



## Fabrikasi dan Analisis Material Komposit Anti Peluru *Carbon Fiber-Epoxy Resin* Berpenguat Nanokristal Selulosa Berbasis Limbah Kertas

Firza Roehafi\*, Herman Aldila

Program Studi Fisika, Universitas Bangka Belitung  
Balunijuk, Merawang, Kabupaten Bangka, 33172, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung,  
Indonesia

\*E-mail korespondensi: sman1pkp.firzaroeahafi@gmail.com

### Info Artikel:

Dikirim:  
8 Agustus 2025  
Revisi:  
8 Desember 2025  
Diterima:  
24 Desember  
2025

### Kata Kunci:

Bulletproof  
Composite, Waste  
Paper,  
Nanocrystalline  
Cellulose

### Abstract

Waste paper contains up to 64.84% cellulose, making it a potential raw material for the synthesis of nanocrystalline cellulose (NCC) via sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) hydrolysis. The use of 1M  $H_2SO_4$  produced NCC with favorable characteristics, including a cellulose purity of 80.79%, a crystallinity index of 88.73%, and a crystal size of 3.18 nm. Subsequently, bulletproof composites were fabricated using carbon fiber-epoxy resin reinforced with nanocrystalline cellulose. The independent variable in this study was the ratio between nanocrystalline cellulose powder and epoxy resin. The fabricated bulletproof composites measured 200 × 200 mm in area and had a thickness of 20 mm. The results showed that composites containing 0% and 10% NCC (designated as KAP-01 and KAP-02) were capable of withstanding the impact of 9×19 mm handgun bullets, meeting the requirements of NIJ Standard-0101.04 Level IIIA. However, the bulletproof composites in this study were not able to resist penetration from 5.56×45 mm rifle rounds.

## PENDAHULUAN

Dalam dunia militer dan pertahanan, kebutuhan akan peralatan militer semakin bertambah seiring dengan kemajuan teknologi. Inovasi yang dikembangkan dalam pembuatan pelindung balistik dari material yang ramah lingkungan (*green material*) menjadi salah satu solusi bagi peralatan militer yang lebih ringan, efisien dan aman dalam melindungi dengan baik terhadap peluru [10]. Rompi anti peluru banyak digunakan oleh personel militer untuk menjamin keamanan dari serangan proyektil dan penyebaran bahan peledak. Rompi anti peluru mencegah perpindahan energi dari proyektil ke tubuh, khususnya dada, perut, dan punggung [12]. Rompi anti peluru yang dikenakan harus nyaman dipakai, tidak berat, tidak membatasi pergerakan, dan harus memberikan ruang yang cukup untuk penggunaan dalam jangka waktu lama disediakan untuk digunakan pada suhu sedang dan relatif tinggi [19].

Bagian utama dalam rompi anti peluru adalah plat yang terbuat dari material komposit. Material komposit merupakan material gabungan yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda sehingga menghasilkan material baru dengan sifat dan karakteristik yang berbeda dari bahan-bahan asalnya [17]. Salah satu material yang ramah lingkungan, dapat didaur ulang, dan

terurai secara alami untuk mencapai hal ini adalah komposit dengan penguat serat alami karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi daripada bahan teknik lainnya [1].

Penelitian sebelumnya melakukan analisis terhadap material komposit poliester berpenguat serat karbon, rami dan kapas mendapatkan hasil rompi anti peluru dengan ketebalan 15 mm dapat menahan laju peluru tembak Pistol G2 *Elite* Pindad yang setara dengan standar NIJ 0101.04 level III dengan jarak tembak 15 meter [18]. Penelitian lainnya menggunakan kombinasi serat karbon dan HGM dengan hasil penurunan penetrasi diakibatkan karena sifat material HGM dan serat karbon yang kuat; ketangguhan dan kekakuan yang baik. Komposit dengan ketebalan 20 mm memberikan hasil penurunan energi kinetik dari energi peluru sebesar 348.27 Joule, energi kinetik yang melewati sebesar 138, 77 Joule dengan kedalaman penetrasi 5,54 mm, dan energi yang dilewatkan ke tubuh lebih kecil dari 170 Joule [12].

Salah satu produk dari serat alami adalah kertas yang akan dibuang menjadi limbah kertas. Limbah kertas pada dasarnya dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa dengan kandungan yang cukup tinggi yaitu 64,84% khususnya kertas HVS bekas [16]. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik, selulosa limbah kertas direkayasa menjadi *Nanocrystalline cellulose* (NCC). Nanokristal selulosa bersifat *biodegradable*, sumbernya banyak dan dapat diperbaharui, serta sifat mekaniknya yang sangat baik sehingga mudah dikombinasikan dengan polimer lainnya [13]. Dengan kandungan selulosa yang tinggi dan sifat kristalinitas yang baik, selulosa nanokristal berbasis limbah kertas sangat berpotensi menjadi penguat (*Reinforcement*) pada material komposit anti peluru.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini mengembangkan komposit anti peluru berpenguat ganda, yakni *nanocrystalline cellulose* berbasis limbah kertas dan *carbon fiber* dengan standar pengujian yang digunakan adalah tipe III-A hingga tipe III, NIJ 0101.04. Adapun pengikat (matriks) yang digunakan pada komposit adalah resin *epoxy*. Nanokristal selulosa dihidrolisis menggunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dari bahan dasar selulosa yang diekstrak dari limbah kertas melalui proses delignifikasi. Inovasi ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap kemajuan teknologi militer yang ramah lingkungan, efektif, aman dan terjangkau.

## **METODE PENELITIAN**

### **Bahan Dan Alat Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah kertas konvensional, Larutan natrium hidroksida (NaOH) *merch* 12%, Larutan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) *merch* 30%, larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) 95%, aquades, serat karbon (*carbon fiber*), dan *resin epoxy* beserta katalis. Sedangkan alat yang digunakan terdiri dari gelas kimia, gelas ukur, corong, *magnetic stirrer*, *oven*, *blender*, ayakan 325 mesh, neraca analitik, kertas saring whattman 41, pipet tetes, spatula/pengaduk, tabung reaksi, *refluks*, *furnace*, cetakan custom komposit anti peluru dan klem. Perangkat lunak yang digunakan berupa *software* Origin85 dan Microsoft Excel.

### **Prosedur Penelitian**

#### **1. Preparasi Limbah Kertas Konvensional**

Limbah kertas dibersihkan dari kotoran dan dirobek hingga menjadi kecil. Kertas yang sudah menjadi kecil direndam selama 3 x 24 jam agar sisa kotoran dan tinta yang melekat pada kertas terbuang dalam air rendaman. Selanjutnya, kertas yang sudah menjadi bubur (*pulp*) dikeringkan hingga kadar air menghilang. Kertas yang sudah mengering kemudian dihaluskan menggunakan blender hingga menjadi serbuk kertas.

#### **2. Ekstraksi Selulosa Limbah Kertas dengan Metode Delignifikasi**

Serbuk limbah kertas bekas dilarutkan dalam basa kuat NaOH (Natrium Hidroksida) dengan konsentrasi 12%. Kemudian panaskan pada suhu 100°C selama 120 menit. Langkah selanjutnya adalah mencuci sampel dengan air suling (aquades) hingga tercapai pH netral. Refluks kemudian disaring untuk mendapatkan padatan. Padatan refluks serbuk kertas kemudian dikeringkan hingga bebas dari kelembapan. Selanjutnya refluks serbuk limbah kertas dicampur dengan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dengan konsentrasi 30%. Selanjutnya dipanaskan pada suhu 100 °C selama 120 menit. *Refluks* kemudian disaring, dicuci hingga pH netral, dan dikeringkan dalam oven. Selanjutnya diayak hingga diperoleh serbuk selulosa.

### 3. Sintesis Nanocrystalline Cellulose (Nanokristal Selulosa) Berbasis Limbah Kertas dengan Metode Hidrolisis Asam

Serbuk selulosa limbah kertas dihidrolisis dengan asam sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada konsentrasi 1M selama 4 jam pada suhu 80 °C sambil diaduk terus-menerus menggunakan magnetic stirer. Spesimen kemudian didinginkan dengan menambahkan air suling (aquades) dalam jumlah yang besar hingga spesimen terendam sempurna dan biarkan pada suhu kamar selama 24 jam hingga netral. Langkah selanjutnya adalah penyaringan dan pencucian hingga pH menjadi netral. Kemudian spesimen pengeringan hingga kadar air hilang. Selanjutnya, dilakukan pengayakan menggunakan ayakan 325 mesh hingga diperoleh serbuk nanokristal selulosa (*Nanocrystalline Cellulose*).

### 4. Karakterisasi Nanocrystalline Cellulose (Nanokristal Selulosa) Limbah Kertas

#### 4.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus fungsional dan kandungan senyawa yang terdapat pada sampel nanokristal selulosa. Parameter keberhasilan uji ini adalah adanya puncak gelombang yang menunjukkan gugus fungsi yang sesuai dengan adanya keberadaan selulosa pada sampel nanokristal selulosa yang sangat tinggi dengan impuritas yang rendah.

#### 4.2 Uji Kandungan Selulosa Limbah Kertas Metode Chesson-Datta

Serbuk nanokristal selulosa limbah kertas ditimbang 1 gram sampel sebagai massa (a), kemudian direfluks dalam 120 ml air suling (aquades) pada suhu 100 °C selama 1 jam. Hasil refluks kemudian disaring, dikeringkan untuk ditimbang sebagai massa (b). Residu yang ditimbang kemudian direfluks dengan 150 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 0,5 M pada suhu 100°C selama 1 jam, kemudian disaring, dikeringkan dan ditimbang kembali sebagai massa (c). Residu yang dihasilkan kemudian direndam dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan kadar 72% selama 4 jam, kemudian disaring, dikeringkan dan ditimbang kembali massa (d). Kemudian spesimen (d) dibakar hingga hangus dan didapatkan massa (e). Data massa yang didapatkan kemudian diolah dengan persamaan (1) hingga persamaan (3).

$$\text{Kandungan Hemiselulosa} = \frac{b-c}{a} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Kandungan Selulosa} = \frac{c-d}{a} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Kandungan Lignin} = \frac{d-e}{a} \times 100\% \quad (3)$$

#### 4.3 X-Ray Diffraction

Uji XRD perlu dilakukan untuk mengetahui kristalinitas serta ukuran kristal dari nanokristal selulosa sebagai justifikasi keberhasilan dari metode hidrolisis asam dalam sintesis nanokristal selulosa.

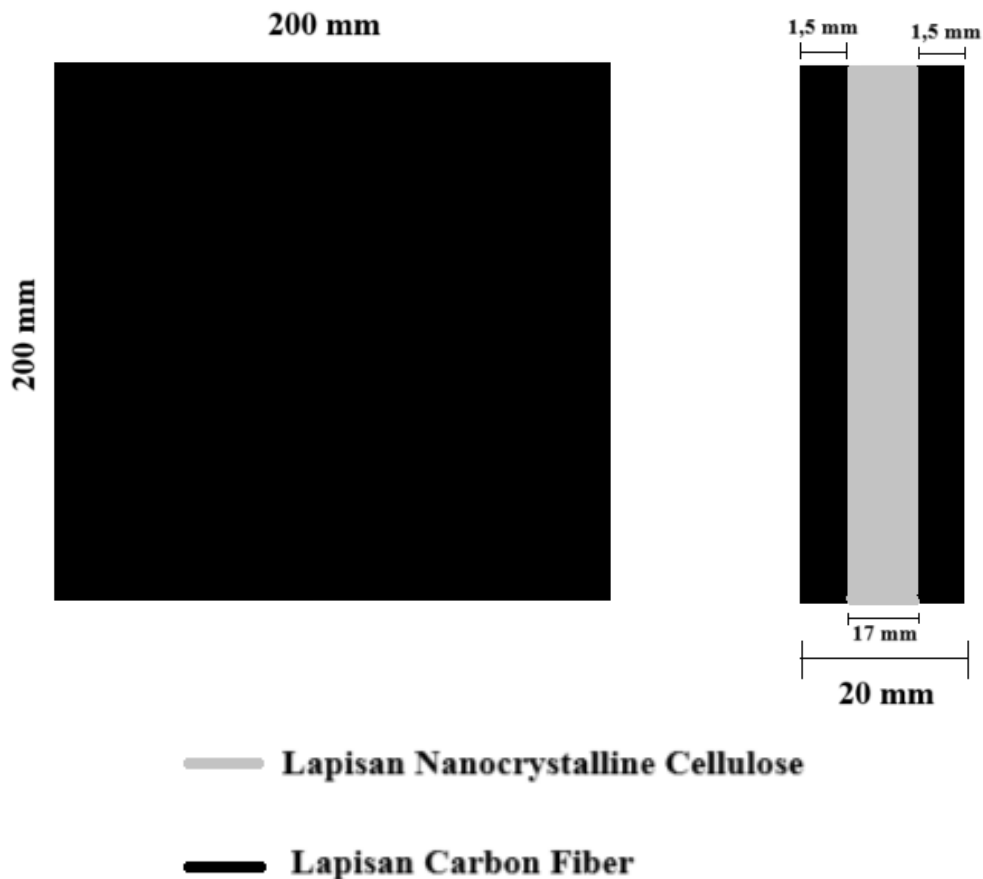
### 5. Fabrikasi Komposit Anti Peluru

Pada penelitian ini, formulasi variasi dilakukan pada perbandingan komposisi antara resin epoxy-katalis dan serbuk nanokristal selulosa seperti pada tabel 1. Kedua material tersebut menjadi variabel bebas dalam penelitian ini.

**Tabel 1.** Perbandingan komposisi resin epoxy-katalis dan nanokristal selulosa

Kode Sampel	Perbandingan Komposisi	
	Resin Epoxy	Nanocrystalline Cellulose
KAP-01	100 %	0 %
KAP-02	90 %	10 %
KAP-03	70 %	30 %
KAP-04	50 %	50 %

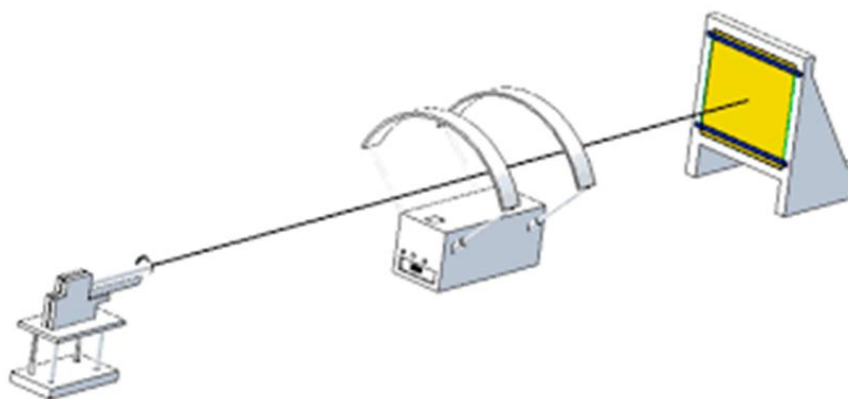
Pembuatan komposit anti peluru dilakukan dengan mencampurkan antara resin epoxy-katalis dan serbuk nanokristal selulosa kemudian diaduk hingga homogen. Campuran kemudian dituang kedalam cetakan dengan luas 200 mm x 200 mm dan diklem agar campuran membentuk plat saat dijemur hingga mengeras. Ukuran plat memiliki ketebalan 17 mm yang kemudian dilapisi oleh carbon fiber 200 gsm yang memiliki ketebalan 0,3 mm dengan 10 lapis dengan pola wafer (5 lapis dibawah dan diatas plat) sehingga ketebalan keseluruhan komposit anti peluru adalah 20 mm.



**Gambar 1.** Skema Komposit Anti Peluru

## 6. Uji Balistik (Uji Tembak)

Pengujian balistik dilakukan pada spesimen uji mengacu pada standar NIJ 0101.04. yang diterbitkan oleh Department of Justice USA. Komposit anti peluru ditembak dengan jarak 10 m sebanyak 1 kali tembakan menggunakan 2 jenis peluru: peluru kaliber 9 mm dan 5,56 mm. Unit senjata yang digunakan adalah Pistol HS-9 (Peluru 9 mm) dan Senapan Laras Panjang Steyr AUG (5,56 mm). Parameter uji yang didapatkan berupa penetrasi peluru, diameter lubang dampak dan back face signature terhadap material komposit anti peluru.



**Gambar 2.** Skema pengujian balistik [4]



**Gambar 3.** Pistol HS-9 (9 x 19 mm) dan Senapan Serbu Steyr AUG (5,56 x 45 mm)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

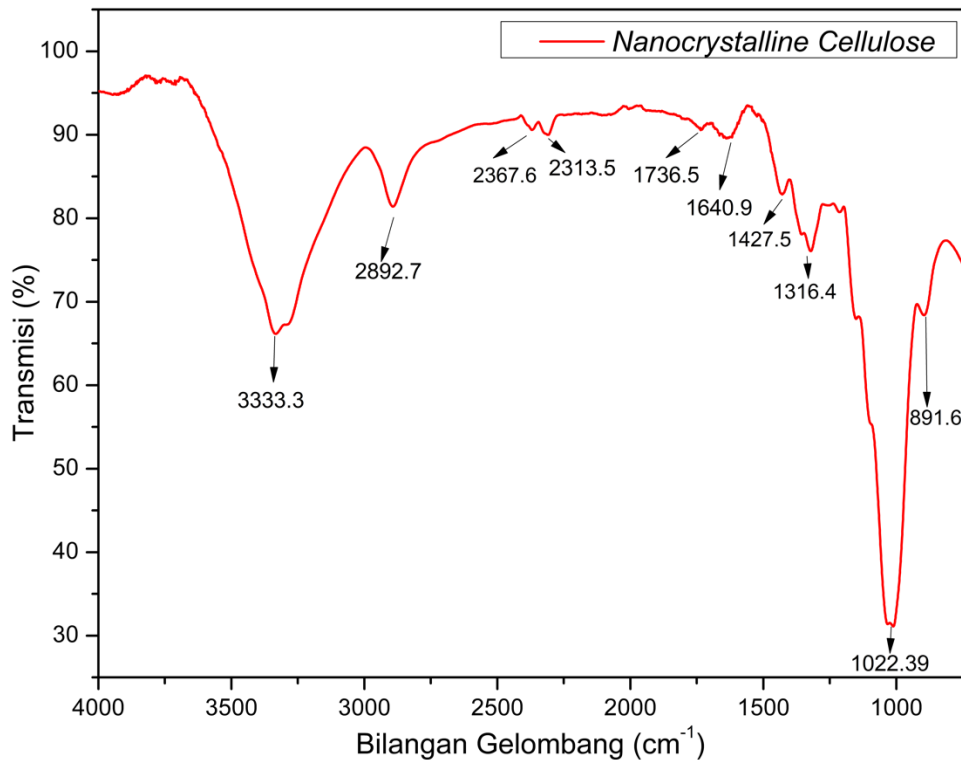
### Sintesis dan Karakteristik *Nanocrystalline Cellulose* (NCC) Berbasis Limbah Kertas



**Gambar 4.** Serbuk nanokristal selulosa limbah kertas

Selulosa hasil ekstraksi dilakukan proses hidrolisis asam sulfat menggunakan  $H_2SO_4$  dengan variasi konsentrasi 1 M. Asam sulfat digunakan dalam hidrolisis asam pada penelitian ini, karena asam sulfat merupakan asam yang reaktif dan mudah menguraikan lapisan lignin pada selulosa, sehingga menghasilkan serbuk berukuran lebih kecil seperti yang ditunjukkan gambar 4 [6]. ekstraksi dengan  $H_2SO_4$ . Setelah netralisasi dan pengeringan menghasilkan nanokristal selulosa

yang kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik dari nanokristal selulosa limbah kertas sebagai bahan utama komposit anti peluru.



**Gambar 5.** Spektrum inframerah nanokristal selulosa limbah kertas

Hasil analisis spektrum inframerah gambar 5. menunjukkan kedua kurva tersebut memiliki keidentikan di beberapa puncak gelombang seperti pada bilangan gelombang  $3333,3 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2892,7 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $1022,75 \text{ cm}^{-1}$  yang masing-masing mengindikasikan gugus fungsi O-H tekuk, C-H ulur dan cincin piranosa C-O ulur [14]. Gugus fungsi cincin polisakarida C-H ulur dan C-H tekuk juga teridentifikasi di kedua kurva dengan bilangan gelombang masing-masing  $1427,5 \text{ cm}^{-1}$  dan  $891,6 \text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya ikatan  $\beta$  glikosida serta menunjukkan masih mengandung senyawa seperti lignin, hemiselulosa, dan selulosa [18]. Spektrum iframerah nanokristal selulosa juga menunjukkan terdapatnya cincin polisakarida C-H tekuk pada puncak gelombang  $1316,4 \text{ cm}^{-1}$  [2]. Adanya struktur cincin polisakarida menandakan keberadaan selulosa pada sampel nanokristal selulosa [8]. Keberadaan struktur inilah yang menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah terdegradasi oleh zat kimia lain. Keidentikan puncak gelombang pada limbah kertas dan ekstrak selulosa menunjukkan bahwa proses delignifikasi memungkinkan dapat meningkatkan kemurnian selulosa tanpa merusak struktur dari selulosa itu sendiri [18].

Garis spektrum limbah kertas menunjukkan puncak gelombang kecil  $1640,9 \text{ cm}^{-1}$  yang teridentifikasi adanya gugus fungsi C=C ulur masih mengandung sedikit lignin [1][8]. Keberadaan lignin yang tersisa diduga karena penggunaan asam kuat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  menyebabkan sisa lignin menguap saat prekursor dihidrolisis yang kemudian mengalami kondensasi dan mengendap. Kemungkinan lain disebabkan karena kurang bersihnya proses penyaringan dan pembersihan sehingga sisa impuritas masih menempel dan mempengaruhi puncak serapan gelombang inframerah [16]. Namun, tidak munculnya puncak bilangan gelombang  $815 \text{ cm}^{-1}$  yang mengindikasikan gugus fungsi ikatan simetris ester sulfat (S-O-C) membuktikan bahwa sampel nanokristal selulosa tidak berikatan dengan sisa belerang pada asam sulfat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [15]. Hasil uji FTIR ini didukung dengan data dari pengujian kandungan selulosa metode chesson datta seperti yang ditunjukkan tabel 2.

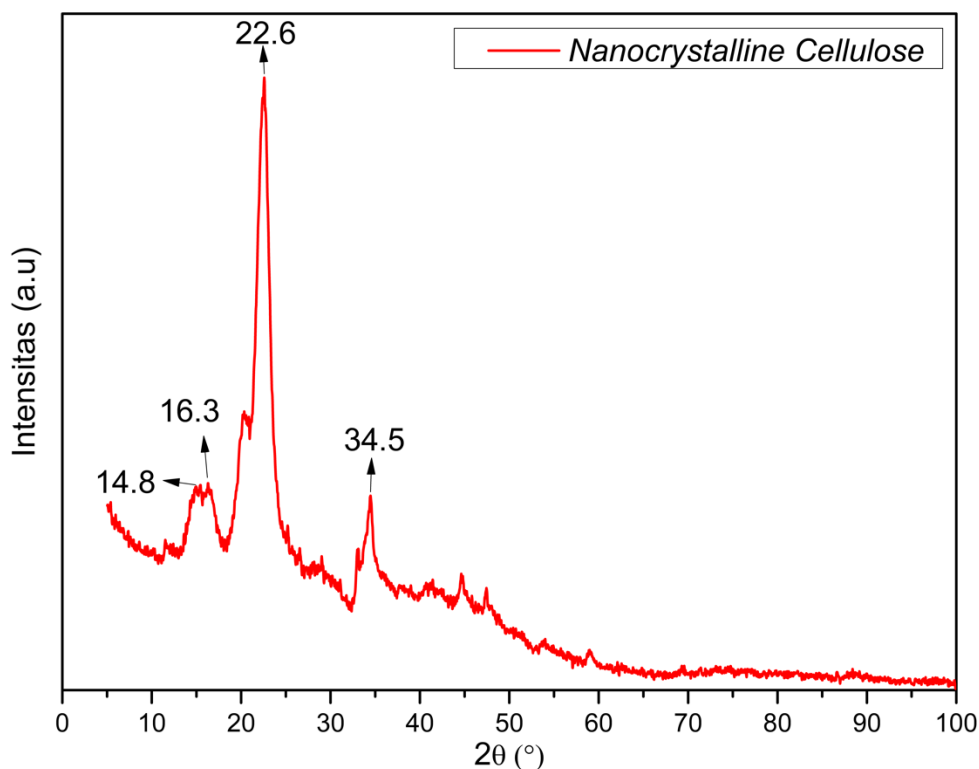
**Tabel 2.** Hasil uji kandungan selulosa metode chesson-datta

Nama Senyawa	Kandungan Senyawa(%)
Selulosa	80,79
Lignin	4,51
Hemiselulosa	3
Zat Lain	11,7

Berdasarkan hasil uji chesson-datta yang ditunjukkan tabel 2, limbah kertas setelah diekstraksi dengan metode delignifikasi memiliki peningkatan kemurnian serat selulosa hingga 80,79%. Kemurnian ekstrak serat selulosa dari penelitian ini sudah memenuhi standar SNI 7274:2008 untuk bahan baku material yakni >40% selulosa[9]. kandungan selulosa pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Diana, et al., (2023) yang mengekstraksi selulosa limbah kertas menggunakan metode hidrolisis enzimatis dengan hasil kandungan selulosa 60,62% [4]. Tabel 3 menunjukkan perbandingan hasil ekstraksi selulosa dari penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.

**Tabel 3.** Perbandingan kandungan senyawa pada selulosa limbah kertas

Nama Senyawa	Kandungan Senyawa	
	Penelitian ini	Diana, et al.,(2023) [4]
Selulosa	80,79	60,62
Hemiselulosa	4,51	16,11
Lignin	3	11,83
Zat Lainnya	11,7	11,4



**Gambar 6.** Pola difraksi sinar X pada nanokristal selulosa

Hasil pengujian XRD ditunjukkan pada gambar 4.6. Pada setiap perlakuan terdapat puncak tertinggi sudut pada  $2\theta = 22,5^\circ$  yang menunjukkan native selulosa sekaligus daerah kristal pada struktur selulosa [3]. Selulosa dapat dikatakan sebagai material semi-kristalin karena fraksi

kristalin berasal dari selulosa sedangkan bagian amorf bersumber dari lignin dan hemiselulosa [7]. Bagian amorf pada nanokristal selulosa ditandai dengan puncak landai  $2\theta = 15,3^\circ$  milik lignin dan hemiselulosa telah bergeser ke arah puncak kristalin [11]. Pada perlakuan hidrolisis asam sulfat menunjukkan pola pemecahan fraksi amorf ditandai dengan munculnya pola difraksi puncak  $2\theta$  pada sudut mendekati  $14,8^\circ$ ,  $16,3^\circ$ ,  $22,6^\circ$ , dan  $34,5^\circ$  [7]. Pernyataan tersebut didukung dengan hasil pengukuran derajat kristalinitas dan ukuran kristal menggunakan persamaan *scherrer* untuk nanokristal selulosa kertas sebesar 88,73% dengan ukuran kristal 3,18 nm. Selain itu, hasil ini sejalan dengan data FTIR dan data chesson-datta yang menunjukkan telah terjadi peningkatan kandungan selulosa. Pemecahan fraksi amorf pada selulosa meninggalkan bagian kristal tunggal pada selulosa sehingga menjadi nanokristal selulosa [6]. Pola difaktogram ini juga mengindikasikan bahwa sampel nanokristal selulosa merupakan selulosa tipe I [13].

### Uji Balistik (Uji Tembak)

**Tabel 4.** Hasil uji balistik komposit anti peluru

No	Kode Sampel	Jenis Peluru	Kecepatan Peluru Terukur (m/s)	Diameter Back Face Signature (mm)	Penetrasi (mm)	Keterangan
1	KAP-01	9×19 mm	398	78	17,8	Tidak Tembus
2		Pistol	5,56×45 mm	887	8	20 (Pass)
3	KAP-02	9×19 mm	411	110	17,4	Tidak Tembus
4		Pistol	5,56×45 mm	927	18	20 (Pass)
5	KAP-03	9×19 mm	441	37	20 (Pass)	Tembus
6		Pistol	5,56×45 mm	873	10	20 (Pass)
7	KAP-04	9×19 mm	407	39	20 (Pass)	Tembus
8		Pistol	5,56×45 mm	924	15	20 (Pass)

Hasil yang diharapkan pada uji balistik yakni komposit anti peluru mampu menahan peluru dengan penetrasi yang tidak terlalu dalam serta kerusakan bagian belakang komposit yang minim. Adanya *back face signature* yang besar artinya komposit mampu mendistribusikan energi kinetik peluru ke segala arah pada bidang komposit daripada meneruskan energi ke tubuh pengguna [12]. Oleh karena itu dibutuhkan peran nanokristal selulosa sebagai material yang kuat namun elastis untuk menghamburkan energi kinetik peluru tanpa membuat kerusakan yang besar pada komposit anti peluru.

Tabel 4. menunjukkan hasil uji tembak yang selaras dengan uji mekanik sebelumnya. Komposit anti peluru dengan kandungan 0% nanokristal selulosa (KAP-01) mampu menahan

peluru pistol 9×19 mm. Peluru terhenti dilapisi serat karbon bagian belakang dengan kedalaman penetrasi peluru 17,8 mm. Komposit yang terbuat dari resin terlapisi serat karbon memiliki kerapatan massa yang tinggi dan memiliki kekerasan yang tinggi juga membuat KAP-01 mampu menahan peluru berkaliber rendah. Namun, diameter lubang pada bagian belakang komposit (*back face signature*) memberikan kerusakan lubang yang besar mengindikasikan sifat komposit ini sangat getas sehingga pemakaian maksimal hanya satu kali tembakan.

Pada komposit dengan kandungan selulosa 10% (KAP-02) mampu menahan peluru pistol 9×19 mm dengan penetrasi 17,4 mm. Akan tetapi, diameter kerusakan lubang belakang (*back face signature*) pada komposit ini lebih besar dibandingkan KAP-01 membuat komposit ini hanya mampu menahan satu kali tembakan berkaliber rendah. Hal ini diduga akibat penambahan nanokristal selulosa yang kurang terkompaksi dengan matriks resin sehingga menimbulkan rongga (*void*) pada komposit. *Void* pada komposit menimbulkan efek material rapuh saat diberikan hantaman energi kinetik peluru [1].

Komposit KAP-01 dan KAP-02 sudah memenuhi standar NIJ-0101.04 untuk berada dalam kategori komposit anti peluru level IIIA [20]. Penambahan nanokristal lebih dari 10% menyebabkan void semakin banyak pula membuat komposit menjadi rapuh dan tidak mampu lagi menahan peluru pistol 9×19 mm. Untuk peluru laras panjang, semua variasi komposit pada penelitian ini belum mampu menahan peluru 5,56×45 mm. *Back face signature* yang dihasilkan peluru laras panjang terlalu kecil menandakan komposit tidak mampu menghamburkan energi kinetik sehingga energi diteruskan menembus komposit dengan mudah.

## **KESIMPULAN**

Nanokristal selulosa limbah kertas dihidrolisis  $H_2SO_4$  konsentrasi 1 M memberikan karakteristik berupa kemurnian selulosa mencapai standar 80,79 %. Uji XRD memberikan hasil derajat kristalinitas pada variasi nanokristal selulosa ini sebesar 88,73 % dengan ukuran 3,18 nm telah memenuhi standar. Komposit anti peluru dengan sifat mekanik terbaik adalah KAP-02 (nanokristal selulosa 10%) mampu menahan peluru pistol 9×19 mm dengan penetrasi paling kecil yakni 17,4 mm sudah sesuai dengan standar NIJ-0101.04 level III A. Namun, komposit anti peluru pada penelitian ini belum mampu menahan peluru berkaliber tinggi seperti laras panjang 5,56×45 mm.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Dengan selesainya penelitian ini, rasa terima kasih dihaturkan kepada Bapak Herman Aldila, S.Pd., M.Si. selaku dosen pembimbing yang membimbing jalannya penelitian ini hingga akhir. Terimakasih kepada Prodi Fisika, Universitas Bangka Belitung yang telah memberikan fasilitas untuk mendukung penelitian ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Aji, T., Purwanto, H. & Respati, S. M. B., "Pengaruh Ketebalan Komposit Matrik Resin Dengan Penguat Kulit Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Yang Dianyam Terhadap Kemampuan Balistik". Momentum, Vol. 14, No. 1, Pp. 75-79, 2018.
- [2] Akbar, F. A., Nasra, E., Kurniawati, D., Beri, D. & Sanjaya, H., "Isolasi dan Karakterisasi a-Selulosa dari Kulit Buah Matoa (*Pometia Pinnata*)", *Periodic*, Vol. 12, No. 3, pp. 78-82, 2023
- [3] Anjana, F., "Studi Pembuatan Nanokristal Selulosa Dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Melalui Proses Sonikasi-Hidrothermal" Thesis, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.

- [4] Cai, Z.; Li, Z.; Dong, J.; Mao, Z.; Wang, L.; Xian, C.J., "A study on protective performance of bullet-proof helmet under impact loading" *J. Vibroengineering*, Volume 18, Pp. 2495–2507, 2016.
- [5] Diana, A. N., Ningrum, Z. K., Utami, L. I. & Wahyusi, K. N., "Bioetanol Dari Kertas Bekas Dengan *Zymomonas Mobilis*", Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XIX, Pp. 1-6, 2023
- [6] Dwandaru, W. S. B., "Nanomaterial Graphene Oxide: Sintesis Dan Karakterisasinya" Yogyakarta: UNY Press, 2019.
- [7] Hartati, N., Kemala, T., Sutriah, K. & Farobie, O., "Kompatibilitas Nanokristal Selulosa Termodifikasi Setrimonium Klorida (CTAC) Dalam Matriks Poliasam Laktat Sebagai Material Pengemas", *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(4), Pp. 157-163, 2019.
- [8] Hartati, N., Kurniawan, E., Trisna, M. & Noviarni, I., "Isolasi, Karakterisasi, Dan Aplikasi Nanokristal Selulosa : Review", *SSJ: Sains Sutha Journal*, Vol. 1, No. 2 Pp. 29-38, 2023.
- [9] Hasniar, et al., "Pembuatan Pulp and Paper Berbahan Dasar Serat Kulit Pisang(Areca Catechu L.) dengan Penambahan Kitosan Sebagai Zat Aditif Antibakteri", *Jurnal Serambi Engineering*, Volume IX, pp. 7698-7709, 2024.
- [10] Haziza, E. P., Aritonang, S. & Imastuti, "Studi Komparasi Karakteristik Mekanik Serat Alam Sebagai Bahan Anti Peluru: Jurnal Review" *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, Vol. 8, No. 1, Pp. 168 – 175, 2024.
- [11] Kurniawan, D., Nikmatin, S. & Maddu, A., "Sintesis Nanopartikel Serat Rami Dengan Metode Ultrasonikasi Untuk Aplikasi Filler Bionanokomposit" *Jurnal Biofisika*, Vol. 8, No. 2, pp. 34-41, 2012.
- [12] Pulungan, M. A. & Sutikno, "Pengaruh Ketebalan Terhadap Daya Serap Energi Impak Pada Rompi Anti Peluru Yang Terbuat Dari Komposit Hgm-Epoxy Dan Serat Karbon", *Jurnal Inovasi Teknologi Dan Rekayasa Inotera*, Vol.2, No.2, Pp. 32-35, 2017.
- [13] Razali, N. et al., "Influence of Acid Hydrolysis Reaction Time on the Isolation of Cellulose Nanowhiskers from Oil Palm Empty Fruit Bunch Microcrystalline Cellulose" *BioResources*, Vol. 12, No. 3, pp. 6773-6788. 2017.
- [14] Roehafi, F., Latupapua, F. C., Zundia & Aldila, H., "Pengaruh Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Terhadap Ukuran Partikel Nanoselulosa Berbasis Limbah Kertas Konvensional", *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, Vol. 5, No. 1, pp. 62-70, 2024.
- [15] Sahlin, K. Et Al., "Surface Treatment Of Cellulose Nanocrystals (CNC): Effects On Dispersion Rheology" *Cellulose*, Volume 25, Pp. 331-345, 2018.
- [16] Sholikhah, S. M., Wijayati, N., Supartono & Suhartono, "Produksi Bioetanol Dari Kertas HVS Bekas Melalui Hidrolisis Enzim Selulase Jamur Tiram" *Indonesian Journal Of Chemical Science*, Vol. 7, No. 1, Pp. 11-16, 2018.
- [17] Suarjan, K. D. & Widi, I. K. A., "Analisa Uji Impak Komposit Matriks Epoxy-Karet 30%, 40%, 50% Penguat Serat Karbon, Rami, Dan Kapas Sebagai Body Armor", 2020
- [18] Tajalla, G. U. N., Humaira, S., Parmita, A. W. Y. P. & Zulfikar, A., "Pembuatan dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Serbuk Meranti Kuning (*Shorea macrobalanos*)" *Jurnal Sains Terapan*, Vol. 5, No. 1, pp. 142-147. 2019.
- [19] Widi, K. A., Pohan, G., Sujana, W. & Rizaldy, A., "Analisa Uji Balistik Produk Body Armor Material Komposit Poliester Berpenguat Serat Karbon, Rami Dan Kapas. S.L.", Universitas Islam Kalimantan MAB, Pp. 36-40, 2020.
- [20] Zubaidi, Moekarto M, Santoso S., "Pembuatan rompi anti peluru menggunakan bahan dasar serat poliester" Balai besar tekstil Bandung, 2009.