



## Rancangan kemasan pelindung apel selama transportasi berbahan dasar eceng gondok dan sabut kelapa

Ida Ayu Widhiantari\*, Amuddin, Rosyid Ridho, Fakhrol Irfan Khalil, Isnaini Puspitasari

Teknik Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

### Article history

*Diterima:*

22 Agustus 2023

*Diperbaiki:*

18 November 2023

*Disetujui:*

7 Desember 2023

### Keyword

*Apple;*

*coconut coir;*

*mechanical damage;*

*packaging;*

*water hyacinth*

### ABSTRACT

*Packaging during the transportation process greatly influences the damage to horticultural products. Harvest apples are usually packed in wooden boxes or bamboo baskets and stacked until they reach maximum capacity. This makes the fruit easily damaged by bruising due to high piles. Based on these conditions, it is necessary to handle horticultural products in the form of apples to reduce damage to the fruit during transportation to maintain the quality of the apples until they reach consumers and extend the shelf life of the fruit. This research aims to design protective packaging for apples from a combination of water hyacinth and coconut fiber. The experimental method was carried out in this research with 2 factors consisting of 3 levels; factor one the combination of packaging materials, and factor two was the pressure of the packaging printer. Nine experimental units were obtained from the combination of the two treatments, namely K1T1 (E 90% + S 10%) with a pressing pressure of 400 psi, K1T1 (E 90% + S 10%) with a pressing pressure of 700 psi, K1T1 (E 90% + S 10%) with a pressing pressure of 1000 psi, K2T1 (E 60% + S 40%) with a pressing pressure of 400 psi, K2T2 (E 60% + S 40%) with a pressing pressure of 700 psi, K2T3 (E 60% + S 40%) with pressing pressure 1000 psi, K3T1 (E 30% + S 70%) with pressing pressure 400 psi, K3T2 (E 30% + S 70%) with pressing pressure 700 psi, K3T3 (E 30% + S 70%) with pressing pressure 1000 psi. The results showed that the combination treatment of K2T2 with a pressing pressure of 700 psi provided the best protective quality for apples with the lowest percentage of mechanical damage and reduction in apple mass, at 5.556%, 2.55%, respectively. The springiness and texture values for apples were the highest with values respectively 3.17 mm, 16.7335N. Meanwhile, the highest packaging compressive strength value was obtained in the K3T3 treatment with a value of 26.164N.*



*This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

\* Penulis korespondensi

Email : ida.ayuwidhiantari@unram.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v18i4.22087

## PENDAHULUAN

Komoditas apel banyak dijual di kota Mataram baik di pasar tradisional maupun di supermarket. Jenis apel yang banyak terdapat di pasar tradisional yaitu apel manalagi. Apel manalagi berwarna hijau dan memiliki rasa manis dan sedikit asam. Menurut (Satuhu and Sunarmani 2004), besarnya nilai persentase buah mengalami kerusakan selama kegiatan transportasi untuk tujuan pengiriman dari lahan ke tempat pemasaran seperti pasar tradisional apalagi hingga pengiriman luar daerah yang membutuhkan waktu yang cukup lama. hingga mencapai 30-50% disebabkan oleh metode penanganan yang tidak tepat selama proses pengangkutan. Kerusakan produk hortikultura stroberi di Indonesia yang pernah dialami hingga mencapai 50% akibat proses pengangkutan dari Ciwidey ke Kota Cirebon (Sukasih et al. 2019).

Produk apel yang dijual di pasar maupun supermarket besar tidak semua dalam kondisi utuh dan segar. Tidak sedikit apel yang dijual dalam kondisi buah terlihat memar yang dapat dilihat dari munculnya warna coklat pada bagian kulit buah dan disertai dengan tekstur buah pada bagian yang memar terasa lembek. Kerusakan buah dapat terjadi baik saat penanganan panen maupun dalam perjalanan proses pengiriman. Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan fisik atau mekanis, mikrobiologis, dan fisiologis. Dalam proses transportasi, kerusakan banyak terjadi disebabkan oleh kondisi getaran mesin kendaraan yang cukup besar, permukaan jalan yang bergelombang dan berlubang serta pengiriman yang cukup jauh. Selain itu, pengaruh dari kemasan sendiri sangat memengaruhi tingkat kerusakan yang dialami oleh produk hortikultura tersebut.

Apel saat panen biasanya dikemas dalam kotak kayu atau keranjang bambu tanpa diberikan bahan pelapis atau pelindung pada kotak kayu tersebut atau pada apelnnya, sehingga apel secara langsung kontak dengan kotak kayu atau keranjang bambu tanpa ada bahan tambahan yang mampu melindungi apel di dalam kotak kayu atau keranjang bambu tersebut dari pengaruh getaran maupun tekanan saat transportasi. Belum lagi dalam kotak kayu tersebut apel ditumpuk hingga memenuhi kapasitas maksimal. Hal tersebut membuat buah mudah mengalami rusak memar bahkan luka akibat tumpukan yang tinggi terlebih lagi apel yang berada pada posisi paling bawah karena mendapat tekanan yang besar.

Penambahan bahan kemasan pada kotak kayu pernah dilakukan pada peneliti sebelumnya, yaitu dengan menambahkan cacahan koran dan daun pisang. (Rahmah et al. 2023) mengatakan bahwa daya redam yang dihasilkan dengan menggunakan bahan pengisi tersebut masih kurang maksimal sehingga masih menyebabkan penurunan mutu buah seperti memar, luka gores, dan susut bobot.

Proses hidup yang dialami buah pasca panen yaitu respirasi dan transpirasi dapat terjadi lebih cepat bila terdapat luka atau memar pada bagian daging buah sehingga mengakibatkan tingkat kerusakan yang tinggi (Lisawengeng et al. 2019). Selain sebagai wadah, pengemasan pada saat proses transportasi perlu diperhatikan agar mutu dari produk hortikultura dapat dipertahankan (Taufiq et al. 2022).

Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan penanganan terhadap produk hortikultura berupa apel untuk dapat mengurangi terjadinya kerusakan buah saat transportasi, sehingga mampu menjaga kualitas apel hingga diterima oleh konsumen dan memperpanjang umur simpan buah. Bentuk tindakan penanganan yang dapat diterapkan untuk meminimalisir persentase kerusakan yang dapat terjadi selama transportasi produk hortikultura apel segar pasacapanen adalah dengan memberikan pengemasan yang sesuai dengan karakteristik produk hortikultura yang diangkut (Amalia et al. 2018).

Penanganan yang dilakukan yaitu dengan memberikan bahan pelindung dalam kemasan kotak atau keranjang kayu untuk lebih mampu meredam getaran yang terjadi. Bahan yang digunakan terbuat dari *pulp eceng gondok* dan serabut kelapa. Kemasan apel juga dapat dilakukan menggunakan *net foam*, namun penggunaan *net foam* sebagai bahan non organik memiliki perbedaan dengan penggunaan bahan organik seperti *pulp eceng gondok*. Menurut (Perdana et al. 2019), pemilihan *pulp eceng gondok* yang merupakan bahan organik memiliki kelebihan diantaranya dari segi keamanan lingkungan bersifat *biodegradable*, mudah diperoleh, memiliki tekstur yang empuk dan memiliki nilai kuat tarik 0,00125 kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan penggunaan *net foam* memiliki sifat non *biodegradable*, keberadaanya yang tidak selamanya dapat tersedia walaupun memiliki nilai kuat tarik 0,06 kg f/mm<sup>2</sup>. Kelebihan lain dari penggunaan bahan *eceng gondok* yaitu merupakan

gulma perairan yang tidak dimanfaatkan. Selain itu eceng gondok dan serabut kelapa juga memiliki kandungan lignin masing-masing 7,69% dan 29,4% sehingga memiliki struktur yang cukup kuat (Kusuma et al. 2022). *Pulp* yang terbentuk akan dicetak sehingga diperoleh kemasan yang digunakan sebagai pelindung apel. Pencetakan dilakukan dengan bantuan alat pres untuk mempercepat proses, sehingga dapat dihasilkan pelindung apel dalam waktu yang singkat. *Pulp* yang terbentuk akan dicetak sehingga diperoleh kemasan yang digunakan sebagai pelindung apel. Pencetakan dilakukan dengan bantuan alat pres untuk mempercepat proses, sehingga dapat dihasilkan pelindung apel dalam waktu yang singkat). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain kemasan apel yang mampu meredam getaran yang lebih baik sehingga mampu melindungi apel dari kerusakan mekanis akibat pengaruh dari getaran selama proses transportasi.

## METODE

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian diantaranya blender, kompor gas, panci, nampan, timbangan, pisau, talenan, baskom, alat pencetak kemasan pelindung yang dibuat dengan menggunakan sistem pres hidrolik dalam mencetak kemasan bahan pelindung sehingga dapat memisahkan kandungan air dalam bahan dengan kombinasi serat bahan, serta meja simulator getar yang didesain berbentuk segi empat dengan dilengkapi kawat per pada 4 kaki penyangga meja sehingga menghasilkan gerak vertikal saat dioperasikan. Mesin pres hidrolik dibuat dengan dimensi lebar rangka kaki 52 cm, tinggi dudukan cetakan 47 cm, tinggi tuas hidrolik 50 cm. Meja simulator getar secara keseluruhan berdimensi panjang 60 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 75 cm, sedangkan khusus bagian meja simulator getar berdimensi panjang 60 cm, lebar 40 cm dan tinggi 9 cm. Bahan yang digunakan yaitu eceng gondok, sabut kelapa, dan apel hijau segar yang diperoleh dari toko buah. apel hijau yang digunakan memiliki ukuran yang relative seragam dengan diameter rata-rata 6,7 cm dan massa 88 g.

### Desain Penelitian

Metode eksperimental dilakukan dalam penelitian ini dan terdiri dari 2 faktor dan masing-masing terdiri dari 3 level yaitu faktor satu merupakan kombinasi bahan kemasan pelindung

apel (K), dan faktor dua merupakan tekanan alat pencetak kemasan (T). Didapatkan 9 unit percobaan dari kombinasi perlakuan yang digunakan yang disajikan pada Tabel 1.

### Prosedur Pembuatan Wadah Kemasan Pelindung Apel

Prosedur pembuatan wadah kemasan pelindung apel dijelaskan sebagai berikut:

1. Pencucian bahan berupa eceng gondok menggunakan air mengalir sehingga tidak ada lagi kotoran yang menempel
2. Pengecilan ukuran eceng gondok dan sabut kelapa dengan cara dipotong menggunakan pisau sehingga penghalusan akan menjadi lebih mudah
3. Eceng gondok yang telah diperkecil ukurannya kemudian dilakukan treatment untuk menghilangkan kandungan getah yang ada dengan perendaman dalam air yang bersih selama 24 jam sehingga bahan juga akan menjadi lunak
4. Pelunakan bahan eceng gondok dilakukan melalui perebusan pada air mendidih selama 1,5 jam
5. Penghalusan bahan eceng gondok menggunakan blender untuk memperoleh bubur serat (*pulp*)
6. Sabut kelapa dihaluskan juga dengan blender namun tanpa pemberian air
7. *Pulp* eceng gondok yang dihasilkan kemudian dicampur dengan sabut kelapa halus sesuai dengan perlakuan dan ditambahkan gliserol sebagai pemlastis sebanyak 100 ml kemudian dimasukkan dalam 6 lubang cetak dan dilakukan pencetakan dengan menggunakan alat cetak sistem pres hidrolik
8. Hasil cetakan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari langsung selama kurang lebih 3 hari
9. Apel disusun dalam tiap lubang pengemasan dan dimasukkan dalam kotak kayu berukuran 30 cm x 22 cm x 26 cm, sehingga total terdapat 4 susunan lapisan kemasan pelindung apel dengan total 24 apel hijau.
10. Dilakukan simulasi transportasi dengan menggunakan meja simulator getar dengan arah vertikal
11. Pasca simulasi transportasi, dilakukan perhitungan terhadap jumlah apel yang mengalami kerusakan
12. Dihitung juga penurunan massa bahan dan tingkat kekerasan buah apel

13. Pengukuran apel dilakukan sebelum dan setelah dilakukan simulasi transportasi menggunakan meja simulator getar dengan frekuensi getaran 3 Hz sampai hari ke delapan untuk melihat perubahan yang terjadi

### Parameter Penelitian

#### Uji Kuat Tekan Kemasan

Kuat tekan kemasan berhubungan dengan batas kemampuan maksimum kemasan yang dapat diterima, banyaknya tumpukan yang dapat diterima, dan ketinggian tumpukan maksimal dari kemasan. Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat *Texture Analyzer Brookfield* dengan jenis probe TA 39 (cylinder 2 mm D, 29 mm L).

#### Uji Springiness Kemasan Pelindung Apel

Uji *springiness* atau yang dikenal dengan elastisitas merupakan pengujian suatu bahan untuk mengetahui sifat elastis yang memberikan sifat empuk pada kemasan. Pengujian *springiness* dilakukan dengan menggunakan alat *Texture Analyzer Brookfield Lab, Inc* dengan tipe probe TA 39 (cylinder 2 mm D, 29 mm L).

#### Persentase Kerusakan Mekanis Apel

Apel dikatakan mengalami kerusakan jika terlihat adanya kenampakan memar ditandai dengan bagian buah lunak dan terkadang disertai munculnya warna coklat pada kulit buah ataupun terdapat luka berupa goresan atau bagian yang pecah. Apel dikatakan rusak apabila kriteria tersebut terdapat pada apel baik yang terdapat pada kulit maupun daging apel walaupun hanya sebagian kecil saja dari apel tersebut. Apel yang mengalami kerusakan secara mekanis dikumpulkan dan ditimbang untuk memperoleh nilai persentase kerusakannya. Persentase kerusakan apel dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\% \text{ Kerusakan} = \frac{\text{jmlh buah yg rusak}}{\text{total sampel}} \times 100\% \quad (1)$$

#### Perubahan Tingkat Kekerasan Apel

Tingkat kekerasan apel diukur menggunakan alat *Texture Analyzer Brookfield* pada hari ke-0 hingga hari ke-8 penyimpanan sesudah dilakukan simulasi transportasi.

#### Penurunan Massa Apel (%)

Penurunan massa apel diukur mulai hari ke 0 sampai hari ke-8 penyimpanan setelah dilakukan

simulasi transportasi menggunakan meja simulator getar. Penurunan massa apel dilakukan dengan cara menimbang apel menggunakan timbangan digital. Besarnya persentase penurunan massa apel selama penyimpanan dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\text{Penurunan Massa} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

a = massa sampel awal pada hari ke-0 (g)

b = massa sampel pada hari ke n (g) (hari ke-1,2,3,4,5,6,7,8).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Simulasi Transportasi Apel dengan Frekuensi 3 Hz

Frekuensi 3 Hz dengan besaran amplitudo getaran 3,6 cm digunakan dalam proses simulasi transportasi yang mewakili kondisi jalan luar kota. Perhitungan periode (T) dan kecepatan angular ( $\omega$ ) dinyatakan dalam Persamaan (3) dan (4).

$$T = \frac{1}{f} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$

Pada kondisi jalan di luar kota, luas satu siklus getaran dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$\text{Luas satu siklus getaran} = A \int_0^T \sin \omega T dT \quad (5)$$

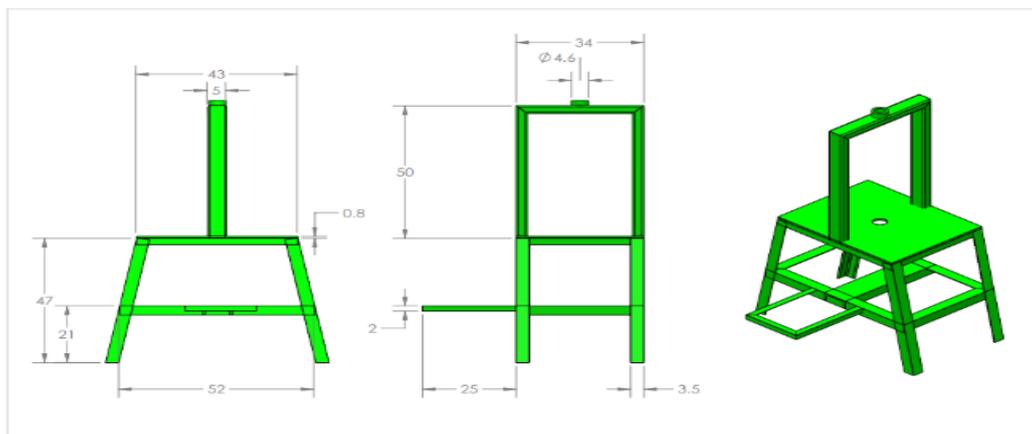
Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jarak simulasi transportasi dengan meja getar selama waktu 1 jam setara dengan panjang jalan 61,869 km.

### Alat Pencetak Kemasan Pelindung Buah Apel

Bahan dasar kemasan pelindung buah apel yang sudah berbentuk *pulp* eceng gondok dan sabut kelapa kemudian dilakukan pencetakan dengan alat yang sudah dibuat. Desain cetakan kemasan perlingung apel disajikan pada Gambar 1.

Tabel 1 Kombinasi perlakuan

	T1 400 Psi	T2 700 Psi	T3 1000 Psi
K1 (E90% + S10%)	K1T1	K1T2	K1T3
K2 (E60% + S40%)	K2T1	K2T2	K2T3
K3 (E30% + S70%)	K3T1	K3T2	K3T3



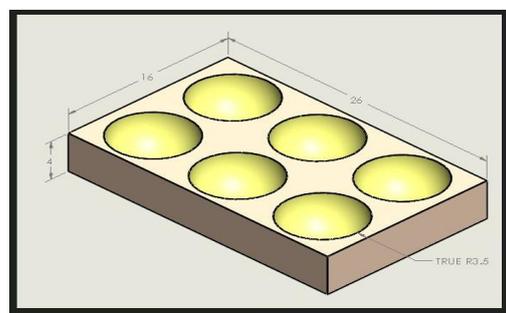
Gambar 1 Gambar kerja desain alat pencetak kemasan pelindung apel

Cetakan dibuat dari bahan besi dengan dimensi panjang 0,26 m, lebar 0,16 m dan tinggi 0,04 m. Cetakan menyerupai tray telur namun berbentuk setengah lingkaran dengan ukuran diameter wadah penempatan apel yaitu 0,07 m. Kemasan pelindung apel dirancang dengan bentuk kemasan menyerupai tray telur dengan tujuan agar dapat menempatkan apel satu persatu pada bagian yang cekung dalam cetakan sehingga tidak membuat apel saling berbenturan satu dengan lainnya pada saat proses distribusi atau pengangkutan. Kemasan pelindung apel yang telah dicetak kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari langsung selama kurang lebih 3 hari. Proses pengeringan menyebabkan ukura kemasan pelindung apel menjadi menyusut karena air yang terkandung dalam cetakan teruapkan sehingga diperoleh kemasan pelindung apel dengan ukuran yang lebih kecil dari ukuran cetakan awal yaitu dengan dimensi panjang 0,23 m lebar 0,145 m dan tinggi 0,035 m. Desain kemasan pelindung apel yang dihasilkan disajikan pada Gambar 2 dan 3.

### Analisa Karakteristik Pelindung Buah Apel

#### Uji Kuat Tekan Kemasan Pelindung Apel

Pencetakan dilakukan dengan menggunakan mesin pres hidrolis sehingga dapat diperoleh tingkat kepadatan yang diharapkan. Data uji pres kemasan pelindung apel disajikan pada Tabel 2.



Gambar 2 Gambar teknik desain kemasan pelindung apel

Pengujian kuat tekan dilakukan guna mendapatkan nilai kekuatan maksimal yang diperoleh dari kemasan pelindung apel selama transportasi. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan kemasan pelindung apel tertinggi diperoleh pada perlakuan pemberian eceng gondok 30% + sabut kelapa 70% dan pada tekanan cetak 1000 Psi yaitu sebesar 14,0833 N. Sedangkan nilai kuat tekan terendah diperoleh pada perlakuan kombinasi bahan kemasan terdiri dari 60% eceng gondok dan 40% sabut kelapa dengan menggunakan tekanan pres 700 psi yaitu sebesar 4,2343 N. Secara umum peningkatan nilai kuat tekan terjadi seiring dengan meningkatkan komposisi bahan sabut kelapa. Sabut kelapa memiliki kandungan serat yang cukup tinggi. Kedua bahan kemasan yang digunakan memiliki kandungan selulosa yang tinggi terlebih sabut

kelapa dengan besaran 43,44% (Ayuni and Hastini 2020), sedangkan eceng gondok 24.5% (Ruan et al. 2016). Persentase yang diperoleh sesuai dengan riset yang dilakukan oleh Coniwanti et al. (2018) yang menyatakan bahwa nilai kuat tekan pada biofoam semakin tinggi dengan semakin meningkatnya persentase selulosa.

Hubungan pengaruh rasio kombinasi bahan kemasan apel terhadap nilai kuat tekan kemasan dijabarkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa kombinasi bahan kemasan memengaruhi kuat tekan kemasan pelindung apel. Pernyataan ini didukung dengan nilai *p-value* kombinasi bahan kemasan < alpha 5% yang disajikan pada Tabel 3. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada kombinasi eceng gondok 30% +

sabut kelapa 70% yaitu sebesar 12,204 N, sedangkan nilai kuat tekan terendah diperoleh pada kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% yaitu sebesar 5,260 N. Perbandingan rasio antara eceng gondok dan sabut kelapa pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% yang tidak terlalu jauh dan dengan rasio sabut kelapa yang lebih rendah memberikan nilai kuat tekan yang terendah. Persentase sabut kelapa yang lebih rendah akan memberikan jumlah selulosa yang juga rendah sehingga memengaruhi nilai kuat tekan kemasan lebih rendah pula. Tekstur dari kemasan pelindung buah apel pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% lebih lembut dibandingkan perlakuan lainnya.



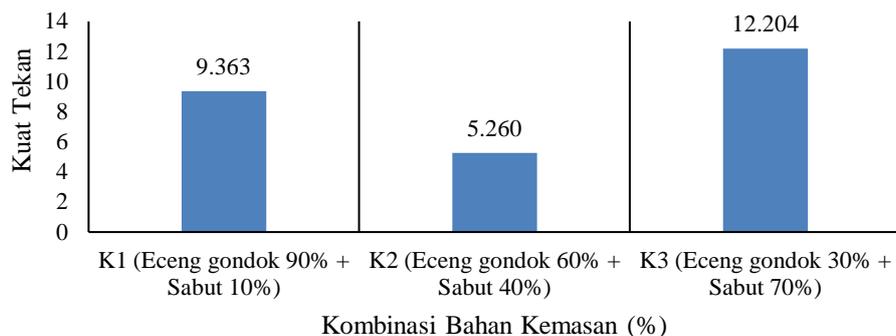
Gambar 3 Kemasan pelindung buah apel

Tabel 2 Nilai kuat tekan kemasan apel

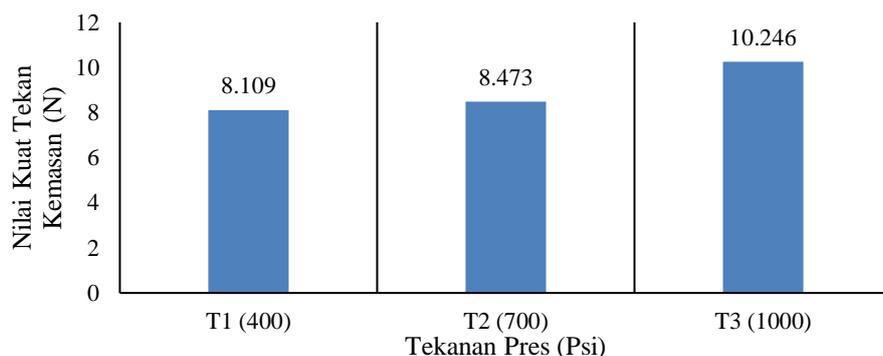
No	Perlakuan	Nilai Kuat Tekan (N)
1	(Eceng 90% + Sabut kelapa 10%) + Tekanan 400 Psi	7.9313
2	(Eceng 90% + Sabut kelapa 10%) + Tekanan 700 Psi	9.7023
3	(Eceng 90% + Sabut kelapa 10%) + Tekanan 1000 Psi	10.4568
4	(Eceng 60% + Sabut kelapa 40%) + Tekanan 400 Psi	5.3491
5	(Eceng 60% + Sabut kelapa 40%) + Tekanan 700 Psi	4.2343
6	(Eceng 60% + Sabut kelapa 40%) + Tekanan 1000 Psi	6.1973
7	(Eceng 30% + Sabut kelapa 70%) + Tekanan 400 Psi	11.0463
8	(Eceng 30% + Sabut kelapa 70%) + Tekanan 700 Psi	11.4838
9	(Eceng 30% + Sabut kelapa 70%) + Tekanan 1000 Psi	14.0833

Tabel 3 Anova nilai kuat tekan kemasan apel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	167.646 <sup>a</sup>	8	20.956	85.675	<.001
Intercept	1439.555	1	1439.555	5885.436	<.001
Kombinasi Bahan	146.265	2	73.132	298.992	<.001
Tekanan Pres	15.682	2	7.841	32.057	<.001
Kombinasi Bahan*Tekanan Pres	5.699	4	1.425	5.825	.014
Error	2.201	9	.245		
Total	1609.402	18			
Corrected Total	169.847	17			



Gambar 4 Pengaruh kombinasi bahan kemasan terhadap nilai kuat tekan kemasan



Gambar 5 Pengaruh tekanan pres terhadap nilai kuat tekan kemasan

Karakteristik dari bahan eceng gondok yang menyerupai spon dan berongga menyebabkan tekstur dari kemasan menjadi lembut dan sedikit elastis yang dapat melindungi apel saat transportasi. Perlakuan kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% memberikan hasil kemasan yang lebih lembut namun cukup kuat dengan adanya penambahan serat sabut kelapa yang sesuai. Nilai kuat tekan pada perlakuan kombinasi eceng gondok 30% + sabut kelapa 70% paling tinggi disebabkan karena rasio sabut kelapa yang diberikan paling tinggi yaitu sebesar 70%. Sabut kelapa memiliki kandungan selulosa yang tinggi sehingga akan memberikan kekuatan pada matriks kemasan pelindung apel. Kondisi ini serupa dengan (Etikaningrum et al. 2018) yang mengatakan bahwa penambahan bahan serat dalam pembuatan kemasan pelindung apel dapat meningkatkan nilai kuat tekan dari *biofoam*, yang disebabkan karena bahan serat dapat mengisi celah pada matriks atau campuran bahan kemasan sehingga mempunyai nilai kuat tekan yang besar. Semakin banyak komposisi sabut kelapa yang diberikan menyebabkan hasil cetakan kemasan pelindung apel menjadi keras dan kehilangan sifat elastis dari bahan kemasan. Suatu kemasan dapat dikatakan baik jika kemasan tersebut memiliki sifat kuat, lembut, dan elastis

sehingga dapat melindungi apel dari pengaruh getaran selama transportasi berlangsung.

Tekanan pres pada Gambar 5, juga memberikan pengaruh pada kuat tekan kemasan pelindung apel yang dihasilkan dengan nilai  $p$  value  $0.001 < 0,005$  begitu juga dengan interaksi antar perlakuan yang disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa semakin tinggi tekanan pres yang digunakan saat mencetak kemasan, mengakibatkan nilai kuat tekan menjadi semakin tinggi pula. Kondisi ini disebabkan oleh tekanan yang tinggi akan memudahkan pengeluaran air pada saat bahan kemasan dicetak dan dipres, sehingga mengakibatkan bahan kemasan semakin rekat dan padat, sehingga nilai kuat tekan yang dihasilkan semakin tinggi. Kondisi ini serupa dengan hasil penelitian (Ratmanto et al. 2016) yang menyebutkan bahwa nilai kuat tekan meningkat seiring dengan bertambahnya tekanan pres yang diberikan, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan interaksi antara matrik dengan serat dan meningkatnya pula ikatan antar material penyusun yang menyebabkan permukaan menjadi padat dan keras. Ikatan antar material yang menguat tersebut menyebabkan ketahanan tekan meningkat.

### Uji Springiness Kemasan Pelindung Apel

Muthoharoh and Sutrisno (2017) menyatakan *springiness* atau yang dikenal dengan elastisitas menggambarkan bagaimana suatu bahan dapat kembali ke posisi semula setelah bahan tersebut diberi tekanan. Hasil pengujian *springiness* kemasan apel ditampilkan pada Gambar 5 dan 6. yang menunjukkan bahwa kombinasi bahan dan tekanan pres memengaruhi nilai *springiness* kemasan apel. Hal ini dibuktikan dengan hasil analisis ragam diperoleh nilai *p-value* kombinasi bahan < alpha 5% (<0,001) yang disajikan pada Tabel 4.

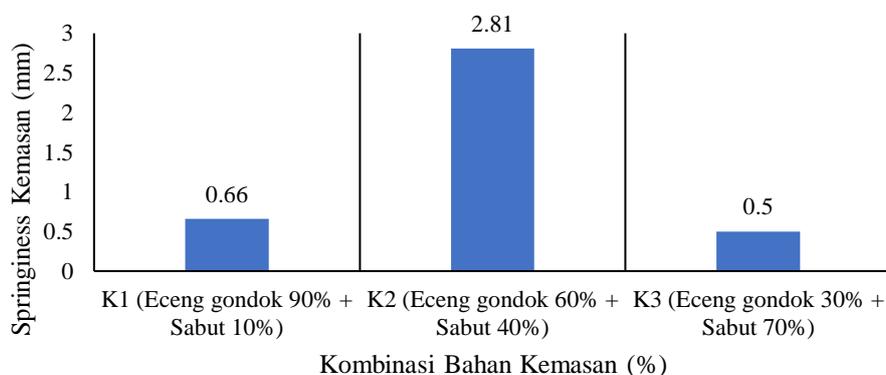
Gambar 6 dan 7, menjelaskan bahwa kombinasi bahan dan tekanan pres memengaruhi nilai *springiness* kemasan apel. Nilai *springiness* tertinggi diperoleh pada kombinasi penggunaan eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40% sebesar 2,81 mm. Begitupula pengaruh tekanan pres yang diberikan pada proses pencetakan kemasan diperoleh nilai *springiness* tertinggi pada kombinasi penggunaan eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40% yaitu 1,447 mm, sedangkan nilai

terendah diperoleh pada kombinasi penggunaan eceng gondok 30% dan sabut kelapa 70% dan tekanan 1000 Psi yaitu berturut-turut sebesar 0,5 mm dan 1,08 mm. Perlakuan tekanan 700 Psi memberikan komposisi yang sesuai dengan perbandingan eceng gondok dan sabut kelapa yang tidak terlalu berbeda jauh dengan persentase eceng gondok yang sedikit lebih banyak dibandingkan sabut kelapa sehingga diperoleh kemasan yang tidak kaku dan dapat memberikan kelenturan pada sifat kemasan.

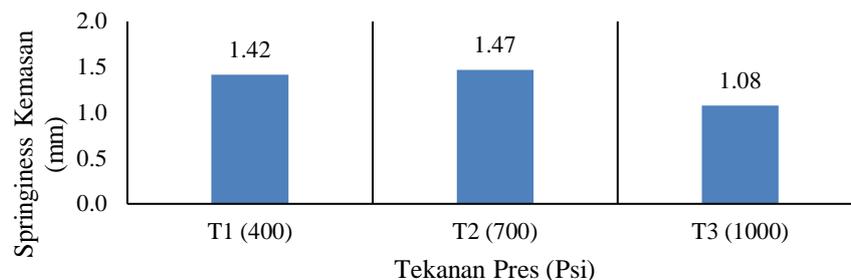
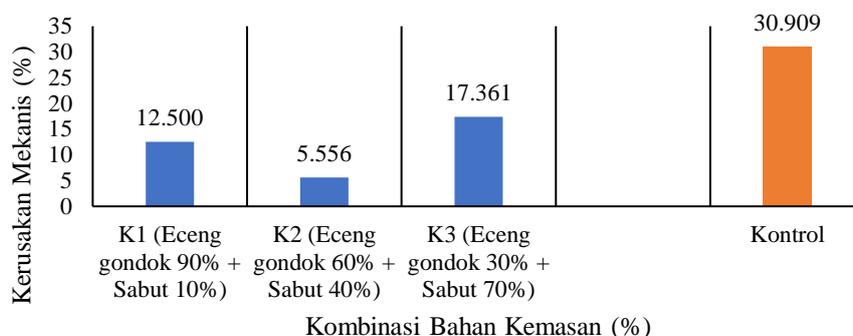
Secara umum nilai *springiness* yang menyatakan keelastisitasan bahan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase eceng gondok namun dengan tetap mempertimbangkan persentase sabut kelapa. Eceng gondok memiliki struktur berongga dan menyerupai gabus sehingga dapat menambah fleksibilitas yang dapat menurunkan kekakuan bahan. Tekanan pres pada perlakuan 700 Psi memberikan tekanan yang sesuai pada kemasan apel. Tekanan 700 Psi mampu menekan kemasan dengan baik tanpa menyebabkan bahan menjadi retak dan kaku.

Tabel 4 Anova Nilai *Springiness* Kemasan Apel

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20.694 <sup>a</sup>	8	2.587	123.506	<.001
Intercept	31.363	1	31.363	1497.447	<.001
Kombinasi Bahan	19.794	2	9.897	472.527	<.001
Tekanan Press	.517	2	.259	12.349	.003
Kombinasi Bahan*Tekanan Pres	.383	4	.096	4.574	.027
Error	.189	9	.021		
Total	52.246	18			
Corrected Total	20.883	17			



Gambar 6 Pengaruh kombinasi bahan kemasan terhadap nilai *springiness* kemasan apel

Gambar 7 Pengaruh tekanan pres terhadap nilai *springeness* kemasn apel

Gambar 8 Pengaruh kombinasi bahan terhadap persentase kerusakan mekanis apel

### ***Pengaruh Kombinasi Bahan Kemasan Terhadap Kerusakan Mekanis Apel***

Proses transportasi menggunakan meja simulator getar pada penelitian ini dilakukan dengan meletakkan kotak kayu yang berisi apel yang sebelumnya sudah ditata menggunakan kemasan pelindung dari *pulp* eceng gondok dan sabut kelapa di atas meja simulator getar. Bentuk kerusakan yang dialami oleh apel meliputi luka memar, sedangkan luka pecah dan gores tidak terdapat pada apel. Terjadinya benturan antara dengan sekat buah dapat menyebabkan apel mengalami luka memar. Penampakan luka memar ditandai dengan adanya perbedaan warna permukaan kulit apel pada sisi tertentu yang terkena benturan, seperti warna kulit apel yang terlihat lebih gelap dibandingkan dengan bagian lainnya. Bagian buah yang terlihat lebih gelap disertai dengan tekstur yang lebih lunak. Pada penelitian ini, pengamatan kerusakan pada apel dilakukan hanya pada tampilan luar saja, tidak mengamati kerusakan pada bagian dalam apel. Tampilan bagian apel yang mengalami kerusakan mekanis selama transportasi disajikan pada Gambar 9.

Kerusakan pada apel dapat memberikan peluang bagi mikroba untuk berkembang sehingga mempercepat terjadinya kebusukan pada apel.

Apel dengan beberapa bagian yang lunak dapat dengan cepat mengalami perubahan warna menjadi gelap sehingga mengurangi daya beli konsumen. Persentase tingkat kerusakan apel pada tiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan kombinasi bahan sangat memengaruhi persentase kerusakan mekanis apel. Kondisi ini dibuktikan dengan perolehan nilai *p-value* kombinasi bahan < alpha 5% (<0,001) yang disajikan pada Tabel 4. Sedangkan tekanan pres berdasarkan analisis ragam tidak memengaruhi kerusakan mekanis apel ( $p > 5\%$ ). Kerusakan mekanis terbesar diperoleh pada perlakuan kombinasi penggunaan eceng gondok 30% dan sabut kelapa 70% sebesar 17,361% dan kerusakan terendah diperoleh pada perlakuan kombinasi bahan eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40% sebesar 5,556%, sedangkan pada perlakuan kontrol (tidak menggunakan kemasan pelindung) persentase kerusakan yang dihasilkan mencapai 30,909%.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Sutapa et al. 2014), persentase kerusakan apel yang dikirim dari kebun ke gudang supplier sebesar 7,14% yang mana nilai persentase ini lebih besar dibandingkan dengan penggunaan kemasan pelindung apel dari kombinasi *pulp* eceng gondok dan sabut kelapa sebesar 5,556%. Kondisi ini

dipengaruhi oleh adanya pemberian kemasan pelindung berbentuk cekung dengan tekstur yang lembut dan sedikit elastis dari *pulp* eceng gondok dan sabut kelapa dan berisikan satu buah tiap cekungannya menjadikan bantalan pada apel dan memiliki sifat yang lebih tahan terhadap tekanan yang lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan dus. Kondisi ini menandakan bahwa dengan pengaplikasian bahan pelindung berbentuk tray telur dari kombinasi *pulp* eceng gondok dan sabut kelapa mampu meminimalisir laju kerusakan mekanis apel selama proses pendistribusian berlangsung.

Tiap lapisan dalam 4 tumpukan kemasan memiliki persentase kerusakan apel yang berbeda. Lapisan paling bawah pada kemasan memberikan persentase kerusakan terbesar dibandingkan dengan apel yang ada pada lapisan tengah dan atas. Kondisi ini dapat dijelaskan dalam bentuk grafik pada Gambar 10. Apel pada lapisan paling bawah mendapat beban yang lebih besar akibat tumpukan apel yang ada di atasnya, sehingga rentan mengalami luka memar yang lebih besar.

Jenis kerusakan pada apel pada semua perlakuan kombinasi bahan kemasan yaitu kerusakan memar. Memar pada apel terjadi diawali dengan adanya tekanan dari buah yang ada

pada bagian atas ataupun benturan buah dengan kemasan di atasnya akibat dari getaran mesin pengangkut buah selama proses pendistribusian.

### **Pengaruh Kombinasi Bahan Kemasan Terhadap Penurunan Massa Apel**

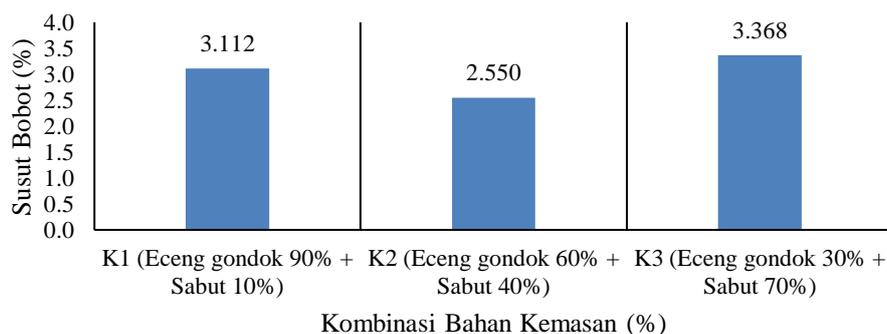
Pengukuran penurunan massa apel dilakukan pasca simulasi transportasi setiap hari selama 8 hari penyimpanan pada kondisi suhu ruang. Besarnya persentase penurunan massa apel disajikan pada Gambar 9. Dari data tersebut terlihat bahwa bahwa kombinasi bahan kemasan memengaruhi penurunan massa apel yang diperkuat dengan perolehan nilai *p-value* sebesar  $0,003 < 0,05$ .



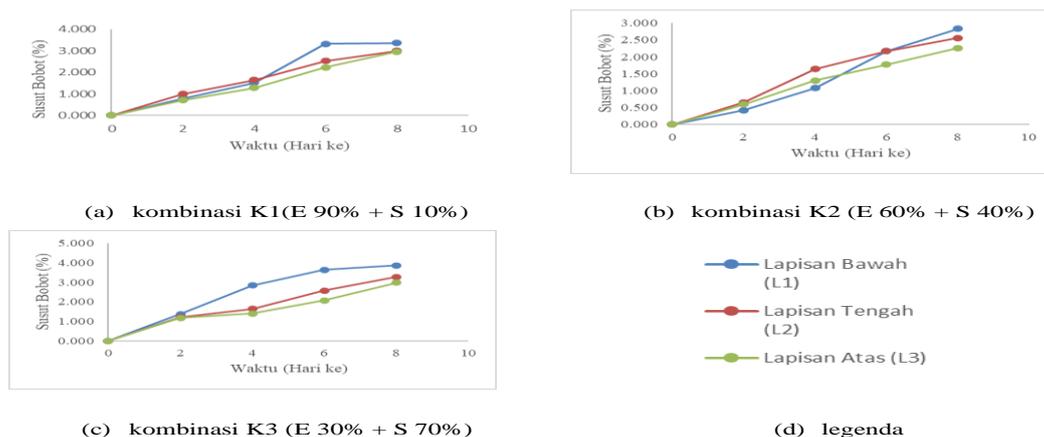
Gambar 9 Luka Memar pada Apel

Tabel 5 Anova Nilai Kerusakan Mekanis Apel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	540.122 <sup>a</sup>	8	67.515	67.515	8.750	.002
Intercept	2411.267	1	2411.267	2411.267	312.499	<.001
Kombinasi Bahan	418.595	2	209.298	209.298	27.125	<.001
Tekanan Pres	54.012	2	27.006	27.006	3.500	.075
Kombinasi Bahan*Tekanan Pres	67.515	4	16.879	16.879	2.187	.151
Error	69.445	9	7.716	7.716		
Total	3020.834	18				
Corrected Total	609.567	17				



Gambar 10 Persentase penurunan massa apel pada hari ke delapan penyimpanan



Gambar 11 Persentase penurunan massa apel untuk seluruh kombinasi bahan pada lapisan bawah (L1), tengah (L2), dan atas (L3)

Tabel 6 Anova Nilai Tekstur Apel

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	149.804 <sup>a</sup>	8	18.725	23.424	<.001
Intercept	3499.470	1	3499.470	4377.542	<.001
Kombinasi Bahan	141.885	2	70.943	88.743	<.001
Tekanan Pres	5.805	2	2.902	3.631	.070
Kombinasi Bahan*Tekanan Pres	2.114	4	.528	.661	.634
Error	7.195	9	.799		
Total	3656.468	18			
Corrected Total	156.998	17			

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa semakin tinggi persentase sabut kelapa yang diberikan pada kemasan pelindung apel, maka persentase penurunan massa apel semakin meningkat. Tekanan pres yang digunakan tidak memberikan pengaruh terhadap penurunan massa apel dengan nilai  $p > 5\%$  yang disajikan pada Tabel 5. Interaksi antara kombinasi bahan kemasan pelindung dengan tekanan pres yang digunakan juga tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan massa apel.

Penyimpanan hari ke delapan apel memberikan persentase penurunan massa terbesar untuk setiap perlakuan, namun perlakuan yang menunjukkan penurunan massa tertinggi pada penyimpanan hari ke delapan apel terjadi pada perlakuan kombinasi eceng gondok 70% + sabut kelapa 30% yaitu sebesar 3,368%. Sedangkan perlakuan yang menunjukkan penurunan massa terendah hingga hari ke delapan penyimpanan apel terjadi pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% sebesar 2,550%. Rendahnya persentase penurunan massa apel pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% sejalan dengan nilai persentase kerusakan mekanis apel yang paling rendah.

Semakin banyak dan luas kerusakan yang dialami apel selama transportasi, maka dapat meningkatkan penyusutan apel akibat terjadinya kehilangan air yang besar melalui bagian buah yang rusak.

Tingkat penurunan massa apel dipengaruhi pula oleh posisi apel dalam kemasan. Apel dalam kotak kayu disusun berlapis dari lapisan bawah (L1), tengah (L2) dan atas (L3). Data penurunan massa apel disajikan pada Gambar 11. Penurunan massa apel tertinggi terjadi pada buah apel yang berada pada lapisan bawah untuk semua perlakuan, sedangkan penurunan massa terendah terjadi pada apel yang berada pada lapisan teratas. Kondisi ini disebabkan oleh kondisi apel yang berada pada lapisan paling bawah mendapatkan tekanan dan merasakan getaran yang paling besar dari pengaruh mesin kendaraan selama transportasi. Getaran mesin ditambah dengan kondisi jalan yang tidak rata dapat menyebabkan buah cepat mengalami kerusakan. Beban yang ditahan oleh apel pada lapisan bawah paling besar sehingga apel mudah mengalami luka yang dapat mempercepat proses transpirasi berlangsung, sehingga pada akhirnya akan mempercepat penurunan massa apel,

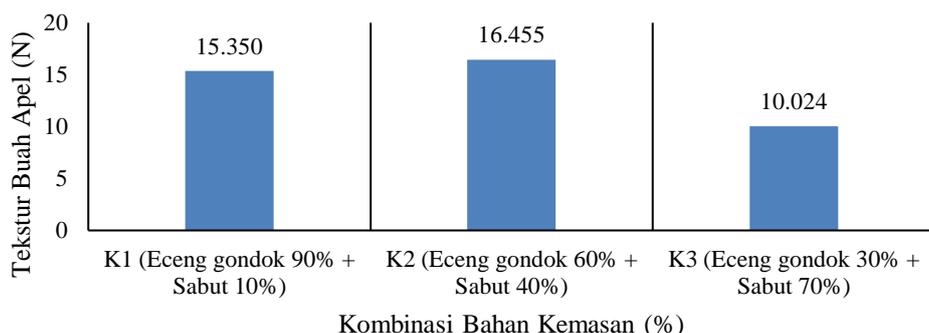
Penurunan massa sangat berpengaruh terhadap tampilan fisik dan juga tekstur apel yang mana menjadi penilaian awal yang dilihat oleh calon pembeli. Selain disebabkan oleh kondisi dari dalam buah itu sendiri, proses respirasi yang terjadi selama simulasi transportasi pada produk hortikultura seperti buah juga disebabkan oleh adanya pengaruh suhu lingkungan, ketersediaan oksigen, dan keberadaan luka pada bagian buah yang disebabkan oleh getaran mesin selama transportasi. kombinasi K2 (E 60% + S 40%).

### **Pengaruh Kombinasi Bahan Kemasan Terhadap Tekstur Apel**

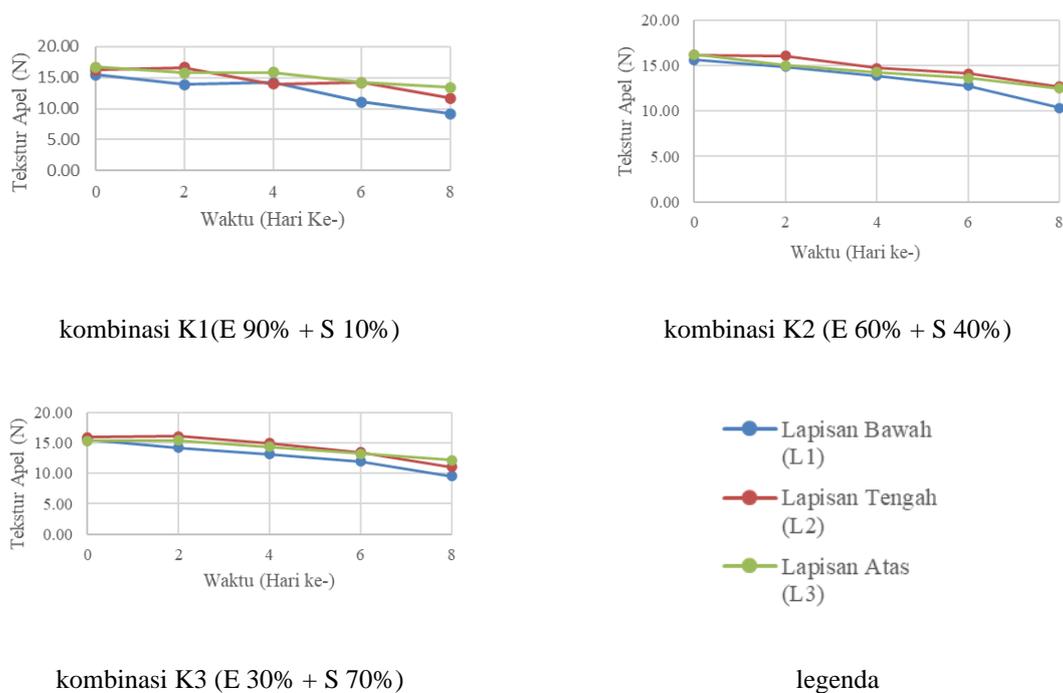
Hasil analisis ragam pada Tabel 6 menunjukkan nilai *p-value* kombinasi bahan kemasan  $< \alpha 5\%$  ( $< 0,001$ ) yang menyatakan bahwa kombinasi bahan kemasan memiliki pengaruh signifikan terhadap tekstur apel. Pada Gambar 12 menunjukkan bahwa kombinasi bahan kemasan berpengaruh terhadap nilai tekstur apel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40% pada pembuatan kemasan pelindung apel menghasilkan nilai tektur apel paling tinggi dengan nilai 16,455 N sehingga apel dengan kombinasi bahan pengemasan ini mampu mempertahankan tekstur apel yang keras tidak dalam kondisi terdapat bagian yang lembek. Sedangkan nilai tekstur apel terendah diperoleh pada kemasan pelindung dari kombinasi eceng gondok 30% dan sabut kelapa 70% dengan nilai 10,024 N. Hal ini sejalan dengan nilai *springiness* yang diperoleh pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40% lebih tinggi sehingga perlakuan kombinasi eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40% memberikan nilai kerusakan mekanis apel yang paling rendah dan nilai tekstur buah yang paling tinggi. Penelitian yang serupa telah dilakukan oleh (Zhang et al. 2022) yang menggunakan kemasan

spun dari bahan selulosa dalam transportasi buah stroberi. Spon selulosa memiliki *springiness* atau elastisitas cukup tinggi sehingga mempengaruhi persentase deformasi yang rendah sebesar 16,8%. Deformasi yang rendah menunjukkan kemampuan dalam mempertahankan *springiness* kemasan sehingga dapat melindungi buah stroberi terhadap kerusakan yang disebabkan oleh getaran berulang selama transportasi. *Springiness* yang tinggi dapat memberikan dampak terhadap tekstur apel seperti ketahanan terhadap tekanan sehingga mampu mempertahankan tekstur yang keras pada apel yang mengindikasikan kesegaran pada buah apel dan daya tahan apel yang lebih lama yang dibuktikan dengan penurunan susut bobot terendah pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40%. Apel lebih terlindungi dengan pemberian eceng gondok sebanyak 60%. Nilai tekanan pres pada hasil analisis ragam yang disajikan pada Tabel 6 tidak menunjukkan pengaruh terhadap tekstur apel ( $p > 5\%$ ). Interaksi antar perlakuan dalam penelitian ini yang disajikan pada Tabel 6 juga tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai tekstur apel.

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa nilai tekstur apel tidak selalu menunjukkan perubahan nilai tekstur menurun pada 2-4 hari penyimpanan, namun yang terjadi selama penyimpanan adalah nilai tekstur apel bervariasi yang menunjukkan perubahan yang fluktuatif. Hal ini dikarenakan setiap hari selama delapan hari penyimpanan, apel yang diukur adalah apel yang berbeda dan diambil secara random dari masing-masing perlakuan. Namun secara keseluruhan pada hari kelima penyimpanan, tekstur apel mulai menurun untuk masing-masing perlakuan kombinasi bahan kemasan. Hal ini menandakan bahwa apel semakin lunak dan kehilangan kesegarannya.



Gambar 12 Nilai tekstur apel pasca simulasi transportasi pada hari ke delapan penyimpanan



Gambar 13 Perubahan tekstur apel pada kombinasi seluruh kombinasi bahan untuk lapisan bawah (L1), tengah (L2), dan atas (L3)

Nilai tekstur apel tertinggi pada hari terakhir penyimpanan diperoleh pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% yaitu dengan nilai tekstur apel lapisan bawah (L1), lapisan tengah (L2), dan lapisan atas (L3) berturut-turut 10,34 N; 12,70 N; dan 12,50 N. Perlakuan kombinasi eceng gondok 30% + sabut kelapa 70% memberikan nilai tekstur apel terendah yaitu dengan nilai tekstur apel lapisan bawah (L1), lapisan tengah (L2), dan lapisan atas (L3) berturut-turut 9,53 N; 11,06 N; dan 12,19 N. Nilai tekstur apel pada perlakuan kombinasi eceng gondok 60% + sabut kelapa 40% yang tinggi sejalan dengan persentase kerusakan mekanis dan persentase penurunan massa yang lebih rendah dari perlakuan lainnya. Apel pada perlakuan kombinasi eceng gondok 30% + sabut kelapa 70% memiliki persentase kerusakan mekanis dan persentase penurunan massa buah yang tinggi yang disebabkan oleh bahan pelindung yang digunakan memiliki komposisi sabut kelapa yang tinggi sebesar 70%. Sabut kelapa memberikan sifat yang kuat dan kaku pada kemasan pelindung sehingga dapat mengurangi kelenturan pada kemasan dan memengaruhi tekstur buah itu sendiri. Nilai tekstur pada lapisan bawah untuk semua perlakuan kombinasi bahan kemasan mengalami penurunan tekstur tertinggi pada hari terakhir penyimpanan. Hal ini disebabkan oleh persentase kerusakan

yang terjadi lebih besar dibandingkan lapisan tengah dan atas.

## KESIMPULAN

Bahan kemasan pelindung apel yang terbaik diperoleh pada kemasan pelindung apel dengan kombinasi bahan eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40%. Kerusakan apel tertinggi diperoleh pada perlakuan kombinasi dengan rasio bahan eceng gondok 30% dan sabut kelapa 70% sebesar 17,361%, sedangkan perlakuan kombinasi bahan dan kerusakan terendah diperoleh pada perlakuan kombinasi dengan rasio bahan eceng gondok 60% dan sabut kelapa 40% sebesar 5,556%. Tekanan pres sebesar 700 psi memberikan nilai kerusakan mekanis dan susut bobot apel terkecil serta memberikan nilai *springiness* dan tekstur apel terbesar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada Universitas Mataram atas dukungan dana yang diberikan sehingga pelaksanaan penelitian dapat terselenggarakan

## DAFTAR PUSTAKA

Amalia, R. R., N. Hairiyah, and N. Nuryati. 2018. Analisis kerusakan mekanis dan umur

- simpan pada rantai pasok buah naga di Kabupaten Tanah Laut. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri* 7(2):107–115.
- Ayuni, N. P. S., and P. N. Hastini. 2020. Serat sabut kelapa sebagai bahan kajian pembuatan bioetanol dengan proses hidrolisis asam. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)* 9(2):102–110.
- Coniwanti, P., R. Mu'in, H. W. Saputra, M. A. RA, and R. Robinsyah. 2018. Pengaruh konsentrasi naoh serta rasio serat daun nanas dan ampas tebu pada pembuatan biofoam. *Jurnal Teknik Kimia* 24(1):1–7.
- Etikaningrum, N., J. Hermanianto, E. S. Iriani, R. Syarief, and A. W. Permana. 2018. Pengaruh penambahan berbagai modifikasi serat tandan kosong sawit pada sifat fungsional biodegradable foam.
- Kusuma, M. D., I. Iswahyudi, M. Murdhiani, and others. 2022. Manufacturing and Testing of Mulch Sheet from Agricultural Waste Raw Materials. *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi dan Budidaya Perairan* 20(1):105–112.
- Lisawengeng, Y., F. Wenur, and I. A. Longdong. 2019. Pengaruh pengemasan terhadap mutu buah pisang kepok (*Musa paradisiaca*. L) pada pengangkutan dari Pulau Biaro ke Manado. Page *COCOS*.
- Muthoharoh, D. F., and A. Sutrisno. 2017. Pembuatan roti tawar bebas gluten berbahan baku tepung garut, tepung beras, dan maizena (Konsentrasi Glukomanan dan waktu proofing). *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 5(2).
- Perdana, L. P. R., G. Djoyowasito, E. Musyarofatunnisa, and S. Sandra. 2019. Pengaruh Jenis Kemasan dan Frekuensi Penggetaran terhadap Kerusakan Mekanis Buah Apel Manalagi (*Malus sylvestris*). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem* 7(1):8–16.
- Rahmah, F. M., T. Tamrin, W. Rahmawati, and S. Kuncoro. 2023. Pengaruh Variasi Bahan Peredam Kemasan dan Tingkat Kematangan Buah Alpukat terhadap Tingkat Kerusakan Mekanis pada Simulasi Getaran Selama Transportasi. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering* 2(3):410–418.
- Ratmanto, A., W. W. Raharjo, and T. Triyono. 2016. Pengaruh tekanan pengepresan terhadap kekuatan bending komposit rHDPE Cantula. Page *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*.
- Ruan, T., R. Zeng, X.-Y. Yin, S.-X. Zhang, and Z.-H. Yang. 2016. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biomass as a biofuel feedstock by enzymatic hydrolysis. *BioResources* 11(1):2372–2380.
- Satuhu, S. S., and D. Sunarmani. 2004. Membuat aneka dodol buah. *Penebar swadaya. Jakarta*.
- Sukasih, E., S. Setyadjit, and others. 2019. Teknologi Penanganan Buah Segar Stroberi Untuk Mempertahankan Mutu/Fresh Handling Techniques for Strawberry to Maintain its Quality.
- Sutapa, I. N., J. Rahardjo, I. Widyadana, and E. Widjaja. 2014. Perancangan Quality Plan untuk Meningkatkan Mutu Buah Apel Sepanjang Rantai Pasok dari Pascapanen Sampai Display Super Market. Petra Christian University.
- Taufiq, F. M., T. Tamrin, W. Rahmawati, and W. Warji. 2022. Rancangan Kemasan Buah Alpukat (*Persea Americana* Mill) Menggunakan Serbuk Gergaji Kayu. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering* 1(2).
- Zhang, D.-Y., J.-X. Yang, E.-J. Liu, R.-Z. Hu, X.-H. Yao, T. Chen, W.-G. Zhao, L. Liu, and Y.-J. Fu. 2022. Soft and elastic silver nanoparticle-cellulose sponge as fresh-keeping packaging to protect strawberries from physical damage and microbial invasion. *International Journal of Biological Macromolecules* 211:470–480.