

Karakterisasi Elastisitas Karet Alam dari *Castilla elastica* melalui Uji Tarik

Sufilman Ely¹⁾, Frandy Akyuwen²⁾, Ruth Meisye Kaloari^{3)*}

^{1,2,3}Program Studi Fisika, Universitas Pattimura, Kota Ambon, 97233, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: ruthkaloari24@gmail.com

Diterima 06 Oktober 2025; Disetujui 30 Oktober 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji sifat elastisitas dan menghitung nilai modulus elastisitas (*Young's modulus*) dari karet alam yang dihasilkan oleh pohon *Castilla elastica* yang tumbuh secara alami di Desa Hila, Pulau Ambon. Tanaman ini merupakan sumber karet alternatif yang belum banyak dimanfaatkan di Indonesia. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental kuantitatif di laboratorium di mana getah dari pohon *Castilla elastica* disadap, dikeringkan, dan dibentuk menjadi strip karet berukuran seragam. Uji elastisitas dilakukan terhadap dua sampel yang identik dengan menambahkan beban bertahap pada masing-masing sampel dan mengukur pertambahan panjang akibat regangan. Hasil uji tarik dari kedua sampel menunjukkan bahwa karet dari *Castilla elastica* memiliki daya regang tinggi namun nilai modulus elastisitasnya relatif rendah, berkisar antara 5.416–16.263 N/m². Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan modulus elastisitas karet alam dari *Hevea brasiliensis* yang umumnya berada pada kisaran 0,32–0,42 MPa. Penurunan nilai modulus seiring bertambahnya beban menunjukkan sifat nonlinier elastisitas material yang mencerminkan kemampuan deformasi tinggi pada karet *Castilla elastica*. Karakteristik tersebut menunjukkan potensi pemanfaatannya sebagai material dasar untuk pembuatan produk elastomerik ringan seperti membran pelindung fleksibel, lapisan perekat elastis, selongsong atau gasket lunak, serta bantalan atau peredam getaran pada sistem mekanik berskala ringan.

Kata kunci : *Castilla elastica*, karet alam, modulus elastisitas

ABSTRACT

This study aims to test the elasticity properties and calculate the elastic modulus (*Young's modulus*) of natural rubber produced by *Castilla elastica* trees that grow naturally in Hila Village, Ambon Island. This plant is an alternative source of rubber that has not been widely utilized in Indonesia. The research was conducted using quantitative experimental methods in a laboratory where sap from the *Castilla elastica* tree was tapped, dried, and formed into uniform-sized rubber strips. Elasticity tests were carried out by applying gradual loads to each sample and measuring the increase in length due to strain. The results showed that rubber from *Castilla elastica* has high tensile strength but a relatively low elastic modulus, ranging from 5,416 to 16,263 N/m². This value is significantly lower than the elastic modulus of natural rubber from *Hevea brasiliensis*, which typically ranges between 0.32–0.42 MPa. The decrease in modulus with increasing load indicates the non-linear elastic behavior of the material. These results suggest that rubber derived from *Castilla elastica* is soft and has potential applications in lightweight elastic products. These characteristics indicate its potential utilization as a base material for the fabrication of lightweight elastomeric products such as flexible protective membranes, elastic adhesive coatings, soft sleeves or gaskets, and lightweight vibration-damping pads in mechanical systems.

Keywords : *Castilla elastica*, natural rubber, elastic modulus

1. PENDAHULUAN

Karet alam merupakan material elastomer yang memiliki peran penting dalam berbagai bidang industri, mulai dari otomotif, kesehatan, hingga teknologi (Deswita dkk., 2006). Kemampuan uniknya untuk meregang dan kembali ke bentuk semula menjadikannya bahan baku utama dalam pembuatan produk-

produk seperti ban, selang, alat pelindung, dan berbagai komponen elastis lainnya (Widiyati dan Poernomo, 2018). Seiring meningkatnya kebutuhan terhadap bahan-bahan ramah lingkungan dan berkelanjutan, eksplorasi terhadap sumber karet alam alternatif selain *Hevea brasiliensis* menjadi sangat penting.

Salah satu tanaman penghasil karet alam yang belum banyak dimanfaatkan adalah *Castilla elastica*, sejenis pohon tropis penghasil lateks yang dikenal juga sebagai pohon karet Panama. Di beberapa wilayah Amerika Tengah dan Selatan, getah dari *Castilla elastica* telah lama digunakan secara tradisional untuk berbagai keperluan (Tarkanian dan Hosler, 2011). Menariknya, pohon ini juga tumbuh subur secara alami di wilayah Indonesia timur termasuk Pulau Ambon. Keberadaan tanaman ini di alam cukup melimpah namun hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal maupun dikaji secara ilmiah dari sisi sifat fisik dan mekaniknya.

Penelitian terdahulu mengenai *Castilla elastica* umumnya berfokus pada aspek biologi dan sejarah pemanfaatannya, sementara kajian mengenai karakterisasi sifat material dari getah yang dihasilkannya masih sangat terbatas (Tarkanian dan Hosler, 2011). Di Indonesia sendiri, informasi ilmiah mengenai *Castilla elastica* masih sangat terbatas. Secara khusus, belum terdapat data kuantitatif mengenai sifat elastisitas karet alam yang dihasilkan oleh *Castilla elastica* yang tumbuh di Indonesia termasuk dari wilayah Ambon. Selain itu, belum ada penelitian yang membandingkan sifat mekanik karet dari *Castilla elastica* dengan standar karet alam industri yang umumnya berasal dari *Hevea brasiliensis*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemahaman mengenai potensi *Castilla elastica* sebagai sumber karet alam alternatif masih terbatas dan perlu dikaji secara mendalam.

Potensi tersebut membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut terutama mengenai sifat mekanik dari karet yang dihasilkan oleh *Castilla elastica*. Salah satu parameter paling penting dalam menentukan kualitas karet alam adalah elastisitasnya, yakni seberapa besar material tersebut dapat meregang dan kembali ke bentuk awal (Gent, 2013). Dengan menguji elastisitas dan menghitung modulus elastisitas (E) dapat diketahui sejauh mana karet dari *Castilla elastica* layak digunakan dalam aplikasi praktis.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menjawab keterbatasan informasi ilmiah terkait sifat elastisitas karet alam dari *Castilla elastica* yang tumbuh di Ambon serta membandingkan karakteristik

mekaniknya dengan standar karet alam industri. Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai potensi *Castilla elastica* sebagai sumber karet alternatif yang berkelanjutan sekaligus mendukung upaya pemanfaatan sumber daya hayati lokal melalui pendekatan berbasis riset.

2. KAJIAN LITERATUR

Karet Alam

Karet alam (natural rubber, NR) secara kimia utama tersusun dari poli(isoprena) cis-1,4 yang memberi NR karakteristik elastisitas tinggi, kemampuan regangan besar, dan ketangguhan mekanik yang baik. Salah satu fenomena penting yang menjelaskan kekuatan mekanik NR adalah *strain-induced crystallization* (SIC). Ketika diregangkan, rantai polimer NR membentuk daerah kristalin sementara yang meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap kerusakan. Fenomena SIC ini merupakan alasan mengapa NR sering menunjukkan perilaku mekanik lebih baik dibanding banyak elastomer sintetis untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan tarik tinggi (Wang dkk., 2023).

Sumber-sumber karet alam selain *Hevea brasiliensis*

Walaupun *Hevea brasiliensis* adalah sumber komersial utama NR, literatur menyebut beberapa tanaman alternatif penghasil lateks termasuk *Castilla elastica*, *Parthenium argentatum* (guayule), dan beberapa *Euphorbiaceae* yang memiliki potensi baik dari segi sifat polymer maupun ketersediaan lokal. Kajian komprehensif mengenai sumber alternatif menekankan bahwa komposisi kimia lateks (fraksi isoprena, protein, dan kotoran *non-polymer*) serta struktur sistem vaskular pohon mempengaruhi kelayakan panen dan kualitas lateks. Untuk beberapa species non-*Hevea*, tantangan utama adalah produktivitas (yield) dan kemudahan penyadapan (bleeding), sehingga perlakuan pasca-panen dan proses pengolahan menjadi faktor penentu kualitas karet jadi (Mooibroek dan Cornish, 2000).

Castilla elastica

Castilla elastica (pohon karet Panama/Mesoamerika) dikenal sejak zaman prasejarah sebagai sumber lateks yang diproses menjadi barang-barang karet misalnya bola

permainan, figur oleh masyarakat Mesoamerika, sering dicampur/diolah dengan getah tanaman lain (mis. *Ipomoea alba*) untuk menghasilkan elastisitas dan sifat mekanik yang diinginkan. Penelitian arkeologis dan etnografis menunjukkan bahwa sifat mekanik karet hasil *C. elastica* (setelah pengolahan tradisional) dapat mencapai kualitas fungsional yang baik untuk aplikasi tertentu yang menandakan potensi materialnya bila diolah secara modern. Namun, secara fisiologis *C. elastica* tidak selalu memiliki sistem saluran lateks yang sama seperti *Hevea* sehingga teknik penyadapan dan produktivitasnya berbeda (Tarkanian dan Hosler, 2011). Hal ini relevan untuk studi kelayakan pengumpulan lateks di lokasi seperti Ambon.

Pengaruh komposisi lateks dan pemrosesan terhadap sifat elastisitas

Kualitas lateks (fraksi polimer, kandungan resin, air, dan protein) serta proses pengolahan (koagulasi, pencucian, pengeringan, vulkanisasi apabila dilakukan) sangat mempengaruhi modulus elastisitas, tegangan putus, dan perilaku regangan-leleh karet jadi. Penelitian modern pada film dan komposit NR menunjukkan bahwa pemurnian lateks dan kombinasi dengan pengisi atau aditif (mis. selulosa, chitosan) dapat meningkatkan modulus awal, kekuatan tarik, dan stabilitas umur panas, sehingga metode penyiapan sampel dan kondisi uji harus distandarisasi ketika membandingkan nilai modulus dari sumber yang berbeda (Sutipanwihan dkk., 2024).

Prinsip pengukuran elastisitas dan metode eksperimental

Uji elastisitas atau uji tarik merupakan salah satu metode utama untuk menentukan sifat mekanik bahan elastomer. Dalam standar ASTM D412, pengujian dilakukan dengan menarik sampel hingga putus untuk memperoleh data gaya (F) dan pertambahan panjang (ΔL). Dari data tersebut dapat dihitung tegangan (σ) dan regangan (ϵ), kemudian diperoleh modulus elastisitas (E) melalui hubungan menggunakan Persamaan 1.

$$E = \frac{F \cdot l}{\Delta L \cdot S} = \frac{(F_n - F_0)l}{(L_n - L_0)S} \quad (1)$$

Penelitian oleh Krmela dkk. (2021) menekankan pentingnya akurasi pengukuran

gaya dan regangan dalam karakterisasi material elastomer karena parameter tersebut sangat menentukan keandalan model komputasi yang dihasilkan. Dalam studi mereka, pengujian dilakukan menggunakan uji tarik laboratorium untuk memperoleh hubungan tegangan–regangan yang kemudian digunakan dalam pemodelan hiperelastik. Meskipun metode tersebut berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan pendekatan beban gantung bertahap ($F = m \times g$) untuk menghasilkan gaya tarik, prinsip dasarnya serupa, yaitu menilai respons deformasi material terhadap gaya eksternal. Pendekatan ini memastikan bahwa nilai modulus elastisitas yang diperoleh merepresentasikan perilaku mekanik karet secara akurat untuk analisis komputasi maupun eksperimental.

Metode sederhana tersebut memungkinkan perhitungan modulus elastisitas menggunakan prinsip dasar mekanika tanpa alat uji tarik digital selama pengukuran panjang dan luas penampang dilakukan dengan teliti.

3. METODE PENELITIAN

Pengambilan Getah Karet *Castilla elastica*

Getah karet dari pohon *Castilla elastica* pada penelitian ini diambil di Desa Hila, Kecamatan Leihitu. Pengambilan getah karet dilakukan secara manual dengan metode penyadapan sederhana.

Proses pengambilan getah karet dimulai dengan pemilihan pohon yang sehat dan cukup tua dengan diameter batang minimal 20 cm. Penyadapan dilakukan pada pagi hari saat suhu relatif sejuk agar aliran getah lebih lancar. Getah karet kemudian dibawa ke laboratorium untuk proses pengolahan menjadi lembaran karet siap uji. Bentuk pohon *Castilla elastica* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pohon *Castilla elastica*

Proses Penyiapan Sampel Getah Karet

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif untuk mengukur elastisitas karet alam dari pohon *Castilla elastica*. Sampel karet diperoleh dari getah pohon *Castilla elastica* kemudian diolah menjadi lembaran karet dan dipotong menggunakan *cutter* dengan ukuran yang diseragamkan yaitu dengan panjang 3 mm, lebar 2 mm, dan tinggi 45 mm. Sampel yang sudah dipotong kemudian dilakukan uji elastisitas. Sampel yang dilakukan uji elastisitas sebanyak 2 sampel dengan ukuran yang sama yang bertujuan untuk melihat keakuratan modulus elastisitas dari sampel.

Uji Elastisitas

Uji elastisitas dilakukan dengan menggantung beban secara bertahap pada masing-masing sampel karet hingga sampel karet tersebut tidak mampu menahan berat beban atau putus (Gambar 2). Berat beban dimulai dari yang paling ringan (50 gram) hingga beban yang lebih berat sambil mencatat panjang awal karet (L_0) sebelum diberi beban dan panjang akhir (L) setelah beban digantung. Pengukuran panjang dilakukan menggunakan penggaris logam dengan ketelitian 1 mm. Pertambahan panjang dihitung dengan rumus $\Delta L = L - L_0$. Gaya yang bekerja dihitung dari massa beban dikalikan percepatan gravitasi ($F = m \times 9,8 \text{ m/s}^2$). Selanjutnya luas penampang karet diukur untuk menghitung modulus elastisitas (E) menggunakan persamaan Krmela dkk., 2021 sesuai Persamaan 2.

$$E = \frac{F \cdot L_0}{\Delta L \cdot A} = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

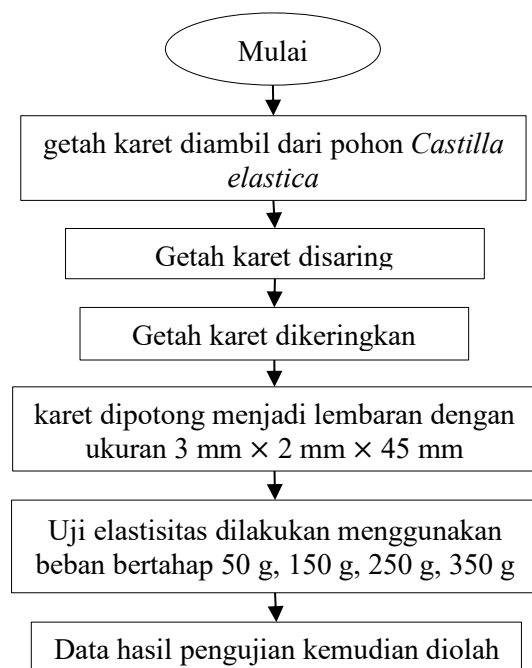
Dengan E adalah modulus elastisitas, σ adalah tegangan tarik, ϵ adalah regangan, F adalah gaya tarik, A adalah luas penampang awal, ΔL adalah perubahan panjang sampel ketika diberi beban, dan L_0 adalah panjang awal sampel.

Perlu dicatat bahwa metode beban gantung ini bukan merupakan metode standar ASTM D412 sehingga hasil yang diperoleh merepresentasikan perkiraan atau estimasi awal

modulus elastisitas bukan nilai *engineering modulus* penuh seperti pada uji tarik standar. *Set up* alat pengujian dan diagram alir tahapan penelitian uji elastisitas karet alam dari getah *Castilla elastica* masing-masing ditunjukkan Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. *Set up* alat pengujian elastisitas karet



Gambar 3. Diagram alir tahapan penelitian uji elastisitas karet alam dari getah *Castilla elastica*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji sifat elastisitas getah karet dari pohon *Castilla elastica* dilakukan melalui pemberian beban tarik secara bertahap pada sampel yang

telah dipersiapkan. Beban yang digunakan berupa massa dengan variasi 50 g, 150 g, 250 g, 350 g, dan seterusnya hingga sampel mengalami kegagalan mekanis yang ditandai dengan ketidakmampuan material menahan gaya tarik atau terjadinya putus. Sebelum pengujian, getah karet dikeringkan dan dipotong dengan dimensi seragam. Hasil pengujian elastisitas masing-masing sampel ditabulasikan secara terpisah dan disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 sehingga memungkinkan perbandingan kuantitatif serta analisis karakteristik mekanik dari material yang diuji.

Pada sampel 1, nilai modulus elastisitas tercatat sebesar 15.909 N/m² dengan menggunakan beban 0,05 kg, kemudian mengalami penurunan menjadi 7.703 N/m² pada beban 0,15 kg, dan 5.416 N/m² pada beban 0,25 kg. Sampel kemudian mengalami

kegagalan mekanik (*rupture*) ketika diberi beban 0,35 kg.

Sampel 2 menunjukkan nilai modulus elastisitas serupa yaitu sebesar 16.263 N/m² pada beban 0,05 kg, menurun menjadi 10.682 N/m² pada beban 0,15 kg, 8.960 N/m² pada beban 0,25 kg, dan 6.347 N/m² pada beban 0,35 kg. Berbeda dengan Sampel 1, Sampel 2 masih mampu menahan beban hingga 0,35 kg dan kemudian mengalami kegagalan mekanik ketika diberikan beban sebesar 0,45 kg.

Perubahan panjang (ΔL) getah karet *Castilla elastica* menunjukkan pola konsisten terhadap peningkatan massa beban (m) pada kedua sampel uji sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 4. Secara umum, semakin besar beban yang diaplikasikan maka semakin signifikan pertambahan panjang material (Palanisamy dkk., 2023).

Tabel 1. Hasil uji elastisitas getah karet *Castilla elastica* sampel 1

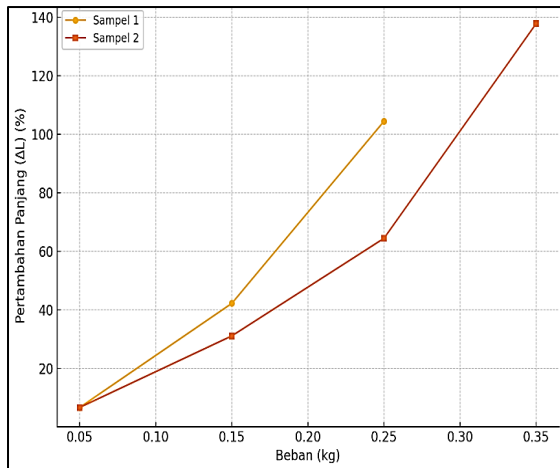
No.	m (kg)	l (m) $\pm$ 0.0005	p (m) $\pm$ 0.0005	t (m) $\pm$ 0.0005	L_0 (m) $\pm$ 0.0005	L (m) $\pm$ 0.0005	ΔL (m)	A (m ²)	F (N)	E (N/m ²)
1	0,05	0,002	0,003	0,045	0,045	0,048	0,003	0,00046	0,49	15.909
2	0,15	0,002	0,003	0,045	0,046	0,065	0,019	0,00046	1,47	7.703
3	0,25	0,002	0,003	0,045	0,048	0,095	0,047	0,00046	2,45	5.416

Tabel 2. Hasil uji elastisitas getah karet *Castilla elastica* sampel 2

No.	m (kg)	l (m) $\pm$ 0.0005	p (m) $\pm$ 0.0005	t (m) $\pm$ 0.0005	L_0 (m) $\pm$ 0.0005	L (m) $\pm$ 0.0005	ΔL (m)	A (m ²)	F (N)	E (N/m ²)
1	0,05	0,002	0,003	0,045	0,045	0,049	0,003	0,00046	0,49	16.263
2	0,15	0,002	0,003	0,045	0,047	0,061	0,014	0,00046	1,47	10.682
3	0,25	0,002	0,003	0,045	0,049	0,078	0,029	0,00046	2,45	8.960
4	0,35	0,002	0,003	0,045	0,053	0,115	0,062	0,00046	3,43	6.347

Tabel 3. Pertambahan panjang (ΔL), regangan, dan tegangan tarik

Sampel	No	Beban (kg)	Panjang Awal (m)	Pertambahan Panjang (ΔL) (m)	Strain (%)	Stress σ (N/m ²)
1	1	0,05	0,045	0,003	7	1.065
	2	0,15	0,045	0,019	42	3.196
	3	0,25	0,045	0,047	104	5.326
2	1	0,05	0,045	0,003	7	1.065
	2	0,15	0,045	0,014	31	3.196
	3	0,25	0,045	0,029	64	5.326
	4	0,35	0,045	0,062	138	7.457



Gambar 4. Hubungan antara Beban Tarik dan Pertambahan Panjang Relatif (ΔL) pada Sampel Karet Alam *Castilla elastica*

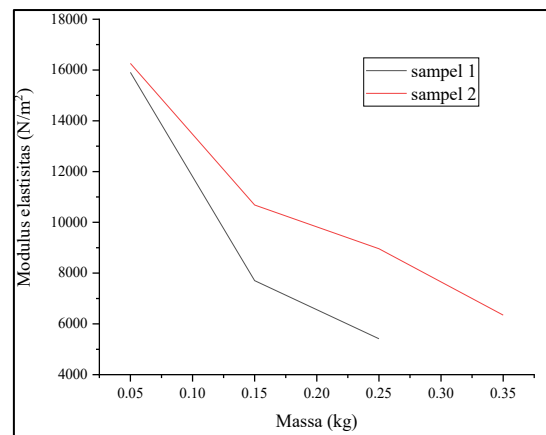
Pada Sampel 1, dengan panjang awal 0,045 m, pembebanan sebesar 0,05 kg menghasilkan pertambahan panjang (ΔL) 0,003 m atau sekitar 6,67%. Selanjutnya, pada pembebanan 0,15 kg, pertambahan panjang meningkat menjadi 0,019 m (42,22%), dan pada 0,25 kg mencapai 0,047 m (104,44%). Sampel 1 kemudian mengalami kegagalan mekanik ketika diberi beban 0,35 kg.

Pada Sampel 2 yang memiliki panjang awal identik (0,045 m), pertambahan panjang akibat pembebanan 0,05 kg adalah 0,003 m (6,67%). Ketika beban dinaikkan menjadi 0,15 kg, ΔL tercatat sebesar 0,014 m (31,11%), meningkat menjadi 0,029 m (64,44%) pada pembebanan 0,25 kg, dan mencapai 0,062 m (137,78%) pada pembebanan 0,35 kg. Berbeda dengan Sampel 1, Sampel 2 masih mampu bertahan pada beban 0,35 kg dan kemudian rantai panjang polimer karet terputus menjadi potongan-potongan yang lebih pendek pada pembebanan 0,45 kg.

Hasil uji ini mengindikasikan bahwa pada beban maksimum, material karet dari *castilla elastica* mengalami pemanjangan lebih dari dua kali lipat panjang awalnya. Persentase pertambahan panjang yang semakin besar menunjukkan tingginya kemampuan regangan (*high elongation at break*) namun respons material terhadap gaya cenderung nonlinier pada beban besar (Kim dkk., 2011). Hal ini menandakan bahwa karet mulai keluar dari

perilaku elastis ideal dan mengalami deformasi plastis permanen atau kegagalan tarik.

Selanjutnya, Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas cenderung menurun seiring dengan peningkatan beban, baik pada Sampel 1 maupun Sampel 2. Tren penurunan ini berkorelasi erat dengan pertambahan panjang (ΔL) yang semakin signifikan pada masing-masing sampel ketika diberikan pembebanan lebih besar.



Gambar 5. Grafik hubungan massa beban terhadap modulus elastisitas (*Young's modulus*) getah karet *castilla elastica*

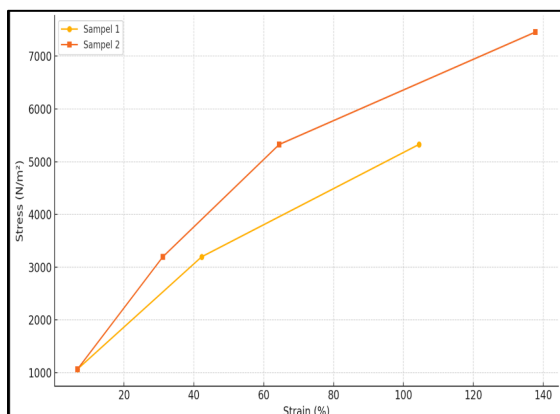
Pada Sampel 1, ΔL meningkat dari 0,003 m pada pembebanan 0,05 kg menjadi 0,047 m pada 0,25 kg, yang disertai dengan penurunan modulus elastisitas dari 15.909 N/m² menjadi 5.416 N/m². Fenomena serupa juga teramati pada Sampel 2, di mana ΔL bertambah dari 0,003 m hingga 0,062 m saat beban meningkat dari 0,05 kg hingga 0,35 kg, dan modulus elastisitas turun dari 16.263 N/m² menjadi 6.347 N/m².

Kecenderungan penurunan modulus elastisitas mengindikasikan bahwa material semakin kehilangan kemampuan untuk mempertahankan bentuk asalnya seiring dengan bertambahnya regangan (Tolpekin dkk., 2019). Meskipun terdapat variasi kecil dalam nilai modulus elastisitas antara kedua sampel, rentang nilai yang diperoleh relatif serupa yaitu 15.909–5.416 N/m² pada Sampel 1 dan 16.263–6.347 N/m² pada Sampel 2. Keseragaman hasil ini mencerminkan konsistensi perilaku mekanik getah karet

Castilla elastica serta memperkuat validitas pengujian yang dilakukan.

Penurunan nilai modulus elastisitas yang diamati pada Gambar 5 dapat diinterpretasikan sebagai hasil dari perilaku non-linier material karet alami. Dalam konteks teori material hiperelastis, perilaku ini sesuai dengan model Neo-Hookean dan Mooney–Rivlin yang menggambarkan material karet dengan kemampuan deformasi besar namun dengan penurunan ketegaran seiring bertambahnya regangan (Boyce dan Arruda, 2000).

Secara kualitatif, penurunan modulus menunjukkan terjadinya *strain softening* di mana rantai polimer yang semula kusut (*entangled*) mulai terurai dan mengalami *chain slippage* (pergeseran antar segmen rantai) (Wang dkk., 2022). Mekanisme ini mengurangi resistansi internal terhadap deformasi sehingga nilai modulus elastisitas menurun secara progresif pada regangan besar. Pada tahap mendekati kegagalan mekanik, sebagian besar energi yang diberikan tidak lagi tersimpan sebagai energi elastik tetapi terdisipasi melalui deformasi plastis dan perusakan mikrostruktur (Pornhagen dkk., 2021). Hal ini menyebabkan grafik tegangan–regangan melengkung ke bawah (nonlinier) sebagaimana terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara Tegangan (*Stress*) dan Regangan (*Strain*) pada Sampel Karet Alam *Castilla elastica*

Grafik hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*, dalam persen)

dari kedua sampel karet *Castilla elastica* menunjukkan kecenderungan linier pada tahap awal pembebanan (Gambar 6). Pola ini merefleksikan perilaku elastis material di mana peningkatan tegangan berbanding lurus dengan pertambahan regangan (Tolpekina dkk., 2019).

Sampel 1 menunjukkan peningkatan tegangan yang relatif stabil terhadap pertambahan regangan hingga mencapai sekitar 100% dengan gradien kurva yang lebih landai dibandingkan Sampel 2. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tingkat ketegaran (*stiffness*) Sampel 1 lebih rendah. Sebaliknya, Sampel 2 memperlihatkan nilai tegangan yang lebih tinggi pada regangan yang sama serta kemampuannya untuk menahan regangan hingga melampaui 130%. Temuan ini menunjukkan bahwa karet alam dari *Castilla elastica* memiliki kapasitas regangan maksimum hingga sekitar 130% dengan dimensi awal sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

Pada rentang regangan kecil ($\leq 10\%$), hubungan antara tegangan dan regangan pada kedua sampel karet *Castilla elastica* menunjukkan kecenderungan linier yang konsisten dengan Hukum Hooke (Mavko dkk., 2020). Dalam tahap ini, modulus elastisitas (*Young's modulus*) relatif stabil dan menggambarkan ketegaran awal material akibat regangan yang masih terbatas pada deformasi elastis reversibel (Callister dan Rethwisch, 2018). Namun, ketika pembebanan meningkat hingga melampaui batas elastis linier ($\sim 30\text{--}50\%$ regangan), kurva tegangan–regangan mulai mengalami deviasi dari linearitas. Fenomena ini menunjukkan bahwa gaya tarik yang lebih besar menyebabkan rantai molekul polimer mengalami peregangan ekstrem, orientasi ulang, dan pelepasan sebagian ikatan lemah antar rantai sehingga kemampuan material untuk menahan tegangan tambahan menurun (Gent, 2012). Hal ini menandakan penurunan kemampuan material untuk sepenuhnya kembali ke bentuk semula sekaligus mengindikasikan awal dari fase deformasi plastis (Mohd Shahar dkk., 2022).

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu, jenis karet alam dari *Hevea brasiliensis* menunjukkan nilai modulus elastisitas yang secara signifikan lebih tinggi. Berdasarkan perbandingan antara hasil pengujian karet alam *Castilla elastica* dalam penelitian ini dengan data literatur karet alam *Hevea brasiliensis* yang ditampilkan pada Tabel 4 (Lehman dkk., 2022), terlihat adanya perbedaan yang cukup mencolok. Pada penelitian ini, karet alam *Castilla elastica* memiliki rentang modulus elastisitas sebesar 5.416–16.263 N/m² atau jika dikonversi setara dengan 0,0054–0,0163 MPa. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan karet alam komersial yang dapat disebabkan oleh sampel yang belum divulkanisasi, kandungan karet kering yang rendah, orientasi molekul yang tidak seragam, serta metode pengeringan yang digunakan. Sebaliknya, karet alam *Hevea brasiliensis* dari empat klon berbeda (RRIM600, RRIT251, PB235, dan BPM24) menunjukkan nilai modulus elastisitas pada regangan 100% yang jauh lebih tinggi, yaitu berada pada kisaran 0,32–0,42 MPa.

Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas karet *Castilla elastica* hanya mencapai sekitar 1–5% dari nilai modulus karet *Hevea brasiliensis* yang telah melalui proses lanjutan berupa penambahan zat pengental. Karet dari *Castilla elastica* dapat dikategorikan jauh lebih lunak dan lebih mudah mengalami deformasi elastis dibandingkan dengan karet dari *Hevea brasiliensis*. Karakteristik tersebut menunjukkan potensi

pemanfaatannya sebagai material dasar untuk pembuatan produk elastomerik ringan seperti membran pelindung fleksibel, lapisan perekat elastis, selongsong atau gasket lunak, serta bantalan atau peredam getaran pada sistem mekanik berskala ringan.

Perbandingan dengan karet alam *Hevea brasiliensis* yang disajikan pada Tabel 4 dimaksudkan sebagai tinjauan awal (*preliminary comparison*) guna memberikan gambaran posisi mekanik karet *Castilla elastica* relatif terhadap karet komersial. Nilai modulus elastisitas *Hevea brasiliensis* yang jauh lebih tinggi kemungkinan besar dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain komposisi kimia getah, perbedaan proses preparasi, tingkat kekentalan, kandungan karet kering (*dry rubber content*) yang lebih tinggi, penambahan bahan pengisi (*filler*), serta perlakuan penguatan struktural seperti proses vulkanisasi (Boonrasri dkk., 2020; Ding dkk., 2024).

Dengan demikian, meskipun karet dari *Castilla elastica* belum menunjukkan ketangguhan mekanik yang sebanding dengan karet industri (*Hevea brasiliensis*) yang telah mengalami berbagai proses kimia lanjutan, temuan ini memberikan landasan penting bagi penelitian selanjutnya. Kajian lebih mendalam dapat diarahkan pada eksplorasi pengaruh faktor lingkungan seperti suhu, modifikasi melalui pencampuran dengan material lokal, maupun penerapan proses vulkanisasi alami untuk meningkatkan sifat mekaniknya.

Tabel 4. Perbandingan nilai modulus elastisitas antara karet *Castilla elastica* (hasil penelitian ini) dan *Hevea brasiliensis* (data literatur)

No	Jenis Karet	Klon / Sampel	Modulus Elastis (MPa)	Keterangan
1	<i>Castilla elastica</i> (penelitian ini)	Sampel 1	0.0159	Tanpa vulkanisasi
2	<i>Castilla elastica</i> (penelitian ini)	Sampel 2	0.0163	Tanpa vulkanisasi
3	<i>Hevea brasiliensis</i> (Lehman dkk., 2022)	RRIM600	0.36	100% modulus
4	<i>Hevea brasiliensis</i> (Lehman dkk., 2022)	RRIT251	0.37	100% modulus
5	<i>Hevea brasiliensis</i> (Lehman dkk., 2022)	PB235	0.32	100% modulus
6	<i>Hevea brasiliensis</i> (Lehman dkk., 2022)	BPM24	0.4	100% modulus

5. KESIMPULAN

1. Sifat elastisitas getah karet *Castilla elastica* menunjukkan perilaku elastis dasar ketika diberi gaya tarik dengan karakteristik elastisitas yang ditunjukkan mulai menyimpang dari linearitas pada beban yang lebih besar yang mengindikasikan keterbatasan elastisitas ideal.
2. Nilai modulus elastisitas (*Young's modulus*) getah karet *Castilla elastica* berada dalam kisaran 5.416 hingga 16.263 N/m² (setara dengan 0.0054 – 0.0163 MPa). Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan karet alam *Hevea brasiliensis* yang berkisar antara 0.32 – 0.42 MPa yang menunjukkan bahwa getah karet dari *Castilla elastica* jauh lebih lunak dan fleksibel namun memiliki ketegaran (*stiffness*) yang rendah.
3. Berdasarkan data perbandingan, karakteristik mekanik karet dari *Castilla elastica* memiliki kelenturan tinggi dan sifat regangnya menjadikan material ini berpotensi untuk dikembangkan dalam aplikasi tertentu yang membutuhkan fleksibilitas tinggi seperti perekat alami, bahan pelapis fleksibel, atau produk berbasis karet lunak *biodegradable*.
4. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode uji tarik standar ASTM D412 agar hasil pengukuran sifat mekanik lebih terukur dan dapat dibandingkan secara langsung dengan data karet alam industri. Selain itu, analisis komposisi kimia dan kandungan karet kering (*dry rubber content*) perlu dilakukan untuk memahami lebih dalam pengaruh struktur kimia terhadap sifat mekanik karet *Castilla elastica*.

6. REFERENSI

- Boonrasri, S., Sae-Oui, P., dan Rachtanapun, P. (2020): Chitosan and Natural Rubber Latex Biocomposite Prepared by Incorporating Negatively Charged Chitosan Dispersion, *Molecules*, **25**(12), 2777. <https://doi.org/10.3390/molecules25122777>
- Boyce, M., dan Arruda, E. (2000): Constitutive Models of Rubber Elasticity: A Review, *Rubber Chemistry and Technology*, **73**, 504–523. <https://doi.org/10.5254/1.3547602>
- Callister, W. D., dan Rethwisch, D. G. (2018): *Materials science and engineering: an introduction* (10th edition), Wiley, Hoboken, NJ, 1.
- Deswita, Sudirman, Karo, A. K., Sugiantoro, S., dan Handayani, A. (2006): Pengembangan Elastomer Termoplastik Berbasis Karet Alam Dengan Polietilen dan Polipropilen Untuk Bahan Industri, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **8**(1), 52–57.
- Ding, L., Huang, H., Wang, Y., Li, J., Gui, H., dan Chen, Y. (2024): The Influence of Fresh Latex Coagulation on the Parameter Characteristics of the Yeoh Hyperelastic Constitutive Model for Natural Rubber, *Polymers*, **16**(24), 3601. <https://doi.org/10.3390/polym16243601>
- Gent, A. N. (2012): Engineering with Rubber (3rd ed.), I–XVIII dalam *Engineering with Rubber*, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Munich. <https://doi.org/10.3139/9783446428713.fm>
- Gent, A. N. (2013): Rubber Elasticity: Basic Concepts and Behavior, *The Science and Technology of Rubber*, **1**(26). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394584-6.00001-7>
- Kim, T. K., Kim, J. K., dan Jeong, O. C. (2011): Measurement of nonlinear mechanical properties of PDMS elastomer, *Microelectronic Engineering*, **88**(8), 1982–1985. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2010.12.108>
- Krmela, J., Artyukhov, A., Krmelová, V., dan Pozovnyi, O. (2021): Determination of material parameters of rubber and composites for computational modeling based on experiment data, *Journal of Physics: Conference Series*, **1741**(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012047>
- Lehman, N., Tuljitrarn, A., Songtipya, L., Uthaipan, N., Sengloyluan, K., Johns, J., Nakaramontri, Y., dan Kalkornsura-pranee, E. (2022): Influence of Non-Rubber Components on the Properties of Unvulcanized Natural Rubber from Different Clones, *Polymers*, **14**(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/polym14091759>
- Mavko, G., Dvorkin, J., dan Mukerji, T. (Ed.) (2020): Elasticity and Hooke's Law. (3

- ed.), 37–120 *dalam The Rock Physics Handbook*, Cambridge University Press, Cambridge.
<https://doi.org/10.1017/9781108333016.003>
- Mohd Shahar, S. F., Mazlan, S. A., Johari, N., Johari, M. A. F., Abdul Aziz, S. A., Ahmad Khairi, M. H., Nordin, N. A., dan Mohd Hapipi, N. (2022): Mechanical Properties and Microstructural Behavior of Uniaxial Tensile-Loaded Anisotropic Magnetorheological Elastomer, *Actuators*, **11**(11), 306.
<https://doi.org/10.3390/act11110306>
- Mooibroek, H., dan Cornish, K. (2000): Alternative sources of natural rubber, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **53**(4), 355–365.
<https://doi.org/10.1007/s002530051627>
- Palanisamy, S., Kalimuthu, M., Dharmalingam, S., Alavudeen, A., Nagarajan, R., Ismail, S. O., Siengchin, S., Mohammad, F., dan Al-Lohedan, H. A. (2023): Effects of fiber loadings and lengths on mechanical properties of Sansevieria Cylindrica fiber reinforced natural rubber biocomposites, *Materials Research Express*, **10**(8), 085503. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acefb0>
- Pornhagen, D., Schneider, K., dan Stommel, M. (2021): Material parametrization of natural rubber based compound and characterization of crack propagation under consideration of dissipative effects, *Journal of Rubber Research*, **24**(2), 201–209. <https://doi.org/10.1007/s42464-021-00094-8>
- Sutipanwihan, N., Kitsawat, V., Sintharm, P., dan Phisalaphong, M. (2024): Natural Rubber Films Reinforced with Cellulose and Chitosan Prepared by Latex Aqueous Microdispersion, *Polymers*, **16**(18), 2652. <https://doi.org/10.3390/polym16182652>
- Tarkanian, M. J., dan Hosler, D. (2011): America's First Polymer Scientists: Rubber Processing, Use and Transport in Mesoamerica, *Latin American Antiquity*, **22**(4), 469–486.
<https://doi.org/10.7183/1045-6635.22.4.469>
- Tolpekina, T. V., Pyckhout-Hintzen, W., dan Persson, B. N. J. (2019): Linear and Nonlinear Viscoelastic Modulus of Rubber, *Lubricants*, **7**(3), 22.
<https://doi.org/10.3390/lubricants7030022>
- Wang, Y., Liao, L., Wang, R., Yu, H., Zheng, T., Lian, Y., Luo, M., Liao, S., Liu, H., dan Peng, Z. (2023): Research of strain induced crystallization and tensile properties of vulcanized natural rubber based on crosslink densities, *Industrial Crops and Products*, **202**, 117070. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117070>
- Wang, Y., Liu, H., Yu, H., Zhao, P., Wang, Q., Liao, L., Luo, M., Zheng, T., Liao, S., dan Peng, Z. (2022): New insight into naturally occurring network and entanglements induced strain behavior of vulcanized natural rubber, *Polymer*, **241**, 124545. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2022.124545>
- Widiyati, C., dan Poernomo, H. (2018): Design of A Prototype Photoreactor UV-Leds for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex, *International Journal of Technology*, **9**(1), 130–141. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i1.1164>