

## PEMANFAATAN KITIN DAN KITOSAN UNTUK PEMBUATAN POLIMER YANG LEBIH RAMAH LINGKUNGAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN POTENSI DAN APLIKASI MATERIAL

Mariyan Maritza Ramadhan<sup>1\*</sup>, Rahmat Hidayat<sup>2</sup>, Thaha Yassin Ramadhan Utomo<sup>3</sup>, Nick Holson Mangiring Silalahi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin Universitas Pertahanan Republik Indonesia,  
[mariyanmaritza@gmail.com](mailto:mariyanmaritza@gmail.com)

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia

### ABSTRAK

Kitin dan kitosan adalah biopolimer alami yang berasal dari eksoskeleton krustasea dan dinding sel beberapa organisme, seperti serangga dan jamur. Kedua bahan ini telah banyak menarik perhatian dalam bidang material sains karena sifatnya yang biodegradable dan ramah lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan kitin dan kitosan untuk memperkuat polimer sintesis seperti kevlar dan material komposit lainnya menunjukkan peningkatan yang signifikan pada sifat mekanik, termasuk kekuatan tarik, ketahanan terhadap keausan, serta ketahanan terhadap panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi dan aplikasi kitin serta kitosan sebagai bahan penguat dalam pembuatan polimer yang lebih kuat. Penggunaan kedua biopolimer ini memberikan solusi inovatif yang tidak hanya meningkatkan performa teknis material, tetapi juga mendukung keberlanjutan industri karena memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbarui. Hasil dari kajian ini menunjukkan bahwa integrasi kitin dan kitosan ke dalam matriks polimer mampu meningkatkan durabilitas dan kinerja material dalam kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi dan tekanan mekanis. Dalam penelitian ini, dibahas pemanfaatan kitin dan kitosan sebagai bahan penguat dalam polimer untuk meningkatkan kekuatan mekanis, ketahanan terhadap aus, serta ketahanan terhadap suhu tinggi, terutama untuk aplikasi dalam industri tekstil, komposit pelindung seperti kevlar, dan material struktural lainnya. Penelitian lebih lanjut diharapkan dapat memaksimalkan potensi komersialisasi material komposit berbasis kitin dan kitosan, serta memperluas aplikasinya di berbagai industri, termasuk otomotif, dirgantara, dan militer.

**Kata kunci** : *Kitin, kitosan, polimer, komposit, kekuatan mekanis, biopolimer*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dimasa depan akan semakin banyak perhatian yang akan diarahkan pada bahan-bahan yang lebih kuat, ramah lingkungan, dan serbaguna. Hal ini dibutuhkan dalam pengembangan teknologi mendatang dan proyek untuk polimer biodegradable adalah salah satunya. Polimer *biodegradable* sendiri merupakan polimer yang dapat terurai secara hayati, yaitu polimer yang dapat dipecah oleh mikroorganisme atau enzim. Penelitian menunjukkan bahwa kitin dan kitosan dapat digunakan sebagai pendekatan baru untuk menggantikan atau menambah material sintesis dalam pembuatan polimer [1]. Kitin dan kitosan adalah contoh polimer

*biodegradable* yang dapat digunakan untuk menggantikan atau menambah material sintesis dalam pembuatan polimer [2]. Hal ini dikarenakan material tersebut memiliki kekuatan mekanis yang tinggi, biokompatibilitas (kemampuan suatu material untuk berinteraksi dengan organisme hidup tanpa merugikan) [3], dan kemampuan antimikroba. Menjadikannya bahan yang ideal untuk aplikasi di berbagai sektor, termasuk otomotif, dirgantara, dan militer. Kitosan telah banyak dipelajari dan diaplikasikan oleh beberapa peneliti, diantaranya mempelajari karakteristik kitosan dari kulit udang dan pemanfaatannya untuk pengolahan limbah cair perikanan [4], kitosan dari cangkang bekicot dan pemanfaatannya sebagai adsorben logam berat seng (Zn) [5]. Senyawa kitin dan kitosan juga mudah terurai dan tidak mempunyai sifat racun serta ramah terhadap lingkungan [6]. Kitosan memiliki kemampuan membentuk lapisan tipis dan memiliki sifat optis aktif. Oleh karena itu, biasanya kitosan dikombinasikan dengan bahan lain untuk meningkatkan kualitas dan kereaktifannya.

Keunggulan utama kitin dan kitosan terletak pada ketersediaannya yang melimpah, biodegradabilitas, serta biokompatibilitasnya [7]. Bahan ini telah banyak digunakan di berbagai sektor industri seperti medis, pertanian, dan pangan, namun penelitian terkini mengarahkan pemanfaatan kitin dan kitosan sebagai bahan penguat dalam pembuatan polimer yang lebih kuat dan tahan lama. Dalam konteks pengembangan material komposit, kitin dan kitosan mampu memberikan peningkatan signifikan dalam sifat mekanik seperti kekuatan tarik, ketahanan terhadap panas, serta ketahanan terhadap abrasi. Kombinasi ini dapat diaplikasikan pada material seperti kevlar dan polimer sintesis lainnya untuk memperkuat kinerja dan durabilitas produk. Dalam era industri yang semakin sadar lingkungan, inovasi berbasis material alami seperti kitin dan kitosan tidak hanya menawarkan solusi teknis, tetapi juga mampu mendukung pencapaian target keberlanjutan [8]. Selain berfungsi sebagai penguat dalam komposit, kitin dan kitosan juga dikenal memiliki sifat antimikroba, sifatnya yang satu ini dapat memperluas aplikasi kitin dan kitosan ke bidang-bidang seperti biomedis dan peralatan pelindung [9]. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan kitin dan kitosan untuk pembuatan polimer yang lebih kuat merupakan langkah penting dalam menciptakan material masa depan yang efisien, berkelanjutan, dan multifungsi.

Sifat mekanik membran merupakan salah satu parameter yang penting pada membran yang dapat ditentukan dengan melakukan uji tarik yang mencakup kekuatan tarik saat putus (*stress*), perpanjangan saat putus (*strain*) dan modulus young [10]. Sifat mekanik dari suatu bahan dapat diketahui dengan mengaplikasikan gaya pada sampel tersebut. Pengujian sifat mekanik dapat dilakukan dengan uji kuat tarik (*tensile strength*) [11]. Uji kuat tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat material suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Pengaruh komposisi kitosan terhadap sifat mekanik dan *biodegradable* diperoleh hasil pada pemberian kitosan mempengaruhi sifat mekanik bioplastik yaitu bioplastik menjadi semakin rapuh [12]. Semakin besar penambahan kitosan, maka semakin menurun nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah untuk penelitian ini adalah:

- Bagaimana kitin dan kitosan dapat digunakan sebagai bahan penguat untuk meningkatkan kekuatan mekanik polimer sintetis, seperti kevlar?
- Seberapa besar potensi kitin dan kitosan dalam mendukung pengembangan polimer yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan?
- Aplikasi apa saja yang paling potensial untuk polimer komposit berbasis kitin dan kitosan dalam industri, seperti otomotif, dirgantara, dan militer?

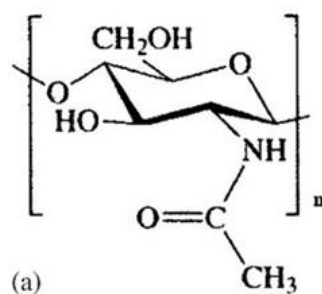
### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian untuk penelitian kali ini adalah:

- Untuk mengetahui bagaimana kitin dan kitosan dapat digunakan sebagai bahan penguat untuk meningkatkan kekuatan polimer sintetis, seperti kevlar.
- Untuk mengukur potensi kitin dan kitosan dalam mendukung pengembangan polimer yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.
- Untuk mengidentifikasi aplikasi potensial polimer komposit berbasis kitin dan kitosan dalam industri otomotif, dirgantara, dan militer.

## 2 METODE

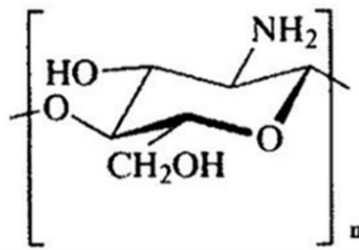
Kitin adalah rantai panjang N-asetilglukosamin, yang memberikan struktur yang kuat dan tahan lama [13]. Sifat mekanik ini sangat berguna sebagai bahan penguat dalam produksi polimer. Kitin merupakan bahan alami yang ditemukan di cangkang hewan laut seperti udang dan kepiting serta pada serangga dan beberapa jenis jamur. Kitin memiliki struktur yang kuat dan ringan, mirip dengan serat tumbuhan, sehingga banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan polimer [14]. Dalam proses pembuatannya, kitin bisa diubah menjadi bentuk lain yang lebih mudah dicampur dengan bahan lain, seperti kitosan, sehingga menghasilkan polimer yang lebih kuat dan tahan lama. Gugus kimia kitin terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Struktur Kimia Kitin [15]

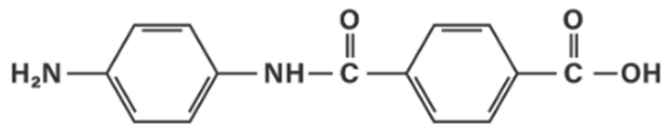
Kitosan adalah bahan alami yang dihasilkan dari kerangka luar hewan laut seperti udang dan kepiting, yang dapat digunakan untuk membuat polimer kuat dan ramah lingkungan [14]. Saat kitin (zat asal kitosan) diproses, ia berubah menjadi kitosan yang lebih mudah dicampur dengan bahan lain, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan polimer. Kitosan membantu membuat polimer menjadi lebih kuat, tahan terhadap

bakteri, dan mudah terurai di alam, sehingga cocok untuk berbagai keperluan, mulai dari bahan pembungkus hingga komponen peralatan medis[16]. Gugus kimia kitosan ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Struktur Kimia Kitosan [15]

Kevlar adalah merek dagang terdaftar untuk serat sintesis para-aramid, yang terkait dengan aramid lain seperti Nomex dan Technora[17]. Kevlar yang gugusnya ditampilkan pada gambar 3 merupakan komponen pelindung diri yang terkenal termasuk helm tempur, masker wajah balistik, dan rompi balistik[18]. Kevlar juga digunakan untuk membuat sarung tangan, lengan baju, jaket, celana pelindung, dan berbagai jenis pakaian lain yang dirancang untuk melindungi pengguna dari luka, lecet, dan panas. Pakaian keselamatan sepeda motor merupakan area lain di mana kevlar digunakan secara luas.



Gambar 3. Struktur Kimia Kevlar

Krustasea adalah kelompok hewan air yang berkulit keras, seperti udang, kepiting, dan lobster, yang memiliki eksoskeleton atau rangka luar untuk melindungi tubuhnya seperti kitin[19]. Eksoskeleton mereka mengandung banyak kitin maupun kitosan, yang dapat diolah lebih lanjut menjadi kitosan, hal tersebut merupakan bahan utama untuk membuat polimer yang kuat dan ramah lingkungan[20]. Dalam industri, kitin dari krustasea diolah menjadi kitosan melalui proses deasetilasi[13]. Karena sifatnya yang kuat, tahan lama, serta mudah terurai, kitosan yang berasal dari krustasea banyak digunakan dalam pembuatan polimer untuk berbagai aplikasi seperti kemasan ramah lingkungan, produk medis, dan pengolahan limbah. Contoh krustasea terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Salah satu hewan krustasea (Kepiting)

Polimer degradable merupakan material yang mengalami perubahan signifikan dalam struktur kimia pada kondisi lingkungan tertentu[21]. Perubahan ini mengakibatkan hilangnya sifat fisis dan mekanis, yang diukur dengan metode standar[22][23]. Polimer biodegradable mengalami degradasi dari aksi mikroorganisme yang terjadi secara alami, seperti bakteri, jamur, dan ganggang serta dapat juga dipengaruhi oleh enzim[24]. Berikut contoh polimer biodegradable pada gambar 5.



Gambar 5. Contoh *biodegradable polymer*

Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan metode kajian literatur (*literature review*) dengan fokus pada pemanfaatan kitin dan kitosan dalam pembuatan polimer yang lebih kuat dan ramah lingkungan. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan merangkum hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasikan terkait dengan penggunaan kitin dan kitosan dalam berbagai aplikasi industri, terutama sebagai bahan penguat dalam polimer komposit. Dalam paper kali ini kami menggunakan beberapa sumber literatur aktual yang diantaranya yaitu *Scopus*, *Google Scholar*, dan *Science Direct*.

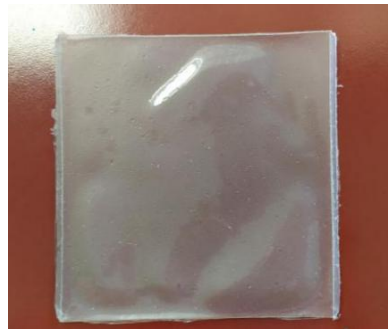
### 3 HASIL

Proses pengambilan kitin dari sumber-sumbernya yang disebutkan pada tabel 1 dilakukan dengan menghilangkan kalsium dan protein, sehingga tersisa kitin murni. Setelah itu, kitin dapat diubah menjadi kitosan melalui proses deasetilasi (menghilangkan gugus asetil) menggunakan bahan kimia tertentu, biasanya larutan alkali[25][26].

Tabel 1. Sumber Kitin dan Kitosan [13]

Hewan Laut	Serangga	Mikroorganisme
<i>Annelida</i>	Kalajengking	Ganggang hijau
<i>Moluska</i>	Laba-laba	Ragi (tipe b)
<i>Coelenterata</i>	Brakiopoda	Jamur (dinding sel)
<i>Crustacea</i> :	Semut	<i>Miselia Penisilium</i>
Lobster	Brakiopoda	Ganggang coklat
Kepiting		Spora
Udang		Suku <i>Chytridiaceae</i>
		<i>Ascomydes</i>
		<i>Blastocladiaceae</i>

Polimer biodegradable merupakan polimer yang dapat terurai oleh mikroba dan enzim. Contoh dari polimer ini dapat terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Polimer campuran antara kitosan dan pati singkong

Material polimer biodegradable dasar campuran kitosan larutan kitosan dengan berat molekul dalam kisaran 100–300 kDa dan dengan 2% (v/v) asam asetat[27][28][29][30]. Ini merupakan material yang mendasari sampel uji tarik yang dijelaskan pada bagian berikutnya.

### 3.1 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari efek variasi konsentrasi kitosan terhadap sifat mekanik kitosan dengan menggunakan kekuatan tarik dan Modulus Young dari cangkang rajungan dapat dihitung dengan persamaan 1, 2 dan 3

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma$  = Kekuatan tarik pada saat putus (MPa)

$F$  = Beban pada saat putus (N)

$A$  = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Perpanjangan saat putus, ditunjukkan pada persamaan 2 berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = Perpanjangan saat putus (%)

$\Delta l$  = Perubahan panjang (mm)

$l_0$  = Panjang mula-mula material yang diukur (mm)

Modulus Young atau modulus elastisitas adalah ukuran kekuatan suatu bahan akan keelastisitasannya.

Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Keterangan:

- E = Modulus Young (MPa)
- $\sigma$  = kuat tarik pada saat putus (MPa)
- $\varepsilon$  = Perpanjangan saat putus (%)

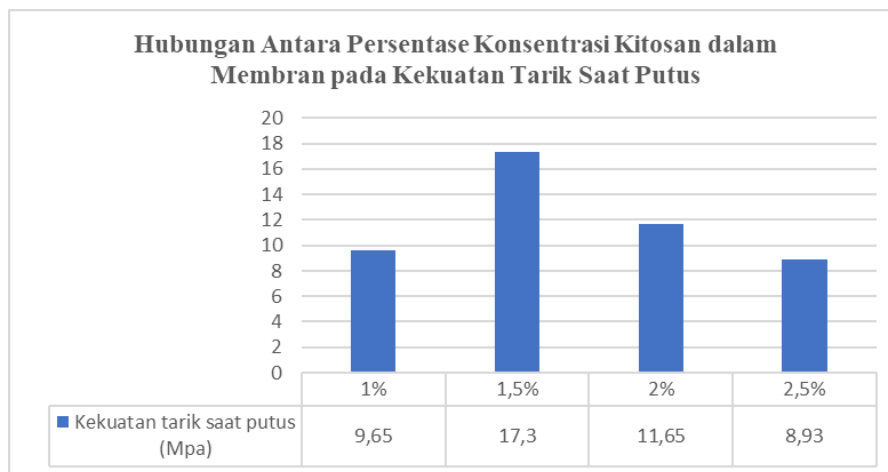
### 3.2 Hasil Penelitian

Hasil yang diperoleh dari variasi konsentrasi kitosan terhadap sifat mekanik kitosan yaitu kekuatan tarik dan Modulus Young. Data uji sifat mekanik pada masing masing konsentrasi kitosan/PVA dari cangkang rajungan diperoleh pada tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Nilai Data Pengujian Efek Variasi Konsentrasi Kitosan dalam Membran Terhadap Kekuatan Tarik Saat Putus (Tegangan)

No	Persentase	Konsentrasi kitosan dalam membran	F(N)	A(M)	O(Mpa)
1		1%	19,3	0,000002	9,65
2		1,50%	17,3	0,000001	17,3
3		2%	23,3	0,000002	11,65
4		2,50%	26,8	0,000003	8,93

Dari data tersebut diperoleh grafik hubungan antara variasi konsentrasi kitosan/PVA terhadap kekuatan tarik saat putus (tegangan) yang dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Hasil Variasi Konsentrasi Kitosan dalam Membran terhadap Kekuatan Tarik Saat Putus (Tegangan)

Hasil dari data efek variasi konsentrasi kitosan/PVA terhadap Modulus Young diperoleh pada tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai Data Efek Variasi Konsentrasi Kitosan dalam Membran Terhadap Modulus Young

Persentase Konsentrasi Kitosan dalam Membran (%)	$\sigma$ (Mpa)	$\varepsilon$ (%)	E (Mpa)
1%	8,43	75,2	11,2
1,5%	10,22	34,4	29,7

2%	10,15	15,6	65
2,5%	8,94	41,9	21,3

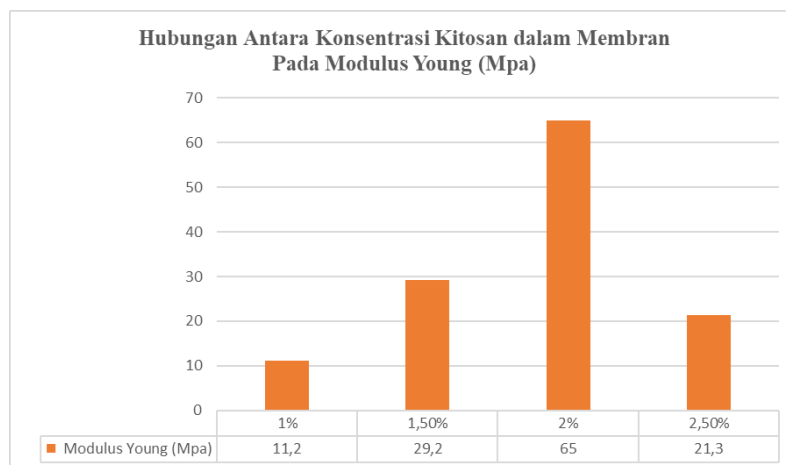
Keterangan:

$\sigma$  = Kekuatan tarik pada saat putus (MPa)

$\epsilon$  = Perpanjangan saat putus (%)

E = Modulus Young (MPa)

Dari data tersebut diperoleh grafik hubungan antara variasi konsentrasi kitosan/PVA terhadap kekuatan tarik saat putus (Tegangan) yang dapat dilihat pada gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9. Hasil Konsentrasi Kitosan dalam Membran terhadap Modulus Young

Pencampuran polimer adalah salah satu metode paling efektif untuk mendapatkan material baru yang sesuai dengan keinginan. Dengan mencampurkan kitosan dengan komponen lain yang berbeda sifat mekanik. Material utama yang digunakan untuk menyempurnakan film berbasis kitosan adalah biasanya material dari bahan alami. Hal ini mempertahankan sifat biodegradabilitas. Pilihan lain yang dipelajari dengan hasil yang baik adalah dengan menambahkan pemlastis biodegradable sintetis untuk memodifikasi sifat mekanik film kitosan.

Struktur kitin dan kitosan terkenal kuat, karena tahan terhadap tarikan, dan dapat dengan mudah diuraikan oleh alam, hal inilah yang membuat kitin dan kitosan cocok dikombinasikan dengan Kevlar, yang kita tahu sering digunakan pada rompi anti peluru. Kombinasi antara kitin dan kitosan dengan Kevlar dapat mengurangi penggunaan bahan sintetis yang sulit bahkan tidak bisa terurai secara organik oleh alam serta kombinasi ini diharapkan kelak menghasilkan bahan yang lebih kuat dari sebelumnya. Mengingat kitin dan kitosan merupakan bahan yang melimpah ruah dan sering dianggap sebagai limbah, sehingga kombinasi ini dapat menjadi Solusi yang jauh lebih ramah lingkungan.

Untuk memperkuat kevlar dengan menambahkan kitin dan kitosan, dibutuhkan penyesuaian antara kedua material tersebut terutama pada permukaan material. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menghubungkan

struktur kevlar dengan kitin dan kitosan dengan cara merubah permukaan kitin dan kitosan. Penggabungan kedua bahan ini dapat memungkinkan material baru ini untuk menerima benturan dan tekanan yang lebih keras, yang menjadikan kevlar menjadi lebih kuat menerima tekanan, dalam hal ini kitin dan kitosan berperan sebagai pengisi pada struktur kevlar sehingga menciptakan struktur layaknya pada tulang yang memiliki lapisan penguat. Selain meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap benturan, penambahan kitin dan kitosan pada kevlar juga meningkatkan keawetan pada kevlar saat diterapkan pada rompi anti peluru, karena kitin dan kitosan berpotensi menyerap serta menyebarkan energi benturan yang diterima lebih baik sehingga dapat menghambat perambatan retakan saat terjadi benturan, selain memberi perlindungan yang lebih, kevlar dengan tambahan kitin dan kitosan juga terkesan lebih ringan sehingga jika diterapkan pada rompi anti peluru akan lebih efisien.

Pada umumnya proses pembuatan kevlar memerlukan suhu yang tinggi, sedangkan suhu tinggi itu sendiri dapat merusak kitin dan kitosan, selain itu jika kitin dan kitosan tidak tersebar merata pada Kevlar maka Kevlar bisa memiliki titik lemah yang menyebabkan penyerapan energi jika terjadi benturan menjadi tidak merata sehingga kevlar tidak sekuat yang diinginkan sebelumnya, hal ini lah yang menjadi tantangan dalam menggabungkan kitin dan kitosan ke dalam kevlar, terutama untuk memastikan bahwa kitin dan kitosan tersebar merata pada permukaan kevlar. Maka dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk menanggulangi hal hal di atas, terkait seperti suhu dan lainnya. Kevlar yang diperkuat dengan kitin dan kitosan mempunyai potensi luar biasa dalam penerapannya terhadap pelindung seperti rompi anti peluru ataupun sebagai lapisan pelindung lainnya, yang membutuhkan ketahanan yang tinggi serta massa yang ringan. Adanya bahan ini juga diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan sintesis yang sulit diuraikan oleh alam serta dapat merusak lingkungan. Jika ditinjau dari sisi lingkungan penggunaan kitin dan kitosan sebagai bahan untuk memperkuat kevlar secara tidak langsung dapat mengurangi limbah kulit udang dan kepiting karena sumber terbesar untuk kitin dan kitosan terdapat pada crustacea dan juga untuk mengurangi serta menggantikan penggunaan bahan yang tidak ramah lingkungan dalam pembuatan kevlar pada umumnya.

#### **4 KESIMPULAN**

Paper ini membahas tentang potensi kitin dan kitosan, biopolimer yang berasal dari limbah krustasea seperti udang dan kepiting, untuk dikembangkan sebagai bahan dasar polimer yang ramah lingkungan. Sebagai bahan alami yang melimpah, mudah terurai, dan tidak beracun, kitin dan kitosan dapat menjadi alternatif yang lebih berkelanjutan dibandingkan polimer sintesis berbasis minyak bumi. Dalam penelitian ini, kitin dan kitosan dianalisis kemampuannya sebagai bahan penguat untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan polimer, termasuk Kevlar yang sering digunakan dalam aplikasi pelindung di bidang militer. Penambahan kitin dan kitosan terbukti mampu memperkuat struktur polimer, memberikan sifat mekanik yang lebih baik seperti ketahanan terhadap benturan, ketahanan terhadap panas, serta kemampuan menyebarkan energi benturan. Selain itu, kitosan juga memiliki sifat antimikroba dan antibakteri, sehingga berpotensi digunakan dalam industri otomotif, dirgantara, serta militer, khususnya pada peralatan pelindung seperti rompi anti-peluru, helm, dan pelapis anti-kimia.

Aplikasi kitin dan kitosan yang lebih luas tidak hanya dapat mendukung pengurangan limbah dari sektor perikanan tetapi juga memberikan nilai tambah pada limbah tersebut sebagai material dengan fungsi yang tinggi. Meskipun begitu, terdapat beberapa tantangan dalam penggabungan kitin dan kitosan dengan polimer lain, terutama pada proses manufaktur yang memerlukan penyesuaian suhu agar tidak merusak kitin dan kitosan. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan kitin dan kitosan dapat terdistribusi secara merata dalam polimer sintetis seperti Kevlar agar karakteristik pelindungnya optimal. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa inovasi berbasis material alami seperti kitin dan kitosan tidak hanya memberikan solusi teknis yang efektif tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi ketergantungan pada bahan-bahan sintetis yang sulit terurai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Helbert and J. Sugiyama, "High-resolution electron microscopy on cellulose II and  $\alpha$ -chitin single crystals," *Cellulose*, vol. 5, no. 2, pp. 113–122, 1998.
- [2] I. Aranaz *et al.*, "Chitosan: An overview of its properties and applications," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 19, 2021.
- [3] M. T. Ma'ruf, "FIKSASI TULANG DENGAN ALAT BERBAHAN DASAR POLIMER (Uji Biokompatibilitas)," *Interdental J. Kedokt. Gigi*, vol. 14, no. 2, pp. 27–31, 2018.
- [4] I. Bustami, S. Pipih, and Prantommy, "PEMANFAATAN KITOSAN PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PERIKANAN," vol. XII, 2009.
- [5] S. Victor M., B. Andhika, and I. Syauqiah, "PEMANFAATAN KITOSAN DARI LIMBAH CANGKANG BEKICOT (*Achatina fulica*) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT SENG (Zn)," *Konversi*, vol. 5, no. 1, p. 22, 2018.
- [6] W. Iskawati, V. Hastuti, and Hunaidah, "The Effect Of Variations In The Concentration Of Chitosan On The Mechanical Properties Of Chitosan From Crab Shells," *Indones. J. Phys. its Appl.*, vol. 1, no. 2, pp. 51–57, 2021.
- [7] N. Kakati, J. Maiti, G. Das, S. H. Lee, and Y. S. Yoon, "An approach of balancing the ionic conductivity and mechanical properties of PVA based nanocomposite membrane for DMFC by various crosslinking agents with ionic liquid," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 22, pp. 7114–7123, 2015.
- [8] P. Bradu *et al.*, *Recent advances in green technology and Industrial Revolution 4.0 for a sustainable future*, vol. 30, no. 60. Springer Berlin Heidelberg, 2023.
- [9] R. Al, I. Reshad, T. A. Jishan, and N. N. Chowdhury, "JOURNAL OF CLINICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS Chitosan and its Broad Applications : A Brief Review," vol. 12, no. 4, pp. 1–13, 2021.
- [10] W. Iskawati *et al.*, "Indonesian Journal of Physics and its Applications The Effect Of Variations In The Concentration Of Chitosan On The Mechanical Properties Of Chitosan From Crab Shells (Efek Variasi Konsentrasi Kitosan Terhadap Sifat Mekanik Kitosan dari Cangkang Rajungan)," pp. 51–57, 2010.
- [11] H. Budiman, "Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell," *J-Ensitem*, vol. 3, no. 01, pp. 9–13, 2016.
- [12] Y. D. Hartatik, L. Nuriyah, and Iswarin, "Effect of Chitosan Composition on Mechanical Properties and Biodegradable Bioplastics," *Brawijaya Phys. Student J.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2014.
- [13] N. K. Mathur and C. K. Narang, "Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals," *J. Chem. Educ.*, vol. 67, no. 11, pp. 938–942, 1990.
- [14] K. Piekarska, M. Sikora, M. Owczarek, J. Józwick-Pruska, and M. Wiśniewska-Wrona, "Chitin and Chitosan as Polymers of the Future—Obtaining, Modification, Life Cycle Assessment and Main Directions of Application," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 4, 2023.
- [15] M. Rinaudo, "Chitin and chitosan: Properties and applications," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 31, no. 7, pp. 603–632, 2006.
- [16] K. Wu *et al.*, "Recent Advances in the Preparation , Antibacterial Mechanisms , and Applications of Chitosan," 2024.
- [17] B. Ozgen, "Physical properties of Kevlar and Nomex plied and covered yarns," *Text. Res. J.*, vol. 83, no. 7, pp. 752–760, 2013.
- [18] S. A. Miwazuki, P. Anisa, R. Z. Rustama, A. Christina, and S. Aritonang, "Review Komprehensif : Studi

Perbandingan Antara Material Logam dan Komposit untuk Pembuatan Helm Anti Balistik,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 7, no. 1, pp. 120–126, 2024.

- [19] S. T. Mergelsberg, R. N. Ulrich, S. Xiao, and P. M. Dove, “Composition systematics in the exoskeleton of the american lobster, *Homarus americanus* and implications for malacostraca,” *Front. Earth Sci.*, vol. 7, no. April, pp. 1–11, 2019.
- [20] C. Casadidio, D. V. Peregrina, M. R. Gigliobianco, S. Deng, R. Censi, and P. Di Martino, “Chitin and chitosans: Characteristics, eco-friendly processes, and applications in cosmetic science,” *Mar. Drugs*, vol. 17, no. 6, 2019.
- [21] V. M. Pathak and Navneet, “Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach,” *Bioresour. Bioprocess.*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [22] J. Shojaeiarani, D. S. Bajwa, C. Rehovsky, S. G. Bajwa, and G. Vahidi, “Deterioration in the physico-mechanical and thermal properties of biopolymers due to reprocessing,” *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 1, 2019.
- [23] N. Sazali, H. Ibrahim, A. S. Jamaludin, M. A. Mohamed, W. N. W. Salleh, and M. N. Z. Abidin, “Degradation and stability of polymer: A mini review,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 788, no. 1, 2020.
- [24] R. R. A. Silva, C. S. Marques, T. R. Arruda, S. C. Teixeira, and T. V. de Oliveira, “Biodegradation of Polymers: Stages, Measurement, Standards and Prospects,” *Macromol*, vol. 3, no. 2, pp. 371–399, 2023.
- [25] M. Kozma, B. Acharya, and R. Bissessur, “Chitin, Chitosan, and Nanochitin: Extraction, Synthesis, and Applications,” pp. 1–28, 2022.
- [26] P. Methacanon, M. Prasitsilp, T. Pothsree, and J. Pattaraarchachai, “Heterogeneous N-deacetylation of squid chitin in alkaline solution,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 52, no. 2, pp. 119–123, 2003.
- [27] P. J. do Amaral Sobral *et al.*, “Rheological and Viscoelastic Properties of Chitosan Solutions Prepared with Different Chitosan or Acetic Acid Concentrations,” *Foods*, vol. 11, no. 17, 2022.
- [28] Y. V. Zhuikova, V. A. Zhuikov, D. D. Khaydapova, A. P. Lunkov, G. A. Bonartseva, and V. P. Varlamov, “Evaluation of Chemical and Biological Properties of Biodegradable Composites Based on Poly(3-hydroxybutyrate) and Chitosan,” *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 8, 2024.
- [29] S. Hejazi *et al.*, “Physicochemical Characterization of Chitosan/Poly- $\gamma$ -Glutamic Acid Glass-like Materials,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 24, no. 15, 2023.
- [30] A. Yarahmadi, B. Dousti, M. Karami-Khorramabadi, and H. Afkhami, “Materials based on biodegradable polymers chitosan/gelatin: a review of potential applications,” *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 12, no. August, pp. 1–22, 2024.