti penggunaan bahan komposit, serat sintetis berkekuatan tinggi, dan keramik, menjadi sangat penting dalam menciptakan perlindungan yang efektif terhadap peluru dengan energi kinetik tinggi. Penelitian dan pengembangan di bidang ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pertahanan, tetapi juga untuk memastikan keselamatan dan keamanan personel yang terlibat dalam operasi militer maupun sipil [2].

Pengembangan bahan anti peluru berlangsung selama Perang, menggunakan nilon balistik melalui pelat serat kaca, baja, doron, titanium, kombinasi keramik, dan *fiberglass* sebagai komponen terefektif. Bahan ini digunakan sebagai acuan anti peluru hingga tahun 1970-an. Pada tahun 1965, ahli kimia Stephanie Kwolek menemukan *Kevlar*, yang hingga kini menjadi bahan utama pelindung anti peluru karena ketahanannya yang tinggi dan bobotnya yang ringan [3].

Kebutuhan akan serat *Kevlar* sebagai bahan komposit anti peluru meningkatkan biaya impor dikarenakan serat tersebut tidak diproduksi di Indonesia, akibat dari dorongan tersebut peneliti dan produsen mulai mencari alternatif lain untuk solusi peningkatan biaya tanpa menghiraukan kualitas. Selain itu, kekhawatiran akan dampak lingkungan dari proses produksi serat sintetis juga menjadi faktor yang mendorong penelitian terhadap bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Sebagai respons terhadap tantangan ini, peneliti dan produsen mulai melihat ke serat alami sebagai alternatif yang menjanjikan.

Serat alami, seperti kenaf, lebih ekonomis karena biayanya lebih rendah dibandingkan serat sintetis. Sebagai serat alam, kenaf adalah bahan yang dapat diperbarui dan *biodegradable*, hal ini berarti bahwa produk yang dibuat dari kenaf memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan produk yang dibuat dari serat sintetis seperti *Kevlar*, hal ini dapat mengurangi ketergantungan pada

bahan-bahan sintetis. Dengan demikian, pencarian akan alternatif lain dari serat *Kevlar* memunculkan minat baru dalam penggunaan serat alami untuk aplikasi anti-peluru.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam jurnal ini ialah metode kepustakaan (*Library Research*), yaitu pengumpulan data dari beragam literatur dengan kriteria ketat untuk memastikan relevansi dan kualitas data yang memiliki kredibilitas tinggi meliputi buku, jurnal ilmiah, dan sumber internet yang memiliki keterkaitan langsung dengan topik penelitian dan dapat memberikan wawasan teoritis maupun empiris yang relevan. Pengumpulan data dilakukan melalui studi kepustakaan, yang menurut Sugiyono dalam Yunanda dkk [4], mengkaji nilai, norma, dan budaya secara sosial dengan menggunakan materi dari buku, surat kabar *online*, jurnal, catatan militer, artikel, dan dokumen lain yang relevan. Setelah data dikumpulkan dari berbagai literatur yang relevan, proses analisis dilakukan dengan pendekatan deskriptif kualitatif, di mana data diinterpretasikan dan dijelaskan dalam konteks penelitian. Data dibandingkan menggunakan teknik triangulasi, yang melibatkan perbandingan informasi dari berbagai sumber untuk memastikan konsistensi dan validitas temuan. Analisis kritis juga dilakukan untuk mengevaluasi kualitas dan reliabilitas setiap sumber serta mengidentifikasi potensi bias atau keterbatasan dalam data yang disajikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposit

Bahan komposit adalah material multifaset yang dibuat dengan menggabungkan beberapa bahan untuk mendapatkan sifat baru yang tidak dimiliki bahan-bahan penyusunnya. Bahan komposit bisa disesuaikan dengan berbagai sifat melalui pemilihan dan pengaturan bahan penyusun, ukuran, distribusi *filler*, derajat kristalinitas, tekstur, struktur, dan komposisi *interfase*. Banyak keunggulan yang dimiliki oleh bahan komposit, diantaranya memiliki berat yang ringan, kekuatan yang cukup tinggi, tahan korosi serta yang paling utama adalah memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu [5].

Mayoritas material komposit terdiri dari dua Fasa: matriks dan penguat. Matriks, sebagai komponen utama yang mengelilingi penguat memiliki fungsi untuk menghubungkan dan menahan serta meneruskan tegangan material komposit. Penguat, meskipun tersebar dalam matriks, adalah elemen utama yang menerima tegangan. Bahan matriks umumnya dapat berupa logam, polimer, keramik, karbon. Sifat matriks biasanya "ulet" (*ductile*). Bahan penguat biasanya keras dan tahan lama. Serat karbon, serat gelas, dan keramik adalah bahan penguat yang paling umum digunakan saat ini. Serat alam, sebagai

jenis serat yang memiliki manfaat, mulai digunakan sebagai penguat dalam komposit. Sifat komposit ditentukan oleh sifat matriks, jumlah dan distribusi penguat relatif, ukuran, dan arah penguat [6].

Serat Kevlar

Aramid, singkatan dari *aromatic polyamide*, dengan konstruksi kuat, alot, meredam getaran, dan resistan terhadap asam dan basa. *Aramid* tahan panas sampai 370°C, maka tidak mudah terbakar. Produk ini diketahui sebagai *Kevlar*, lima kali lebih kuat dari besi namun ringan. *Kevlar* meningkatkan kemampuan beragam produk konsumen, industri, dan militer. Serat *Kevlar* penting untuk material komposit dan tersedia dalam tiga varian: *Kevlar* 29, 49, dan 149. *Kevlar* 29 mampu dijadikan kabel, kaset, webbing, dan balistik [1].

Pada tahun 1960, ahli kimia *DuPont*, Stephanie Kwolek, menemukan serat *Aramid*. Serat ini adalah *Poly (p-phenylene terephthalamide)* yang disintesis dari kondensasi *terephthaloyl chloride* (TCl) dan *p-phenylene diamine* (PPO) dalam larutan *hexamethyl phosphoramide* (HMPO) dan *n-methyl pyrrolidone* (NMP). Serat ini memiliki kekuatan tinggi, modulus tinggi, ketahanan kimia, dan stabilitas termal. Pada tahun 1965, *DuPont* memperkenalkan serat ini sebagai *Kevlar* [7].

Serat *Kevlar* sering digunakan dalam bidang kedirgantaraan dan aplikasi militer, sebagai bahan rompi anti peluru dan komposit balistik, diaplikasikan juga pada ban sepeda dan sebagai ganti asbes. Serat *Kevlar*, yang umum dikenal karena penggunaannya dalam aplikasi berdaya tahan tinggi seperti *armor* balistik, menawarkan memiliki beberapa keuntungan. Pertama, serat ini memiliki ketahanan spesifik yang tinggi terhadap kerusakan pada traksi, membuatnya sangat tahan lama di bawah tekanan tarik. Selain itu, densitasnya yang rendah sebesar 1,45 g/cm³ menjadikannya sangat ringan, yang menguntungkan dalam aplikasi di mana berat merupakan faktor kritis. Dilatasi termalnya adalah nol, yang berarti serat ini tidak mengembang atau menyusut dengan perubahan suhu, sehingga memastikan stabilitas dimensi dalam lingkungan termal yang bervariasi. Lebih lanjut, serat *aramid* sangat baik dalam menyerap getaran, meningkatkan kenyamanan dan mengurangi kelelahan pada peralatan pelindung. Serat ini juga tahan terhadap larutan kimia, kecuali asam kuat dan basa kuat [6].

Namun, serat *aramid* juga memiliki beberapa kelemahan. Ketahanannya terhadap kompresi relatif lemah, yang dapat membatasi efektivitasnya dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan kompresi tinggi, dengan kondisi ini menyebabkan kerusakan pada formasi struktural yang dengan nama *kink bands*. Adherensi serat *aramid* dengan resin juga lemah, yang dapat menimbulkan tantangan dalam aplikasi material komposit di mana ikatan

yang kuat sangat penting. Selain itu, serat *aramid* peka terhadap sinar ultraviolet (UV), yang dapat menurunkan sifat-sifatnya seiring waktu ketika terpapar sinar matahari. Terakhir, serat *aramid* memiliki penyerapan kelembapan yang cukup besar, yaitu hingga 4% dari beratnya, yang dapat mempengaruhi kinerja dan ketahanannya dalam kondisi lembap [6].

Serat Kenaf (*hibiscus cannabinus*)

Serat kenaf adalah salah satu serat alami yang sering dimanfaatkan dalam produk *non woven*, seperti geotekstil dan produk kemasan, karena sifat fungsional intrinsiknya yang mencakup kekuatan tarik yang tinggi dan ketahanan terhadap panas yang efektif [8]. Kenaf, yang berasal dari tanaman *Hibiscus cannabinus*, menawarkan keunggulan yang menjadikannya alternatif menarik dibandingkan dengan serat sintetis.

Menurut Penelitian Razak dkk [9] mengatakan bahwa penggunaan serat kenaf dalam industri komposit semakin meluas karena potensi biodegradasinya, yang berarti serat ini dapat terurai secara alami sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan serat sintetis yang cenderung tidak terurai dan menimbulkan masalah limbah. Selain itu, serat kenaf bersifat terbarukan dan non-toksik, membuatnya menjadi pilihan yang lebih aman dan berkelanjutan untuk berbagai aplikasi industri. Keterbaharuan serat kenaf berarti sumber daya ini dapat dipanen dan diperbaharui setiap tahun, berbeda dengan serat sintetis yang bergantung pada bahan baku fosil yang tidak terbarukan. Sifat non-toksitas serat kenaf juga membuatnya lebih aman untuk digunakan dalam produk yang bersentuhan langsung dengan manusia atau lingkungan tanpa menimbulkan risiko kesehatan atau polusi. Dengan menurut Zapaloni [10] Ada dua alasan utama mengapa kenaf sangat ramah lingkungan: kenaf mengumpulkan karbon dioksida secara signifikan dan menyerap nitrogen dan fosfor dari tanah.

Menurut penelitian yang dilakukan Ariawan dkk [11] untuk memperkuat komposit dengan serat kenaf menghasilkan peningkatan signifikan dalam kekuatan tarik dan ketahanan terhadap panas dibandingkan dengan komposit yang tidak diperkuat. Penelitian ini menyoroti peningkatan sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan kekuatan dampak, serta peningkatan sifat termal yang membuat komposit lebih stabil pada suhu tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa serat kenaf dapat memberikan performa yang setara atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan serat sintetis dalam beberapa aplikasi, seiring dengan tawaran tambahan berupa keberlanjutan lingkungan dan biaya yang lebih rendah.

Kemudian Azwa dkk [12] juga melakukan penelitian mengenai sifat degradabilitas serat komposit kenaf/epoksi mengungkapkan bahwa penambahan serat kenaf pada

matriks epoksi tidak hanya meningkatkan sifat mekanik, tetapi juga stabilitas termal komposit tersebut. Stabilitas termal yang lebih tinggi menunjukkan bahwa komposit kenaf/epoksi dapat bertahan pada suhu yang lebih tinggi tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan, sehingga membuatnya lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Hal ini penting untuk aplikasi yang memerlukan bahan dengan kinerja tinggi dalam berbagai kondisi suhu.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Bernard dkk [13] mengkaji tentang pengaruh berbagai parameter pemrosesan terhadap sifat mekanik komposit serat kenaf. Dalam studi mereka, ditemukan bahwa penambahan serat kenaf ke dalam matriks komposit meningkatkan kekuatan tarik material sebesar 10%. Selain meningkatkan kekuatan mekanik, penambahan serat kenaf juga dapat mempengaruhi sifat lainnya seperti kekakuan dan ketahanan impak. Parameter pemrosesan yang dilakukan mereka termasuk suhu pemrosesan, tekanan, dan waktu *curing*, yang semuanya dapat mempengaruhi distribusi dan adhesi serat dalam matriks komposit. Optimalisasi parameter-parameter ini dapat lebih meningkatkan performa keseluruhan dari komposit kenaf, menjadikannya alternatif yang lebih menarik dibandingkan bahan komposit berbasis serat sintesis.

Sebaliknya, kelemahan utama pembuatan komposit dengan serat kenaf adalah sifat hidrofiliknya. Permukaan harus diubah untuk meningkatkan struktur dan sifat kimia komposit. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mistar dan Muhammad [14], serat kenaf diubah secara kimiawi untuk meningkatkan hidrofobitasnya. Dengan demikian, kompatibilitas antara ikatan serat dan matriks ditingkatkan. *Propionat anhidrida* digunakan dalam penelitian mereka untuk mengubah serat kenaf secara kimiawi. Penelitian tersebut membandingkan karakteristik serat kenaf sebelum dan sesudah modifikasi, termasuk analisis penambahan berat dan struktur morfologi permukaan. Modifikasi juga dilakukan pada tiga tingkat waktu retensi, masing-masing 100, 200, dan 300 menit pada suhu 100 °C. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan berat dan struktur morfologi permukaan yang optimal dicapai selama retensi 200 menit pada suhu reaksi 100 °C. Setelah proses modifikasi serat kenaf, penambahan berat yang ideal sebesar 7.41% (± 0.37) dan struktur morfologi yang lebih bersih dihasilkan dengan mengurangi zat pengotor pada permukaannya.

Selanjutnya, Setiajitt dkk [15] melakukan penelitian tambahan yang melihat bagaimana sifat mekanik komposit kenaf-*polypropylene* (PP) dipengaruhi oleh variasi waktu pengepresan. Metode pengepresan panas digunakan untuk memproses komposit pada suhu 180°C dengan tekanan 7 bar. Waktu pengepresan bervariasi dari 5 hingga 15, 20 hingga 25 menit. *Tension, bending, impact, dan density*

adalah komponen pengujian mekanis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas komposit meningkat seiring dengan waktu pengepresan, yang menunjukkan bahwa *polypropylene* didistribusikan lebih merata dan komposit memiliki pori-pori yang lebih sedikit. Kekuatan bending meningkat seiring dengan waktu pengepresan, mencapai puncaknya pada tiga puluh lima menit dengan peningkatan sebesar dua puluh lima persen dari waktu lima menit. Kekuatan tarik juga meningkat sebesar tiga puluh lima persen dari lima menit ke dua puluh lima menit. Di sisi lain, kekuatan impak tertinggi dicapai pada lima menit pengepresan tetapi menurun dengan waktu pengepresan yang lebih lama. Waktu pengepresan yang lebih lama meningkatkan ikatan antara serat kenaf dan matriks PP, mengurangi void, dan meningkatkan sifat mekanik komposit secara keseluruhan, menurut analisis SEM.

Sifat Mekanik

Sifat mekanik serat merujuk pada bagaimana serat tersebut bereaksi terhadap gaya atau beban yang diterapkannya. Seperti densitas yang bertujuan untuk mengukur massa material per unit volume, kekuatan putus akan menunjukkan kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum gagal atau putus ketika ditarik, modulus elastis dapat mengukur tingkat kekakuan material atau seberapa besar ia dapat ditegangkan sebelum kembali ke bentuk aslinya, yarn *breaking load* dapat mengindikasikan beban maksimum yang dapat ditahan oleh benang sebelum putus, kekuatan tarik merupakan kekuatan yang diperlukan untuk menarik material hingga putus, *elongation* adalah nilai persentase perpanjangan material dari panjang awalnya ketika ditarik hingga putus, kelembapan ialah nilai persentase kandungan air dalam material, yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan daya tahan material.

Berikut ini disajikan tabel 1 sifat mekanik serat kenaf [16] dan *Kevlar 29* [17] di bawah ini :

Tabel 1. Sifat mekanik kenaf dan *Kevlar 29*

| <i>Mechanical properties</i> | <i>Kenaf</i> | <i>Kevlar 29</i> |
|------------------------------------|--------------|------------------|
| <i>Densitas (g/cm³)</i> | 1,2 | 1,44 |
| <i>Kekuatan Putus (MPa)</i> | 100.64 | 2920 |
| <i>Modulus Elastis (GPa)</i> | 23 | 70,3 |
| <i>Yarn Breaking load (N)</i> | 79 | 338 |
| <i>Kekuatan Tarik (MPa)</i> | 283-800 | 3600 |
| <i>Elongation (%)</i> | 17.3 | 4 |
| <i>Kelembapan (%)</i> | 8.3 | 7 |

Dari **Tabel 1.** di atas, dapat dilihat bahwa perbedaan signifikan dalam beberapa aspek utama. Densitas *Kevlar 29* sebesar 1,44 g/cm³ lebih tinggi dibandingkan dengan kenaf yang hanya 1,2 g/cm³, menunjukkan bahwa *Kevlar 29* lebih padat dan berpotensi lebih tahan terhadap tekanan.

Kekuatan putus *Kevlar 29* mencapai 2920 MPa, jauh melampaui kekuatan putus kenaf yang hanya 100,64 MPa, menunjukkan *Kevlar 29* memiliki kemampuan menahan beban yang jauh lebih besar sebelum mengalami kerusakan. Kemudian, modulus elastis *Kevlar 29* sebesar 70,3 GPa juga jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kenaf yang hanya 23 GPa. Ini berarti *Kevlar 29* lebih kaku dan kurang elastis dibandingkan kenaf, membuatnya lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan stabilitas bentuk yang tinggi di bawah beban mekanis. *Yarn breaking load Kevlar 29* sebesar 338 N juga jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kenaf yang hanya 79 N, menunjukkan kekuatan benang *Kevlar 29* untuk menahan beban yang lebih besar, penting dalam aplikasi seperti tali atau kabel yang memerlukan ketahanan tinggi. Kekuatan tarik *Kevlar 29* yang mencapai 3600 MPa lebih unggul dibandingkan dengan kenaf yang berkisar antara 283 hingga 800 MPa. Ini menunjukkan *Kevlar 29* memiliki ketahanan tarik yang jauh lebih tinggi, menjadikannya pilihan utama untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap tarikan ekstrem, seperti dalam pembuatan aplikasi balistik. Namun, kenaf memiliki elongasi yang lebih tinggi sebesar 17,3% dibandingkan *Kevlar 29* yang hanya 4%, menunjukkan bahwa kenaf lebih elastis dan dapat meregang lebih banyak sebelum putus. Hal ini bisa menjadi keuntungan dalam aplikasi yang memerlukan fleksibilitas dan deformasi tanpa putus serta memiliki kemampuan menyesuaikan bentuk. Kelembapan kenaf sebesar 8,3% sedikit lebih tinggi dibandingkan *Kevlar 29* yang 7%, menunjukkan kenaf lebih menyerap air. Ini relevan dalam konteks aplikasi yang berhubungan dengan lingkungan lembap, dengan serat yang lebih menyerap air bisa mengalami degradasi lebih cepat. Dari penjelasan sebelumnya memang benar *Kevlar 29* memiliki nilai yang jauh lebih tinggi untuk kebanyakan sifat mekanik dibandingkan dengan kenaf, yang menunjukkan bahwa *Kevlar 29* memiliki performa yang lebih baik dalam hal kekuatan dan durabilitas. Namun, kenaf memiliki elongasi yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa ia lebih fleksibel dan tahan terhadap deformasi artinya ia mampu untuk menahan perubahan bentuk atau struktur ketika dikenai beban atau tekanan. Kelembapan yang rendah pada kedua material menunjukkan bahwa mereka tahan terhadap pengaruh kelembaban.

Banyak cara untuk menaikkan nilai kenaf agar didapatkan hasil yang baik dan dapat menyaingi *Kevlar* seperti penggunaan matriks yang tepat agar dapat memperbaiki ikatan antara serat kenaf dan matriks, meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan modulus elastisitas. Modifikasi permukaan serat kenaf melalui perlakuan kimia seperti alkali *treatment* dapat meningkatkan adhesi serat dengan matriks polimer, sehingga meningkatkan interaksi mekanis antara serat dan

matriks. Selain itu, penambahan *nanopartikel* seperti *nanoclay* atau *nanotube karbon* dalam matriks komposit juga dapat meningkatkan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan termal komposit kenaf. Optimasi parameter proses seperti tekanan, suhu, dan waktu pengepresan dalam *metode hot press* atau *injection molding* dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit kenaf, dengan penelitian menunjukkan bahwa waktu pengepresan yang optimal dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit. Menggabungkan serat kenaf dengan serat lain seperti serat kaca atau serat karbon dalam komposit *hybrid* dapat meningkatkan kekuatan mekanik, mengurangi kekurangan masing-masing jenis serat. Selain itu, desain struktur laminasi dengan orientasi serat yang optimal juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit kenaf, dengan penelitian menunjukkan bahwa orientasi serat yang berbeda dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit.

Seperti Penelitian oleh Putra dkk [18], yang menghasilkan material komposit hibrida serat kenaf alam yang diperkuat dengan matriks *E-Glass* dan serat sintesis *polypropylene*. membuat komposit hibrida secara manual selama 15 menit menggunakan mesin *hot press* hasil rekayasa pada 165–170°C dan tekanan press 25 kg/cm². Sebelum membuat komposit, permukaan serat kenaf dialkalisasi selama empat jam dalam larutan yang mengandung 6% NaOH. Serat kenaf dan *E-Glass* memiliki perbandingan persen volume (% volume) yang berbeda pada jam 10 pagi, 15 sore, dan 10 malam. Ada perbedaan antara tiga puluh dan tujuh puluh persen antara serat dan matriks. Uji tarik spesimen komposit hibrida dilakukan dengan mengacu pada ASTM D638-02. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume serat kenaf meningkatkan kekuatan tarik komposit hibrida, dengan kekuatan tarik maksimum 48.36 MPa pada perbandingan serat kenaf dan *E-Glass* (20:10). Ikatan lebih baik antara serat kenaf dan matriks ditunjukkan oleh analisis morfologi struktur patahan uji tarik menggunakan SEM.

Kemudian, penelitian oleh Chee dkk [19] yang bertujuan untuk mempelajari sifat mekanik dan mekanik dinamis dari komposit hibrid bambu *non-woven* (B)/kenaf *woven* (K)/epoksi (E) yang diisi dengan *nanoclay*. Komposit hibrid BK/E yang diisi *nanoclay* disiapkan dengan mendispersikan 1 wt.% *nanoclay* (*montmorillonit* yang dimodifikasi secara organik (MMT; OMMT), *montmorillonit* (MMT), dan *halloysite nanotube* (HNT)) menggunakan *homogenizer* kecepatan tinggi diikuti dengan teknik fabrikasi *hand lay-up*. Pengaruh penambahan *nanoclay* terhadap sifat tarik, lentur, dan dampak dari nanokomposit hibrid. BK/E-OMMT menunjukkan peningkatan sifat mekanik dibandingkan nanokomposit hibrid lainnya, dengan nilai kekuatan tarik, lentur, dan dampak masing-masing sebesar 55,82 MPa, 105

MPa, dan 65,68 J/m. Analisis statistik dan informasi pengelompokan dilakukan dengan *one-way* ANOVA (analisis varians) dan metode tukey, yang menguatkan bahwa sifat mekanik nanokomposit hibrid yang diisi *nanoclay* secara statistik signifikan. Modulus simpanan dari nanokomposit hibrid meningkat sebesar 98,4%, 41,5%, dan 21,7% dengan penambahan OMMT, MMT, dan HNT, masing-masing. Morfologi dari fraktur tarik komposit BK/E-OMMT menunjukkan lebih sedikit void, mikro retakan, dan penarikan serat karena adhesi serat-matriks yang kuat dibandingkan dengan komposit hibrid lainnya.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto [20] akan mempelajari bagaimana variasi sulfur 25 dan 30 phr (per *hundred rubber*) memengaruhi kekuatan tarik komposit diperkuat serat kenaf dan karet bermetrik keras alami (*Ebonite*). Metode cetak tekan panas (*Hot Press Mold*) digunakan untuk membuat komposit. Serat kenaf yang mengandung *ebonite* membentuk komposit. Fraksi berat serat kenaf adalah 8%, dan metode pengujian tarik didasarkan pada standar ASTM D 638-02. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sulfur antara 25 dan 30 phr meningkatkan kekuatan tarik komposit diperkuat serat kenaf. Komposit diperkuat serat kenaf memiliki kekuatan tarik antara 12 dan 29 Mpa, dengan variasi sulfur 30 phr.

Kemudian penelitian juga dilakukan oleh Jaafar dkk [21] dengan mengukur kinerja mekanik epoksi yang dimodifikasi dengan silika pada berbagai konsentrasi natrium hidroksida untuk perlakuan permukaan kenaf multi-sumbu. Resin epoksi dengan pengeras amina dimodifikasi dengan bubuk silika sebesar 20 phr dan diperkuat oleh serat kenaf yang direndam dalam berbagai konsentrasi *natrium hidroksida* (NaOH) berkisar dari 0% hingga 9% berat. Komposit tersebut dianalisis melalui *diferensial scanning calorimetry* (DSC) untuk memastikan proses *curing* selesai. Sifat mekanik komposit dianalisis melalui uji lentur, uji impak *Charpy*, dan DSC untuk memastikan proses *curing* selesai. Hasil analisis DSC menunjukkan sampel epoksi benar-benar *cured* pada suhu di atas 73°C yang memverifikasi suhu *curing* untuk persiapan komposit. Oleh karena itu, komposit yang diperlakukan dengan 3% NaOH menunjukkan sifat mekanik terbaik, dengan kekuatan impak 10.6 kJ/m², kekuatan lentur 54.1 MPa, dan modulus lentur 3.5 GPa. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kompatibilitas serat-matriks. Analisis dengan SEM juga mengungkapkan bahwa permukaan serat kenaf yang diolah dengan 3% NaOH menunjukkan permukaan yang lebih bersih yang pada masanya akan meningkatkan interaksi permukaan antara serat dan matriks komposit.

Sifat Balistik

Balistik adalah ilmu mekanika yang mempelajari perilaku dan efek proyektil, seperti peluru dan roket, serta desain dan akselerasinya untuk mencapai performa optimal. Ilmu balistik terbagi menjadi tiga kategori: balistik interior, balistik eksternal, dan balistik terminal. Kadang-kadang, balistik menengah juga disertakan. Balistik eksternal mempelajari perilaku proyektil setelah keluar dari senjata, sedangkan balistik interior mempelajari interaksi antara senjata dan proyektil sebelum proyektil diluncurkan. Dua aspek utama balistik eksternal adalah koefisien balistik, yang menentukan laju penurunan kecepatan proyektil, dan kecepatan moncong, yang memengaruhi jangkauan maksimum dan waktu tempuh proyektil. Kombinasi keduanya bersama dengan gravitasi membentuk lintasan peluru. Balistik terminal mempelajari efek proyektil pada bahan lunak dan pelindung, seperti saat proyektil mengenai target [22].

Kemampuan material guna menahan proyektil berkecepatan tinggi tergantung pada penyerapan energinya dan jumlah bahan yang terlibat dalam penyerapan energi tersebut. Luasan di bawah kurva tegangan-regangan menentukan efisiensi penyerapan energi. Penggunaan resin *termosetting*, termoplastik, atau elastomer sebagai matriks dalam komposit dapat mengurangi deformasi balistik. Matriks berfungsi sebagai medium pengikat dan penyebar tegangan antar benang, sehingga meningkatkan konsentrasi tegangan pada titik impak dan menurunkan performa peluru. Untuk aplikasi seperti helm dan kendaraan militer, diperlukan struktur yang lebih baik guna perlindungan balistik, sehingga penting memilih sistem resin yang menghasilkan komposit dengan sifat balistik terbaik dan deformasi minimal [23].

Penelitian yang dilakukan oleh Hafizh dkk. [1] memanfaatkan komponen komposit partikel yaitu matriks resin *epoxy Bisphenol A* dan penguat serat kenaf, diterapkan pada helm anti peluru. Guna meningkatkan keselamatan, kombinasi ini digunakan menentukan total lembar serat kenaf yang mampu melawan daya peluru. Analisis dilakukan dengan simulasi numerik, mengubah ketebalan lembaran serat kenaf hingga tercapai ketebalan ideal. Hasil simulasi menunjukkan 9 lembar serat kenaf *epoxy* terdapat modulus elastisitas 7,2575 GPa dan kekuatan tekan 169,25 N/mm², sesuai standar *National Institute of Justice* di Amerika Serikat. Penelitian ini juga memvariasikan ketebalan hingga 12 dan 15 lembar, dengan hasil masing-masing modulus elastisitas 6,6722 GPa dan 6,6125 GPa, serta kekuatan tekan yang sama, yaitu 169,25 N/mm². Simulasi dengan *Ansys R.17* menunjukkan 15 lembar serat kenaf paling aman akan daya peluru.

Selain itu, Abram [24] mengembangkan helm anti peluru menggunakan komposit diperkuat serat kenaf (*hibiscus cannabinus*) berkekuatan mekanis baik, biaya

produksi rendah, ramah lingkungan, dan mudah dijumpai di Indonesia. Produksi helm menggunakan mekanisme *open molding (hand lay-up)*. Serat kenaf rajutan guna menjadi penegak, dikombinasikan dengan matriks resin epoxy, dan jumlah lembarannya divariasikan berdasarkan massa tolak ukur tim angkatan darat. Tes balistik tahap I melalui peluru caliber 22 dilakukan setara acuan *National Institute of Justice* 0108.01. Uji kekuatan fleksi berguna menemukan sifat mekanis tambahan. Hasil uji balistik menyatakan peluru *caliber* 22 mampu menembus semua sampel, namun sampel 9 lembar hanya mengalami perforasi sebagian, sedangkan sampel dengan 3 dan 6 lembar mengalami perforasi penuh. Analisis mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan *macrostructure fractography* menyatakan kenaikan total lembar serat ini signifikan meningkatkan energi absorpsi. Penelitian ini menunjukkan bahwa serat kenaf rajutan dapat digunakan sebagai material tahan peluru untuk helm anti peluru.

Kemudian, dalam penelitian Akubue dkk [25] melakukan pengujian komposit polietilena yang diperkuat dengan serat kenaf untuk perlindungan balistik. Sampel serat kenaf non-woven yang telah diolah dengan perlakuan alkali dan dipotong sesuai dimensi yang dibutuhkan, lalu diorientasikan secara vertikal dan horizontal bersama polietilena murni berdensitas tinggi (*virgin high density polyethylene* (VHDPE)). Panel komposit dibuat menggunakan pengaturan 3 variabel *Box-Behnken*, dengan suhu cetak 160°C-200°C, waktu cetak 60-80 menit, dan fraksi volume serat 10%-30% berdasarkan massa kering dalam cetakan kompresi baja ringan dua bagian. Tekanan untuk pemanasan dan pendinginan diatur pada angka 12MPa. Nilai respons seperti tarik dan lentur ditentukan dan dioptimalkan. Sampel komposit VHDPE untuk uji balistik dicampur berdasarkan pengaturan optimal: suhu 200°C, waktu cetak 80 menit, dan fraksi volume serat 30%, kemudian diuji dengan senapan *Jojeff Magnum*. Sifat mekanik dan balistik dari panel komposit VHDPE ditentukan. Studi ini mengungkapkan bahwa volume serat pada 30% mampu melindungi terhadap Kelas Perlindungan Armor standar NIJ level III-A untuk komposit VHDPE. Serat kenaf memiliki karakteristik yang mendukung penggunaannya dalam industri, khususnya sebagai bahan baku untuk *armor* balistik.

PENUTUP

Simpulan

Penggunaan serat alami kenaf sebagai pengganti serat sintetis *Kevlar* dalam pembuatan komposit untuk anti-peluru menawarkan potensi yang menjanjikan. Meskipun memiliki perbedaan dalam karakteristik mekanik dan balistik, banyak cara untuk meningkatkan nilai kenaf agar

menghasilkan komposit yang kompetitif dengan *Kevlar*, penggunaan matriks yang tepat diperlukan untuk memperbaiki ikatan antara serat kenaf dan matriks. Modifikasi permukaan serat kenaf melalui perlakuan kimia seperti alkali *treatment* dapat meningkatkan adhesi serat dengan matriks polimer. Penambahan nanopartikel dalam matriks komposit juga dapat meningkatkan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan termal komposit kenaf. Optimasi parameter proses seperti tekanan, suhu, dan waktu pengepresan dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit kenaf, serta menggabungkan serat kenaf dengan serat lain dalam komposit *hybrid* juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik. Selain itu, desain struktur laminasi dengan orientasi serat yang optimal juga penting untuk meningkatkan kekuatan mekanik komposit kenaf. Alternatif yang *viable* dan ramah lingkungan sebagai pengganti *Kevlar*. Keberlanjutan lingkungan, efisiensi biaya, dan ketersediaan lokal menjadi faktor penting dalam penelitian ini. Potensi kenaf sebagai bahan lokal yang mudah didapatkan di Indonesia menambah nilai dalam pengembangan industri pertahanan di negara tersebut.

Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji performa balistik serat kenaf dalam berbagai kondisi, termasuk variasi proyektil dan kecepatan. Kedua, optimasi struktur komposit perlu dieksplorasi lebih lanjut, termasuk penyesuaian jumlah lembaran dan penggunaan matriks resin yang lebih cocok. Selain itu, analisis dampak lingkungan dari produksi dan penggunaan anti-peluru berbahan dasar serat kenaf perlu dilakukan untuk memperkuat argumen keberlanjutan lingkungan. Selain itu, aspek praktis seperti efisiensi produksi dan analisis biaya juga perlu diperhatikan. Studi komprehensif mengenai proses manufaktur serat kenaf menjadi komposit untuk anti-peluru perlu dilakukan untuk mengidentifikasi langkah-langkah yang dapat dioptimalkan dalam skala produksi besar. Penelitian ini harus mencakup analisis biaya produksi dari bahan mentah hingga produk jadi, termasuk penghitungan biaya tenaga kerja, energi, dan peralatan. Selain itu, eksplorasi terhadap teknologi produksi yang dapat mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi sangat penting untuk membuat serat kenaf menjadi alternatif yang kompetitif secara ekonomi dibandingkan dengan *Kevlar*. Melibatkan pakar dari bidang manufaktur dan ekonomi akan memberikan perspektif yang lebih lengkap dan realistis mengenai potensi implementasi serat kenaf dalam industri pertahanan.

Selain fokus pada performa balistik dan aspek praktis, penelitian lebih lanjut juga perlu menyertakan kajian dampak lingkungan yang lebih mendalam terkait penggunaan serat kenaf. Analisis siklus hidup (*Life Cycle*

Assessment (LCA)) dari serat kenaf, mulai dari budidaya tanaman hingga pembuatan anti-peluru dan akhirnya pembuangan atau daur ulang produk, akan memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dampak lingkungan. Kajian ini perlu mencakup penggunaan air, emisi karbon, dan potensi polusi lainnya sepanjang siklus hidup produk. Kemudian, perlu dilakukan penelitian mengenai praktik pertanian berkelanjutan untuk budidaya kenaf, termasuk penggunaan pupuk organik dan metode pengendalian hama yang ramah lingkungan. Mengidentifikasi dan mengimplementasikan praktik terbaik untuk mengurangi jejak lingkungan akan memperkuat argumen bahwa serat kenaf tidak hanya viable secara teknis dan ekonomis, tetapi juga berkontribusi positif terhadap keberlanjutan lingkungan. Kolaborasi dengan ahli lingkungan dan agronomi akan sangat bermanfaat dalam melakukan kajian ini. Terakhir, diseminasi hasil penelitian melalui berbagai platform akan membantu meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang potensi serat kenaf dalam bidang ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hafizh. Rahmat, Ismojo dan D. Suastiyanti, "Study Perbandingan Serat Jute Jawa dan *Kevlar* Sebagai Penguat Epoxy untuk Aplikasi Helm Anti Peluru Berdasarkan Analisis Numerik," *JURNAL TEKNIK MESIN – ITI*, Vol. 1 , No 2, hal. 37-45, 2020. doi: 10.31543/jtm.v4i2.400
- [2] Dedi, "Dosen UNY Teliti Serat Rami Sebagai Bahan Anti Peluru," Universitas Negeri Yogyakarta, 2 September 2022. [Online]. Available: <https://www.uny.ac.id/id/berita/dosen-uny-teliti-serat-rami-sebagai-bahan-anti-peluru>. [Diakses 2 April 2024].
- [3] Darmawan. Rizky, "Rompi Anti Peluru Terbuat dari Bahan Apa? Begini Faktanya", 9 September 2022. [Online]. Available: <https://sains.sindonews.com/read/880897/768/rompi-anti-peluru-terbuat-dari-bahan-apa-begini-faktanya-1662718148>. [Diakses 3 April 2024].
- [4] Yunanda. Winka Winko, Fiorentina Nurhakim, Nadia Aurora Soraya, "Strategi Menjaga Kedaulatan Bangsa Demi Keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia Di Era Society 5.0 Dalam Perspektif Ilmu Pertahanan Dan Bela Negara". *Jurnal Kewarganegaraan*, Vol. 6, No. 1, hal.1195-1202, 2022. doi:10.31316/jk.v6i1.2696
- [5] Bahankain, "Mengenal *Kevlar*, Serat Buatan Berkarakter Ringan Namun Lebih Kuat Dari Baja", 2 April 2023. [Online]. Available: <https://www.bahankain.com/2023/02/04/mengenal-Kevlar-serat-buatan-berkarakter-ringan-namun-lebih-kuat-dari-baja>. [Diakses 25 April 2024].
- [6] Burhanuddin, TEKNOLOGI DAN REKAYASA MATERIAL POLIMER KOMPOSIT. Makasar: Prodi Teknik Arsitektur UIN Alauddin, 2015.
- [7] Deborah D.L. Chung, *Composite Materials: Science and Applications*, London: Springer. London, 2010.
- [8] Gurunathan, T., Mohanty, S. and Nayak, S.K. (2015) "A Review of the Recent Developments in Biocomposites Based on Natural Fibres and Their Application Perspectives". *Composites: Part A*, hal.1-25, 2015. doi: 10.1016/j.compositesa.2015.06.007
- [9] N. I. A. Razak, N. A. Ibrahim, N. Zainuddin, M. Rayung, and W. Z. Saad, "The influence of chemical surface modification of kenaf fiber using hydrogen peroxide on the mechanical properties of biodegradable kenaf fiber/poly(Lactic Acid) composites," *Molecules*, vol. 19, no. 3, pp. 2957–2968, 2014, doi 10.3390/molecules19032957.
- [10] Zampaloni, M, F. Pourboghra, S.A. Yankovich, B.N. Rodgers, J. Moore, L.T. Drzal, A.K. Mohanty, M. Misra, "Kenaf natural fiber reinforced polypropylene composites: A discussion on manufacturing problems and solutions," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol 38, hal. 1569–1580, 2007. doi: 10.1016/j.compositesa.2007.01.001
- [11] D. Ariawan, M. S. Salim, R. M. Taib, M. Z. A. Thirmizir, Z. M. Ishak. 2018. "Interfacial characterization and mechanical properties of heat-treated non-woven kenaf fiber and its reinforced composites". *Compos. Interfaces*, vol. 25, hal.187–203, 2018. doi: 10.1080/09276440.2017.1354562
- [12] Z. Azwa, B. Yousif, Z. Azwa, B. Yousi, "Characteristics of kenaf fibre/epoxy composites subjected to thermal degradation", *Polym. Degrad. Stab*, vol. 98, hal. 2752–2759, 2013. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.10.008
- [13] M. Bernard, A. Khalifa, A. Ali, R. Janius, M. Faizal, K. Hasnah, A. Sanuddin, "The effect of processing parameters on the mechanical properties of kenaf fiber plastic composite". *Mater. Des*, vol. 32, hal. 1039–1043, 2011,
- [14] E. M. Mistar and M. Muhammad, "Modifikasi Serat Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Menggunakan Anhidrida Propionat," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 8, no. 4, 2023, doi: 10.32672/jse.v8i4.6687.
- [15] S. B. Setiajit, W. W. Raharjo, and H. Sukanto, "Pengaruh waktu pengepresan terhadap sifat mekanik komposit kenaf / polypropylene," 2016.
- [16] Kiron. Mazharul Islam, 2021. "Kenaf Fiber: Properties, Cultivation, Production, Uses and Advantages", 10 Mei 2021. [Online]. Available: <https://textilelearner.net/kenaf-fiber-properties/>. [Diakses 21 Mei 2024].

- [17] DuPont, *KEVLAR® ARAMID FIBER TECHNICAL GUIDE*, Richmond: DuPont, 2017.
- [18] D. Rahman Putra, H. Sosiati, and C. Budiyanoro, "KARAKTERISASI SIFAT-SIFAT TARIK KOMPOSIT LAMINAT HIBRIDA KENAF/E-GLASS YANG DIFABRIKASI DENGAN MATRIKS POLYPROPYLENE," 2017. [Online]. Available: <http://journal.umy.ac.id/index.php/jmpm>
- [19] S. S. Chee, M. Jawaid, O. Y. Alothman, and H. Fouad, "Effects of nanoclay on mechanical and dynamic mechanical properties of bamboo/kenaf reinforced epoxy hybrid composites," *Polymers*, vol. 13, no. 3, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/polym13030395.
- [20] A. Hariyanto, "Hard Rubber Composite Diperkuat Serat Kenaf Untuk Panel," *Media Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 68–72, 2014.
- [21] C. N. A. Jaafar, M. A. M. Rizal, and I. Zainol, "Effect of Kenaf Alkalization Treatment on Morphological and Mechanical Properties of Epoxy/Silica/Kenaf Composite," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, pp. 258–263, 2018.
- [22] L. Wang, Sinnappoo Kanesalingam, Rajkishore Nayak, Rajiv Padhye, "Recent Trends in Ballistic Protection", *Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST)*, Vol 3, 2014. doi: 0.14355/tlist.2014.03.007
- [23] J R. Brown And G. T, Egglestone, "Ballistic Properties of Composite Materials for Personnel Protection," Maribymong: Materials Research Laboratory, 1989.
- [24] Abram. Kevin, "Studi Kelayakan Pemanfaatan Serat Kenaf (*Hibiscus Cannabicus*) sebagai Penguat pada Komposit Hibrid Berbasis Resin Epoksi untuk Aplikasi Helm Anti Peluru", Skripsi, Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2020.
- [25] Akubue PC, Igbokwe PK, and Nwabanne JT, "Production of Kenaf Fibre Reinforced Polyethylene Composite for Ballistic Protection," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 6, no. 8, 2015, [Online]. Available: <http://www.ijser.org>