

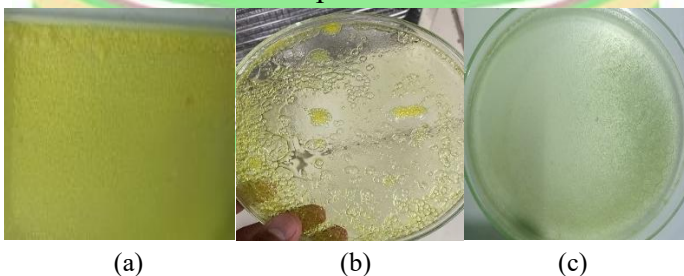
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Preliminary Study* Formulasi Label Indikator

Preliminary study dilakukan untuk memperoleh formulasi label indikator berbasis kitosan-amonium molibdat yang memiliki karakteristik fisik yang sesuai sebelum diaplikasikan pada buah alpukat. Tahap ini meliputi pengujian konsentrasi hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai reagen amonium molibdat serta evaluasi berbagai kombinasi konsentrasi kitosan dan amonium molibdat dalam pembentukan film. Hasil *preliminary study* digunakan sebagai dasar dalam menentukan formulasi yang digunakan pada penelitian utama.

4.1.1 Seleksi Konsentrasi H_2O_2 pada Pembuatan Label

Pembuatan label indikator dilakukan menggunakan bahan dasar kitosan dan amonium molibdat dengan penambahan hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai reagen amonium molibdat. Larutan kitosan dibuat menggunakan asam asetat kemudian diaduk hingga homogen sebelum dicampurkan dengan larutan amonium molibdat. Tahap pencampuran dilakukan secara bertahap untuk memperoleh larutan film yang stabil dan dapat dicetak pada cawan petri. Penelitian oleh Priyadarshi *et al.* (2020) menyatakan bahwa homogenitas larutan sangat memengaruhi keberhasilan pembentukan film berbasis biopolimer.



Gambar 4. Visual Pembentukan Film pada Tahap *Preliminary Study*: (a) Konsentrasi H_2O_2 50%, (b) Konsentrasi H_2O_2 30%, dan (c) Konsentrasi H_2O_2 3%

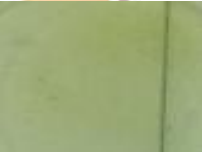
Penggunaan H_2O_2 pada tahap awal menunjukkan pengaruh besar terhadap karakteristik larutan film yang terbentuk yang dapat dilihat pada Gambar 4. H_2O_2 konsentrasi 50% menghasilkan campuran dengan tekstur menyerupai pasir sehingga film tidak dapat terbentuk secara sempurna. Kondisi serupa juga ditemukan pada penggunaan H_2O_2 30% karena larutan menghasilkan banyak gelembung dan permukaan film menjadi berlubang setelah proses pengeringan. Menurut penelitian oleh Gutiérrez *et al.* (2017), keberadaan pori pada struktur film dapat menyebabkan permukaan film menjadi kurang homogen dan menurunkan karakteristik fisik film yang dihasilkan.

Penggunaan H_2O_2 konsentrasi 3% menghasilkan larutan yang lebih stabil dibandingkan kombinasi lainnya. Larutan mampu membentuk film dengan permukaan lebih rata dan tidak ditemukan gelembung selama proses pengeringan. Struktur film yang dihasilkan juga memiliki warna yang lebih merata. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian oleh Priyadarshi *et al.* (2020) yang menjelaskan bahwa keberhasilan pembentukan film dipengaruhi oleh stabilitas sistem dan interaksi antar-komponen selama proses formulasi.

4.1.2 Kondisi Awal Formulasi Label Indikator

Variasi formulasi dilakukan menggunakan konsentrasi kitosan 1%, 1,5%, dan 2% serta konsentrasi amonium molibdat 7,5%, 10%, dan 15%. Setiap kombinasi diamati secara visual berdasarkan kemampuan membentuk film yang utuh, keseragaman warna pada permukaan film, kelenturan film saat ditekuk, serta ketahanan film terhadap retak, patah, atau sobek setelah proses pengeringan. Pengamatan awal diperlukan untuk menentukan formulasi label terbaik sebelum diaplikasikan pada buah alpukat. Menurut Duekera *et al.* (2005), perbedaan konsentrasi polimer berpengaruh terhadap karakteristik fisik film seperti ketebalan, sifat mekanik, dan fleksibilitas.

Tabel 7. Hasil Pengamatan Awal Formulasi Label Indikator

No.	Kitosan (%)	Amonium Molibdat (%)	Kode Kombinasi	Hasil
1.	1	7,5	A1B1	
2.	1	10	A1B2	
3.	1	15	A1B3	
4.	1,5	7,5	A2B1	
5.	1,5	10	A2B2	
6.	1,5	15	A2B3	
7.	2	7,5	A3B1	
8.	2	10	A3B2	

Tabel 7. Lanjutan

No.	Kitosan (%)	Amonium Molibdat (%)	Kode Kombinasi	Hasil
9.	2	15	A3B3	

Pengamatan awal formulasi kombinasi konsentrasi kitosan dan amonium molibdat dapat dilihat pada Tabel 7. Konsentrasi amonium molibdat 15% menghasilkan larutan yang menggumpal pada seluruh variasi kitosan. Larutan mengalami perubahan tekstur menjadi padatan berpori setelah proses pengeringan sehingga tidak membentuk lapisan film. Struktur tersebut mudah hancur saat disentuh dan tidak dapat digunakan sebagai label indikator. Penelitian oleh Pellisari *et al.* (2009) menjelaskan bahwa penambahan senyawa aktif pada konsentrasi tertentu dapat mengubah struktur internal film dan memengaruhi karakteristik mekanik maupun sifat penghalang film.

Formulasi kitosan 1% menghasilkan film yang sangat tipis meskipun masih dapat terbentuk pada beberapa kombinasi. Lapisan film sulit dilepaskan dari cawan petri dan distribusi amonium molibdat terlihat tidak merata pada permukaan film akibat terbentuknya gelembung selama proses pencampuran dan pengeringan. Keberadaan gelembung menyebabkan terbentuknya pori pada permukaan film sehingga menurunkan homogenitas struktur. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi kitosan 1% belum mampu membentuk matriks film yang cukup kuat untuk mempertahankan kestabilan bahan tambahan di dalamnya. Menurut penelitian oleh Muryeti dan Sadida (2025), peningkatan konsentrasi kitosan dapat memperbaiki integritas struktur film serta meningkatkan kekuatan mekaniknya.

Formulasi yang dipilih untuk tahap aplikasi terdiri atas kombinasi kitosan 1,5% dan 2% (b/v) dengan amonium molibdat 7,5% dan 10% (b/v). Kombinasi tersebut secara visual menghasilkan film dengan permukaan lebih homogen, ketahanan lebih baik, serta mampu dilepaskan dari cawan petri tanpa mengalami kerusakan. Warna awal film juga terlihat lebih seragam dibandingkan formulasi lainnya. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Priyadarshi dan Rhim (2020) yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi polimer dapat memperbaiki pembentukan jaringan film dan menghasilkan permukaan yang lebih stabil. Arocas *et al.* (2009) juga menjelaskan bahwa peningkatan kandungan kitosan dapat memperkuat interaksi antar-rantai polimer sehingga menghasilkan film yang lebih kuat secara mekanik.

4.1.3 Seleksi Label Indikator Sebelum Aplikasi

Hasil *preliminary study* menunjukkan bahwa tidak semua formulasi mampu membentuk film yang layak digunakan sebagai label indikator. Seleksi dilakukan berdasarkan karakteristik fisik film yang diamati secara visual, meliputi bentuk, homogenitas permukaan, warna, dan elastisitas setelah proses pengeringan. Formulasi yang menghasilkan film menggumpal, berlubang, terlalu tipis, atau mudah rusak tidak digunakan pada penelitian utama karena karakteristik awal material berpengaruh terhadap keberhasilan aplikasi label indikator (Islamawan *et al.*, 2025).

Formulasi terpilih menghasilkan film yang homogen, memiliki warna awal yang seragam, serta cukup elastis untuk diaplikasikan pada wadah penyimpanan tanpa mengalami kerusakan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi kitosan dan amonium molibdat tertentu mampu menghasilkan struktur film yang lebih stabil. Berdasarkan hasil seleksi, diperoleh kombinasi konsentrasi, yaitu A2B1, A2B2, A3B1, dan A3B2 yang dipilih untuk penelitian utama. Optimasi formulasi diperlukan untuk memperoleh material kemasan dengan

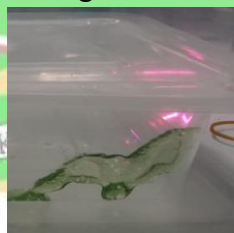
karakteristik fisik yang sesuai dengan tujuan aplikasinya (Rahmawati *et al.*, 2025).

4.2 Karakteristik Label Indikator Berbasis Kitosan-Molibdat

Karakteristik label indikator berbasis kitosan-amonium molibdat dievaluasi melalui pengamatan kondisi fisik label, nilai *water vapor transmission rate* (WVTR), serta perubahan warna yang meliputi parameter L dan h. Parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan karakteristik label selama aplikasi pada penyimpanan buah alpukat. Pembahasan pada subbab ini disajikan berdasarkan kondisi fisik label, nilai WVTR, dan perubahan warna pada setiap kombinasi perlakuan.

4.2.1 Perubahan Kondisi Fisik Label Aplikasi pada Buah

Karakteristik fisik label indikator diamati selama penyimpanan buah alpukat untuk mengevaluasi kestabilan film berdasarkan perubahan bentuk, tekstur, dan integritas label. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sebagian besar formulasi mampu mempertahankan struktur film hingga akhir penyimpanan. Label tetap menempel pada wadah dan masih menunjukkan perubahan warna selama proses pematangan buah berlangsung.



Gambar 5. Label A2B1 Mencair

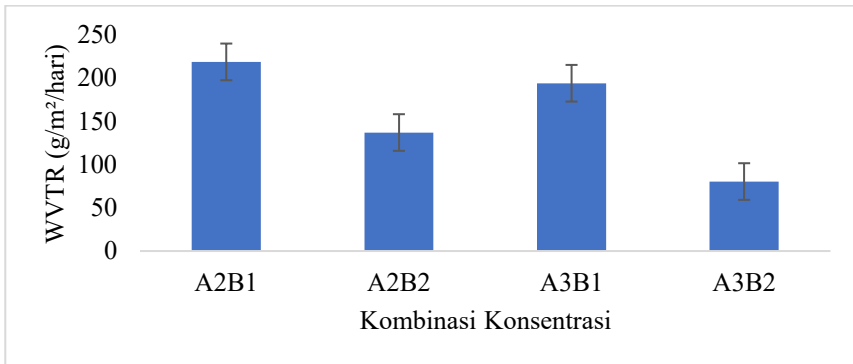
Perubahan kondisi fisik label selama penyimpanan hanya ditemukan pada formulasi A2B1 (kitosan 1,5% dan amonium molibdat 7,5%). Label pada perlakuan tersebut mengalami pelunakan hingga pencairan setelah enam hari penyimpanan sehingga pengukuran warna pada hari ke-6 tidak dapat dilakukan.

Kondisi tersebut ditandai dengan hilangnya bentuk film yang semula padat menjadi lebih lunak dan tidak homogen (Gambar 5). Sementara itu, formulasi lainnya tetap mempertahankan bentuk dan integritas film sehingga pengukuran warna dapat dilakukan hingga akhir penyimpanan.

Perubahan kondisi fisik pada formulasi A2B1 diduga disebabkan oleh penyerapan uap air selama penyimpanan. Sifat hidrofilik kitosan memungkinkan film menyerap kelembapan sehingga mengalami *swelling* yang dapat menurunkan kekuatan mekanik dan stabilitas struktur. Rahmawati *et al.* (2025) menyatakan bahwa kelembapan lingkungan memengaruhi stabilitas film berbasis material hidrofilik. Selain itu, Burak *et al.* (2024) melaporkan bahwa penyerapan air pada film kitosan dapat menyebabkan perubahan struktur fisik akibat *swelling*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi kitosan dan amonium molibdat memengaruhi kestabilan fisik label selama penyimpanan.

4.2.2 Water Vapor Transmission Rate (WVTR) Label

Pengujian WVTR dilakukan untuk mengetahui kemampuan label indikator dalam menghambat perpindahan uap air selama penyimpanan. Nilai WVTR menjadi parameter penting pada film berbasis biopolimer karena berkaitan dengan sifat *barrier* terhadap kelembapan lingkungan. Film dengan nilai WVTR rendah umumnya memiliki kemampuan penghambatan uap air yang lebih baik dibandingkan film dengan nilai WVTR tinggi.



Gambar 6. Grafik Nilai WVTR Label Indikator pada Setiap Kombinasi

Berdasarkan Gambar 6, nilai WVTR tertinggi diperoleh pada kombinasi A2B1 sebesar 218,8135 g/m²/hari, sedangkan nilai terendah terdapat pada kombinasi A3B2 sebesar 80,4057 g/m²/hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi kitosan dan molibdat cenderung menurunkan nilai WVTR film. Data keseluruhan WVTR label indikator dapat dilihat pada Lampiran 10. Penurunan nilai WVTR mengindikasikan bahwa struktur film menjadi lebih rapat sehingga perpindahan uap air melalui matriks film berlangsung lebih lambat. Penelitian oleh Warsiki *et al.* (2011) menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi komponen penyusun film dapat membentuk struktur yang lebih rapat sehingga menurunkan permeabilitas dan laju transmisi uap air.

Kombinasi A3B2 menunjukkan karakteristik WVTR terbaik dibandingkan kombinasi lainnya karena memiliki nilai transmisi uap air paling rendah. Kombinasi konsentrasi kitosan 2% dan molibdat 1% mampu membentuk matriks film yang lebih padat dan homogen sehingga jalur difusi uap air menjadi lebih terbatas. Struktur film yang lebih kompak dapat mengurangi ruang kosong antar molekul dan meningkatkan kemampuan film dalam menghambat penetrasi uap air. Sidik *et al.* (2022) menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi kitosan dapat meningkatkan

kerapatan matriks polimer sehingga mengurangi difusi uap air pada film.

Priyadarshi dan Rhim (2020) menyatakan bahwa sifat *barrier* terhadap uap air menjadi salah satu faktor utama yang menentukan kualitas film biodegradabel untuk aplikasi pangan. Nilai WVTR pada penelitian ini masih tergolong lebih tinggi dibandingkan beberapa *edible* film berbasis kitosan yang dilaporkan pada penelitian lain. Rusliman *et al.* (2025) melaporkan nilai WVTR *edible* film berbasis kitosan dan sodium alginat berkisar 2,65-5,91 g/m²/jam atau setara dengan 63,6-141,84 g/m²/hari. Penelitian Muryeti dan Rahmawati (2025) juga menunjukkan nilai WVTR *edible* film berbasis pati gandum dan kitosan sebesar 3,402 g/m²/jam atau sekitar 81,65 g/m²/hari. Nilai WVTR kombinasi A3B2 pada penelitian ini masih berada pada rentang yang mendekati hasil penelitian tersebut, sedangkan kombinasi lain menunjukkan nilai yang lebih tinggi sehingga kemampuan *barrier* terhadap uap air masih relatif rendah.

Film pada penelitian ini menggunakan kombinasi kitosan dan molibdat sehingga keberadaan senyawa anorganik ikut memengaruhi sifat permeabilitas film terhadap uap air. Beberapa kombinasi juga masih menunjukkan struktur film yang belum sepenuhnya homogen berdasarkan hasil pengamatan visual pada tahap *preliminary study*. Warsiki *et al.* (2011) menyatakan bahwa Struktur film yang homogen dapat meningkatkan sifat penghalang karena jalur difusi uap air menjadi lebih terbatas.

Analisis statistik WVTR indikator dilakukan untuk mengetahui distribusi data dan menentukan metode analisis yang sesuai. Uji normalitas dilakukan pada data WVTR label indikator yang disimpan bersama buah menggunakan taraf signifikansi 5% ($\alpha=0,05$). Jumlah data yang dianalisis sebanyak 12 pengamatan label. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perubahan WVTR yang diamati selama penyimpanan.

Tabel 8. Hasil Uji Normalitas Data WVTR

Parameter	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
Residual for WVTR	0,974	12	0,948

Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk pada Tabel 8, residual data WVTR memiliki nilai signifikansi sebesar 0,948 ($p > 0,05$), sehingga residual data berdistribusi normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat penyimpangan terhadap asumsi normalitas yang dipersyaratkan dalam analisis ANOVA. Dengan demikian, analisis ANOVA dapat dilanjutkan karena asumsi normalitas telah terpenuhi.

Tabel 9. Uji Homogenitas Data WVTR

Parameter	Based on	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
WVTR	Mean	2,06	3	8	0,184
	Median	0,822	3	8	0,518

Berdasarkan Tabel 9, hasil uji homogenitas menggunakan Levene's Test menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,184 berdasarkan mean dan 0,518 berdasarkan median ($p > 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa varians data WVTR antarperlakuan bersifat homogen. Dengan demikian, asumsi homogenitas telah terpenuhi sehingga data layak dianalisis lebih lanjut menggunakan ANOVA.

Tabel 10. Uji ANOVA WVTR

Sumber Ragam	df	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	Sig.
Kitosan	1	4969,754	4969,754	2,242	0,173
Amonium Molibdat	1	28639,772	28639,772	12,917	0,007
Interaksi	1	767,569	767,569	0,346	0,573
Galat (<i>Error</i>)	8	17737,207	2217,151		
Total Terkoreksi	11	52114,301			

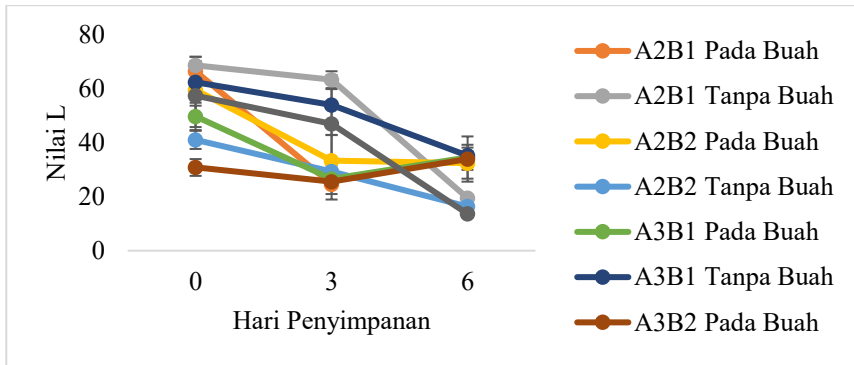
Berdasarkan hasil ANOVA pada Tabel 10, perlakuan konsentrasi kitosan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai WVTR dengan nilai signifikansi sebesar 0,173 ($p > 0,05$). Dengan demikian, H_0 diterima dan H_1 ditolak, sehingga variasi konsentrasi kitosan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai WVTR. Sebaliknya, perlakuan amonium molibdat berpengaruh nyata terhadap nilai WVTR dengan nilai signifikansi sebesar 0,007 ($p < 0,05$). Oleh karena itu, H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang menunjukkan bahwa variasi konsentrasi amonium molibdat memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai WVTR. Sementara itu, interaksi antara kitosan dan amonium molibdat tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai WVTR dengan nilai signifikansi sebesar 0,573 ($p > 0,05$), sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak. Setiap faktor dan interaksi memiliki derajat bebas (df) sebesar 1 karena setiap faktor terdiri atas dua taraf perlakuan, sedangkan df galat sebesar 8 diperoleh dari sisa derajat bebas setelah memperhitungkan jumlah perlakuan pada 12 data pengamatan, sehingga df total terkoreksi menjadi 11.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai WVTR lebih dipengaruhi oleh konsentrasi amonium molibdat dibandingkan konsentrasi kitosan maupun kombinasi kedua perlakuan. Penelitian oleh Islamawan *et al.* (2025) menjelaskan bahwa kitosan berperan sebagai bahan pembentuk matriks yang dapat memengaruhi karakteristik fisik dan sifat penghalang (*barrier properties*) film.

4.2.3 Karakteristik Warna L Label Indikator

Parameter L digunakan untuk menunjukkan tingkat kecerahan warna pada label indikator, dengan rentang nilai 0 (hitam) hingga 100 (putih). Perubahan nilai L selama penyimpanan dapat menggambarkan perubahan intensitas kecerahan yang terjadi akibat perbedaan formulasi maupun kondisi penyimpanan. Oleh karena itu, analisis nilai L dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh

konsentrasi kitosan dan amonium molibdat terhadap karakteristik kecerahan label indikator.



Gambar 7. Grafik Perubahan Nilai L

Nilai L pada Gambar 7 menunjukkan tingkat kecerahan warna label indikator selama penyimpanan buah alpukat. Secara umum, baik label yang diaplikasikan pada buah maupun label tanpa buah mengalami penurunan nilai L selama penyimpanan, yang menunjukkan warna label menjadi semakin gelap. Label yang diaplikasikan pada buah, seluruh perlakuan mengalami penurunan nilai L dari hari ke-0 hingga hari ke-3. Hari ke-6, perlakuan A2B2, A3B1, dan A3B2 mengalami sedikit peningkatan nilai L, namun nilainya masih lebih rendah dibandingkan kondisi awal. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan tingkat kecerahan label berlangsung secara bertahap selama penyimpanan.

Perubahan nilai L menunjukkan terjadinya perubahan tingkat kecerahan label selama penyimpanan. Penurunan nilai L mengindikasikan bahwa warna label menjadi semakin gelap dibandingkan kondisi awal. Perubahan karakteristik optik pada film indikator dapat dipengaruhi oleh komposisi matriks penyusun film, stabilitas material, serta kondisi penyimpanan yang memengaruhi sifat fisik dan kimia film (Partanen *et al.*, 2013). Oleh karena itu, perubahan nilai L pada penelitian ini diduga tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi kitosan dan amonium molibdat, tetapi

juga oleh kondisi penyimpanan selama pengamatan. Data nilai L label indikator yang diaplikasikan pada buah dapat dilihat pada Lampiran 2.

Label tanpa buah juga mengalami penurunan nilai L meskipun tidak diaplikasikan pada buah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan warna masih dapat terjadi tanpa adanya kontak langsung dengan buah. Menurut Burak *et al.* (2024), film berbasis kitosan bersifat hidrofilik sehingga perubahan kadar air dan kelembapan lingkungan dapat memengaruhi struktur matriks serta karakteristik optiknya. Dengan demikian, perubahan warna pada label tanpa buah diduga dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan selain karakteristik material penyusun label. Data nilai L label indikator tanpa buah dapat dilihat pada Lampiran 6.

Nilai standar deviasi parameter L pada label aplikasi berkisar antara 2,09-10,27, sedangkan pada label tanpa buah berkisar antara 0,84-12,83. Perbedaan panjang *error bar* menunjukkan adanya variasi antar-ulangan pada beberapa perlakuan. Meskipun demikian, pola perubahan nilai L selama penyimpanan tetap terlihat konsisten sehingga nilai rata-rata masih dapat merepresentasikan kecenderungan perubahan tingkat kecerahan pada setiap perlakuan.

Analisis statistik warna L label indikator dilakukan untuk mengetahui karakteristik distribusi data serta menentukan metode analisis yang sesuai. Uji normalitas dilakukan terhadap residual data warna L label indikator yang disimpan bersama buah menggunakan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Selama penelitian terdapat satu data yang tidak dapat diperoleh karena salah satu label indikator mencair selama proses pengamatan, sehingga hanya 11 data yang dapat diikutsertakan dalam analisis statistik. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan komponen warna L pada label indikator selama penyimpanan buah.

Tabel 11. Hasil Uji Normalitas Data Warna L

Parameter		Shapiro-Wilk	
Residual for L	Statistic	df	Sig.
	0,957	11	0,737

Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk pada Tabel 11, residual data warna L memiliki nilai statistik sebesar 0,957 dengan nilai signifikansi (Sig.) 0,737 pada 11 data pengamatan. Nilai signifikansi yang lebih besar dari taraf nyata 0,05 menunjukkan bahwa residual data warna L berdistribusi normal sehingga memenuhi asumsi normalitas. Dengan demikian, data warna L layak untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan uji parametrik, seperti analisis ragam (ANOVA).

Tabel 12. Uji Homogenitas Data Warna L

Parameter	Based on	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
L	Mean	7,790	3	7	0,012
	Median	1,652	3	7	0,263

Berdasarkan Tabel 12, hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test*, diperoleh nilai sig. sebesar 0,012 berdasarkan *mean*. Mengacu pada nilai sig. berdasarkan *mean* yang merupakan acuan dalam uji *Levene*, nilai $0,012 < 0,05$ menunjukkan bahwa varians data warna L antar perlakuan tidak homogen, sehingga analisis dilanjutkan menggunakan uji nonparametrik *Kruskal-Wallis*. Asumsi homogenitas varians tidak terpenuhi sehingga data tidak memenuhi salah satu persyaratan untuk dianalisis menggunakan uji ANOVA.

Tabel 13. Uji Nonparametrik Warna L

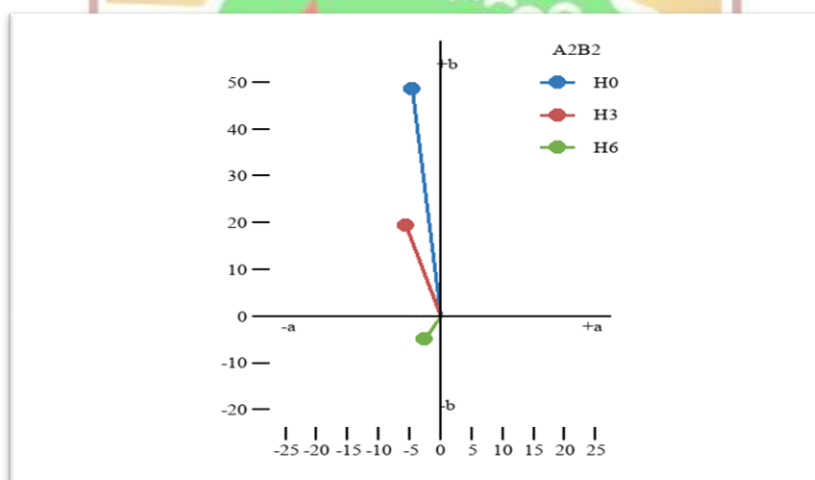
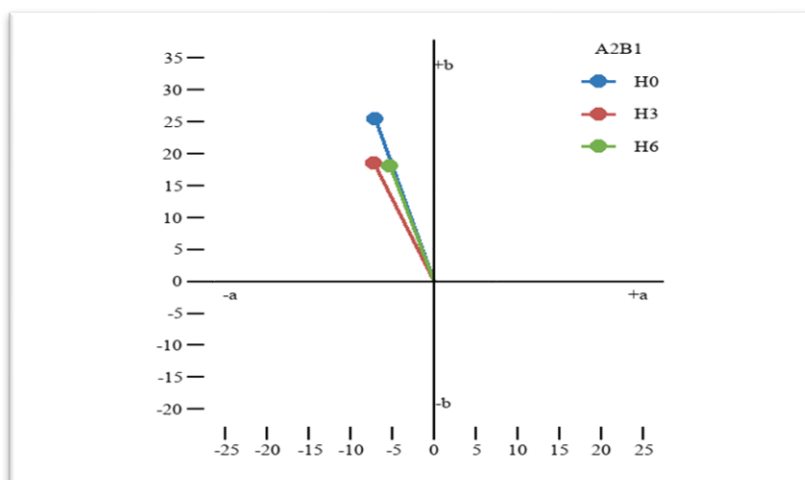
Parameter	df	H (Chi-Square)	Sig.
L	3	1,152	0,765

Berdasarkan hasil uji nonparametrik *Kruskal-Wallis* pada Tabel 13, diperoleh nilai *Chi-Square* sebesar 1,152 dengan derajat bebas (df) sebesar 3 dan nilai signifikansi sebesar 0,765 ($p > 0,05$). Derajat bebas sebesar 3 diperoleh karena pengujian dilakukan terhadap empat kombinasi perlakuan (A2B1, A2B2, A3B1, dan A3B2), sehingga nilai df dihitung sebagai jumlah kelompok dikurangi satu (4-1). Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata pada nilai warna L antar kombinasi perlakuan. Dengan demikian, variasi kombinasi konsentrasi kitosan dan amonium molibdat tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap nilai kecerahan (L) label indikator.

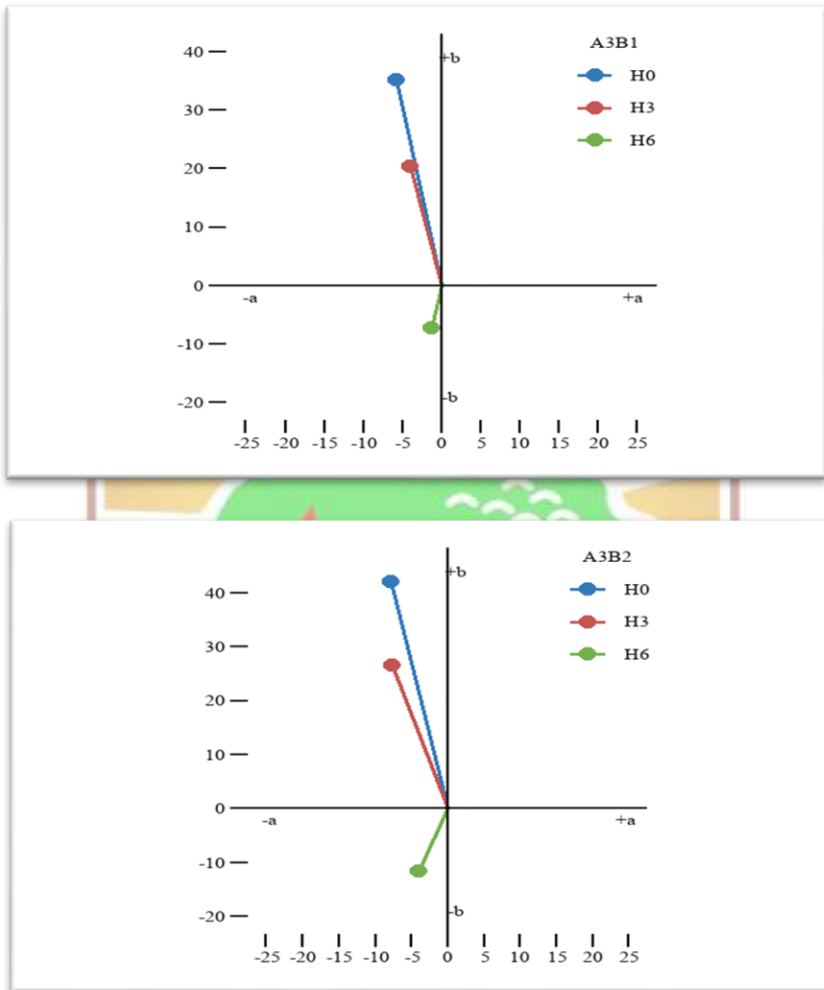
4.2.4 Karakteristik Warna h Label Indikator

Nilai h merupakan parameter warna yang diperoleh dari kombinasi nilai a dan b, sehingga mampu menggambarkan karakteristik warna secara lebih menyeluruh. Oleh karena itu, pembahasan pada subbab ini difokuskan pada analisis nilai h sebagai representasi perubahan warna label indikator, sedangkan nilai a dan b tidak dibahas secara terpisah karena telah terintegrasi dalam perhitungan nilai h. Pendekatan tersebut memudahkan interpretasi perubahan warna selama penyimpanan tanpa mengurangi informasi yang terkandung pada masing-masing komponen warna.





UNTUK KEDJAJAAN BANGSA



Gambar 8. Grafik Nilai h Label Tanpa Penyimpanan pada Buah

Berdasarkan Gambar 8, seluruh perlakuan label tanpa buah menunjukkan pergeseran posisi warna dari Kuadran II pada H0 (hari ke-0) dan H3 (hari ke-3) menuju Kuadran III pada H6 (hari ke-6). Posisi pada Kuadran II ditandai oleh nilai a negatif dan b positif yang menunjukkan dominasi warna hijau kekuningan. Memasuki H6, nilai b berubah menjadi negatif sehingga seluruh titik berpindah ke Kuadran III yang menunjukkan kecenderungan

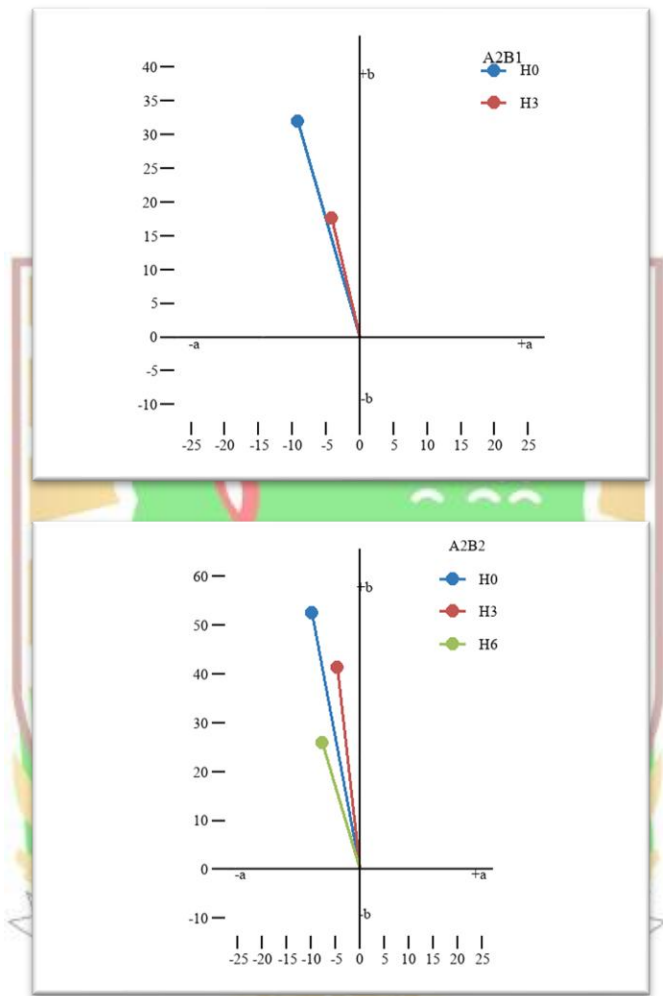
warna biru kehijauan. Menurut Pathare *et al.* (2012), perubahan posisi pada ruang CIELAB menggambarkan perubahan karakteristik warna akibat perubahan nilai a dan b secara bersamaan.

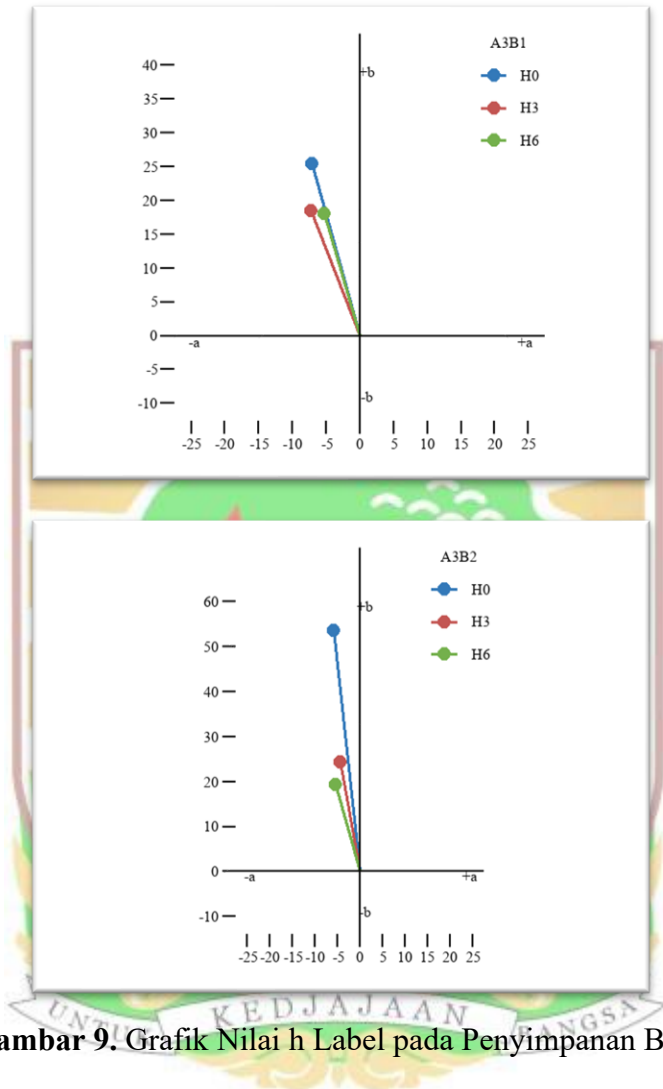
Perlakuan A2B1 dan A2B2 sama-sama mengalami penurunan nilai b yang menyebabkan titik berpindah dari Kuadran II ke Kuadran III. Perlakuan A2B2 memiliki nilai b awal yang lebih tinggi sehingga menunjukkan warna kuning yang lebih kuat pada awal penyimpanan. Perlakuan A3B1 juga memperlihatkan pola perubahan yang sama dengan pergeseran bertahap menuju Kuadran III pada H6. Sementara itu, A3B2 mengalami pergeseran paling besar karena memiliki nilai b akhir paling rendah (-11,51), sehingga menunjukkan perubahan warna paling nyata dibandingkan perlakuan lainnya.

Perubahan posisi warna pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa label tetap mengalami perubahan meskipun tidak terdapat buah di dalam kemasan. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan warna dipengaruhi oleh kestabilan pigmen dan sifat matriks film selama penyimpanan, bukan oleh gas hasil respirasi buah. Variasi konsentrasi kitosan dan amonium molibdat diduga memengaruhi besarnya perubahan warna yang terjadi pada masing-masing perlakuan. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Kuswandi *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa indikator berbasis pewarna alami dapat mengalami perubahan warna akibat kondisi lingkungan, sedangkan Elsabee dan Abdou (2013) menjelaskan bahwa sifat higroskopis kitosan turut memengaruhi stabilitas film selama penyimpanan.

Menurut Ma *et al.* (2013), senyawa peroksomolibdat dapat mengalami perubahan warna akibat perubahan kondisi kimia di sekitarnya. Selain itu, Chang *et al.* (2001) melaporkan bahwa kitosan dapat mengalami perubahan struktur akibat proses degradasi oksidatif. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai h label tanpa buah diduga dipengaruhi oleh karakteristik material penyusun dan kondisi penyimpanan, sehingga perubahan

warna tetap dapat terjadi meskipun label tidak diaplikasikan pada buah.





Gambar 9. Grafik Nilai h Label pada Penyimpanan Buah

Berdasarkan Gambar 9, seluruh perlakuan label yang disimpan bersama buah tetap berada pada Kuadran II, ditandai dengan nilai a yang negatif dan nilai b yang positif selama penyimpanan. Posisi tersebut menunjukkan bahwa warna label masih didominasi oleh komponen hijau dan kuning, meskipun terjadi perubahan intensitas warna. Penurunan nilai b pada setiap

perlakuan mengindikasikan berkurangnya intensitas warna kuning seiring bertambahnya lama penyimpanan. Menurut Pathare *et al.* (2012), perubahan nilai *a* dan *b* mencerminkan perubahan karakteristik warna yang dapat diamati melalui pergeseran posisi pada ruang warna CIELAB.

Perlakuan A2B1 mengalami penurunan nilai *b* dari 31,98 pada H0 menjadi 17,59 pada H3, tetapi posisinya tetap berada pada Kuadran II. Perlakuan A2B2 menunjukkan perubahan yang lebih bertahap dengan nilai *b* menurun dari 52,64 pada H0 menjadi 25,86 pada H6, tanpa berpindah kuadran. Perlakuan A3B1 juga mempertahankan posisi pada Kuadran II dengan penurunan nilai *b* dari 25,49 menjadi 18,05 selama penyimpanan. Sementara itu, perlakuan A3B2 memiliki nilai *b* awal tertinggi (53,50) dan menurun hingga 19,27 pada H6, sehingga menunjukkan penurunan intensitas warna kuning yang paling besar meskipun arah warnanya tetap berada pada kuadran yang sama.

Berbeda dengan label tanpa penyimpanan pada buah yang mengalami perpindahan dari Kuadran II ke Kuadran III, seluruh label yang disimpan bersama buah tetap berada pada Kuadran II hingga akhir pengamatan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan warna yang terjadi masih didominasi oleh penurunan intensitas warna kuning tanpa munculnya dominasi komponen biru. Perbedaan respons ini mengindikasikan bahwa keberadaan buah memengaruhi perubahan warna indikator sehingga perubahan berlangsung lebih terarah dan stabil dibandingkan kontrol tanpa buah. Hasil tersebut sejalan dengan Kuswandi *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa indikator cerdas akan memberikan respons warna sesuai kondisi lingkungan di dalam kemasan, sedangkan karakteristik matriks kitosan turut memengaruhi kestabilan perubahan warna selama penyimpanan (Elsabee dan Abdou, 2013).

Analisis statistik warna *h* label indikator dilakukan untuk mengetahui karakteristik distribusi data dan menentukan metode analisis yang sesuai. Uji normalitas dilakukan terhadap residual

data warna h menggunakan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Selama penelitian terdapat satu data yang tidak dapat diperoleh karena salah satu label indikator mencair selama proses pengamatan, sehingga hanya 11 data yang dapat diikutsertakan dalam analisis statistik. Analisis ini bertujuan mengevaluasi perubahan komponen warna h pada label indikator selama penyimpanan buah.

Tabel 14. Hasil Uji Normalitas Data Warna h

Parameter	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
Residual for h	0,936	11	0,474

Berdasarkan Tabel 14, hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa residual data warna h memiliki nilai signifikansi sebesar 0,474 ($p > 0,05$), sehingga residual data berdistribusi normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa asumsi normalitas telah terpenuhi. Data warna h layak dianalisis lebih lanjut menggunakan analisis ANOVA.

Tabel 15. Uji Homogenitas Data Warna h

Parameter	Based on	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
h	Mean	0,621	3	7	0,623
	Median	0,402	3	7	0,756

Berdasarkan hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* pada Tabel 15, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,623 berdasarkan *mean*. Nilai signifikansi berdasarkan *mean* lebih besar dari 0,05 sehingga menunjukkan bahwa varians data warna h antar perlakuan bersifat homogen. Uji homogenitas ini diperoleh $df1 = 3$, yang menunjukkan jumlah kelompok perlakuan dikurangi satu ($4 - 1$), dan $df2 = 7$, yang merupakan derajat bebas galat atau sisa pengamatan setelah memperhitungkan jumlah kelompok. Dengan demikian, asumsi homogenitas varians telah terpenuhi sehingga data dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan analisis ANOVA.

Tabel 16. Uji ANOVA Warna h

Sumber Ragam	df	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	Sig.
Kitosan	1	3,691	3,691	0,247	0,635
Amonium Molibdat	1	58,653	58,653	3,918	0,088
Interaksi	1	9,778	9,778	0,653	0,446
Galat (<i>Error</i>)	7	104,784	14,969		
Total Terkoreksi	10	185,225			

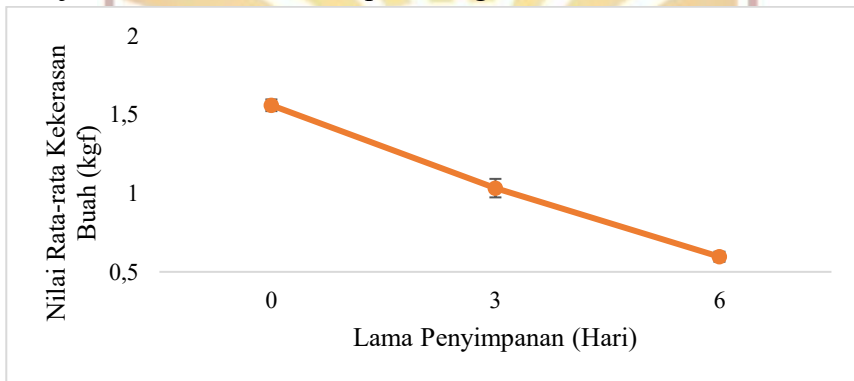
Berdasarkan hasil ANOVA pada Tabel 16, perlakuan konsentrasi kitosan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai warna h dengan nilai signifikansi sebesar 0,635 ($p > 0,05$). Demikian pula, perlakuan amonium molibdat dan interaksi antara kitosan dengan amonium molibdat juga tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap warna h, masing-masing dengan nilai signifikansi sebesar 0,088 dan 0,446 ($p > 0,05$). Savalei *et al.* (2015) menjelaskan bahwa interaksi yang tidak signifikan menunjukkan bahwa efek suatu faktor terhadap respons relatif konsisten pada seluruh tingkat faktor lainnya. Setiap faktor dan interaksi memiliki derajat bebas (df) sebesar 1 karena masing-masing terdiri atas dua taraf perlakuan, sedangkan df galat sebesar 7 menunjukkan derajat bebas sisa yang digunakan sebagai pembanding dalam perhitungan nilai F. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi konsentrasi kitosan, amonium molibdat, maupun kombinasi keduanya belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai warna h label indikator.

4.3 Karakteristik Buah Selama Penyimpanan

Karakteristik buah diamati secara berkala selama penyimpanan pada setiap kombinasi perlakuan. Data yang diperoleh digunakan untuk menggambarkan pola perubahan mutu alpukat dan menilai kemampuan label indikator dalam merespons perubahan fisiologis yang terjadi pada buah. Hasil pengamatan buah alpukat selanjutnya dibahas berdasarkan masing-masing parameter yang diamati selama periode penyimpanan.

4.3.1 Kekerasan Buah

Kekerasan buah diamati untuk mengetahui perubahan mutu selama penyimpanan. Kekerasan pada buah pascapanen mengalami penurunan terutama untuk buah klimakterik yang diakibatkan terjadinya pelunakan jaringan dalam buah. Selain itu, peningkatan aktivitas respirasi selama pematangan turut mempercepat perubahan tekstur buah. Kapoor *et al.* (2022) menjelaskan bahwa perubahan kekerasan buah selama penyimpanan berkaitan dengan proses fisiologis dan biokimia yang menyebabkan jaringan buah menjadi lebih lunak selama pematangan.



Gambar 10. Grafik Rata-rata Nilai Kekerasan Buah Alpukat

Berdasarkan Gambar 10, nilai kekerasan buah mengalami penurunan selama penyimpanan. Hari ke-0 menunjukkan rata-rata kekerasan sebesar 1,56 kgf, kemudian menurun menjadi 1,0328 kgf pada hari ke-3 dan mencapai 0,5963 kgf pada hari ke-6. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa tekstur buah menjadi semakin lunak seiring bertambahnya lama penyimpanan. Sukmawaty *et al.* (2019) melaporkan bahwa kekerasan buah alpukat cenderung menurun selama penyimpanan pada suhu ruang sebagai bagian dari proses pematangan. Data kekerasan buah alpukat dapat dilihat pada Lampiran 11.

Penurunan kekerasan buah alpukat berlangsung secara bertahap pada setiap titik waktu pengamatan. Payasi *et al.* (2009)

menjelaskan bahwa pelunakan buah terjadi akibat degradasi komponen penyusun dinding sel, terutama pektin, hemiselulosa, dan selulosa, sehingga ikatan antarsel menjadi lebih lemah dan tekstur buah menjadi lebih lunak. Proses tersebut merupakan salah satu karakteristik pematangan pada buah klimakterik yang disimpan pada suhu ruang.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan Azrita *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa peningkatan tingkat kematangan buah selama penyimpanan diikuti oleh penurunan nilai kekerasan. Menurut penelitian tersebut, perubahan protopektin yang tidak larut menjadi pektin yang lebih larut menyebabkan jaringan buah kehilangan kekompakan sehingga tekstur menjadi semakin lunak. Penurunan nilai kekerasan pada penelitian ini menunjukkan bahwa proses pematangan buah alpukat terus berlangsung selama periode penyimpanan.

Nilai standar deviasi kekerasan berkisar antara 0,0863-0,24 kgf. Nilai tertinggi ditemukan pada hari ke-0, sedangkan nilai terendah diperoleh pada hari ke-6. *Error bar* yang relatif pendek menunjukkan bahwa variasi antar-ulangan cukup rendah sehingga nilai rata-rata mampu merepresentasikan kondisi sampel pada setiap waktu pengamatan. Selain itu, tren penurunan kekerasan terlihat secara konsisten dari hari ke-0 hingga hari ke-6, yang menunjukkan bahwa parameter kekerasan memberikan gambaran yang baik mengenai perubahan tekstur buah selama penyimpanan.

Analisis statistik kekerasan buah alpukat dilakukan untuk mengetahui distribusi data dan menentukan metode analisis yang sesuai. Uji normalitas dilakukan pada data kekerasan menggunakan taraf signifikansi 5% ($\alpha=0,05$). Analisis dilakukan pada 11 data pengamatan buah. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kekerasan yang diamati selama penyimpanan.

Tabel 17. Hasil Uji Normalitas Data Kekerasan

Parameter	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
Residual for Kekerasan	0,893	11	0,153

Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk* pada Tabel 17, residual data kekerasan memiliki nilai statistik sebesar 0,893 dengan nilai sig. sebesar 0,153 pada 11 data pengamatan yang menunjukkan jumlah residual yang dianalisis. Nilai signifikansi yang lebih besar dari taraf nyata 0,05 menunjukkan bahwa residual data kekerasan berdistribusi normal sehingga memenuhi asumsi normalitas. Dengan demikian, data kekerasan layak untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan uji ANOVA.

Tabel 18. Uji Homogenitas Data Kekerasan

Parameter	Based on	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kekerasan	Mean	0,021	3	7	0,996
	Median	0,004	3	7	1

Berdasarkan Tabel 18, hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,996 untuk *mean*. Nilai signifikansi yang lebih besar dari 0,05 menunjukkan bahwa varians data kekerasan antar perlakuan bersifat homogen. Pada uji ini diperoleh $df1 = 3$, yang menunjukkan jumlah kelompok perlakuan dikurangi satu ($4-1$), dan $df2 = 7$, yang merupakan derajat bebas galat atau sisa pengamatan setelah memperhitungkan jumlah kelompok. Asumsi homogenitas varians telah terpenuhi sehingga data dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan uji ANOVA.

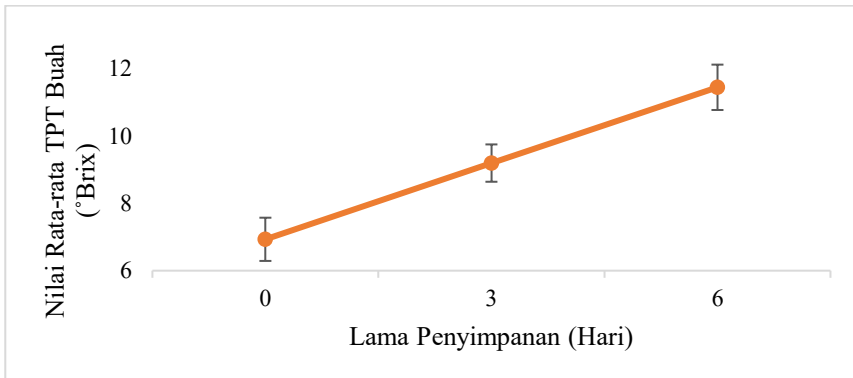
Tabel 19. Uji ANOVA Kekerasan

Sumber Ragam	df	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	Sig.
Kitosan	1	0,039	0,039	0,178	0,685
Amonium Molibdat	1	0,026	0,026	0,12	0,739
Interaksi	1	0,052	0,052	0,236	0,642
Galat (<i>Error</i>)	7	1,545	0,221		
Total Terkoreksi	10	1,642			

Berdasarkan Tabel 19, perlakuan konsentrasi kitosan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kekerasan dengan nilai signifikansi sebesar 0,685 ($p > 0,05$). Perlakuan amonium molibdat dan interaksi antara kitosan dengan amonium molibdat juga tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekerasan, masing-masing dengan nilai signifikansi sebesar 0,739 dan 0,642 ($p > 0,05$). Setiap faktor dan interaksi memiliki derajat bebas (df) sebesar 1 karena masing-masing terdiri atas dua taraf perlakuan, sedangkan df galat sebesar 7 diperoleh dari sisa derajat bebas pada 11 data pengamatan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi konsentrasi kitosan, amonium molibdat, maupun kombinasi keduanya belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kekerasan buah alpukat.

4.3.2 Total Padatan Terlarut (TPT)

TPT diamati untuk mengetahui perubahan buah selama penyimpanan yang berkaitan dengan akumulasi senyawa terlarut, terutama gula sederhana. Hasil pengamatan menunjukkan adanya peningkatan nilai TPT pada seluruh kombinasi selama penyimpanan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses pematangan masih berlangsung hingga akhir periode penyimpanan.



Gambar 11. Grafik Rata-rata Nilai TPT Buah Alpukat

Berdasarkan Gambar 11, nilai TPT buah mengalami peningkatan selama penyimpanan. Hari ke-0 menunjukkan nilai TPT sebesar 6,93 °Brix, kemudian meningkat menjadi 9,14 °Brix pada hari ke-3 dan mencapai 11,44 °Brix pada hari ke-6. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa proses pematangan buah masih berlangsung selama penyimpanan. Pah *et al.* (2020) melaporkan bahwa buah alpukat mengalami peningkatan total padatan terlarut selama penyimpanan akibat aktivitas metabolisme yang tetap berlangsung setelah panen. Data nilai TPT buah alpukat dapat dilihat pada Lampiran 12.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Azrita *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa peningkatan tingkat kematangan buah selama penyimpanan diikuti oleh peningkatan nilai total padatan terlarut akibat degradasi pati menjadi gula sederhana. Pola peningkatan tersebut juga umum dijumpai pada buah klimakterik yang mengalami perubahan komposisi karbohidrat selama proses pematangan. Dengan demikian, peningkatan nilai TPT pada penelitian ini menunjukkan bahwa buah alpukat mengalami perubahan mutu internal selama penyimpanan pada suhu ruang.

Nilai standar deviasi TPT berkisar antara 0,63-0,88 °Brix. Nilai standar deviasi tertinggi diperoleh pada hari ke-0, sedangkan nilai terendah terdapat pada hari ke-3. *Error bar* yang relatif pendek

menunjukkan bahwa variasi antarulangan cukup rendah sehingga nilai rata-rata mampu merepresentasikan kondisi sampel pada setiap waktu pengamatan. Selain itu, tren peningkatan nilai TPT terlihat secara konsisten dari hari ke-0 hingga hari ke-6, sehingga parameter ini dapat menggambarkan perubahan mutu internal buah selama penyimpanan.

Analisis statistik TPT buah alpukat dilakukan untuk mengetahui distribusi data dan menentukan metode analisis yang sesuai. Uji normalitas dilakukan pada data TPT menggunakan taraf signifikansi 5% ($\alpha=0,05$). Analisis dilakukan pada 11 data pengamatan buah dengan tujuan untuk mengetahui perubahan TPT yang diamati selama penyimpanan.

Tabel 20. Hasil Uji Normalitas Data TPT

Parameter	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
Residual for TPT	0,929	11	0,398

Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk* pada Tabel 20, residual data TPT memiliki nilai statistik sebesar 0,929 dengan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,398 pada 11 data pengamatan, yang menunjukkan jumlah residual yang dianalisis. Nilai sig. yang lebih besar dari taraf nyata 0,05 menunjukkan bahwa residual data TPT berdistribusi normal sehingga memenuhi asumsi normalitas. Data TPT layak untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan uji ANOVA.

Tabel 21. Uji Homogenitas Data TPT

Parameter	Based on	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
TPT	Mean	0,155	3	7	0,923
	Median	0,108	3	7	0,953

Berdasarkan hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* pada Tabel 21, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,923 berdasarkan mean. Nilai signifikansi berdasarkan *mean* lebih besar

dari 0,05 sehingga menunjukkan bahwa varians data TPT antar perlakuan bersifat homogen. Uji ini diperoleh $df_1 = 3$, yang menunjukkan jumlah kelompok perlakuan dikurangi satu ($4-1$), dan $df_2 = 7$ yang merupakan derajat bebas galat atau sisa pengamatan setelah memperhitungkan jumlah kelompok. Asumsi homogenitas varians telah terpenuhi sehingga data dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan uji ANOVA.

Tabel 22. Uji ANOVA TPT

Sumber Ragam	df	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	Sig.
Kitosan	1	2,151	2,151	0,487	0,508
Amonium Molibdat	1	0,549	0,549	0,124	0,735
Interaksi	1	5,78	5,78	1,309	0,29
Galat (<i>Error</i>)	7	30,908	4,415	-	-
Total Terkoreksi	10	38,272	-	-	-

Berdasarkan hasil ANOVA pada Tabel 22 menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi kitosan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai TPT dengan nilai signifikansi sebesar 0,508 ($p > 0,05$). Perlakuan amonium molibdat dan interaksi antara kitosan dengan amonium molibdat juga tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap TPT, masing-masing dengan nilai signifikansi sebesar 0,735 dan 0,29 ($p > 0,05$). Setiap faktor dan interaksi memiliki derajat bebas (df) sebesar 1 karena masing-masing terdiri atas dua taraf perlakuan, sedangkan df galat sebesar 7 diperoleh dari sisa derajat bebas pada 11 data pengamatan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi konsentrasi kitosan, amonium molibdat, maupun kombinasi keduanya belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai TPT buah alpukat.

4.4 Korelasi Parameter Label Indikator

Analisis korelasi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel serta arah dan kekuatan hubungan tersebut. Nilai koefisien korelasi berkisar

antara -1 hingga +1, di mana nilai positif menunjukkan hubungan searah, nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah, dan nilai mendekati nol menunjukkan hubungan yang lemah atau tidak ada hubungan. Menurut Ghasemi dan Zahediasl (2012), analisis korelasi digunakan untuk menggambarkan kekuatan hubungan antara dua variabel pengamatan. Uji korelasi pada penelitian ini menggunakan korelasi Pearson karena seluruh parameter yang dianalisis berupa data numerik berskala interval atau rasio dan telah memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, sehingga metode Pearson sesuai untuk mengukur arah, kekuatan, dan signifikansi hubungan linear antar-variabel.

Tabel 23. Korelasi Parameter Warna h Label terhadap WVTR

Parameter	WVTR		h
WVTR	r	0,806**	0,806**
	Sig.	0,002	0,002
h	r	0,806**	1
	Sig.	0,002	

Keterangan: ** = signifikan pada level 0,01

Berdasarkan Tabel 23, nilai h memiliki korelasi positif yang sangat kuat terhadap WVTR dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,806 dan nilai signifikansi 0,002 ($p < 0,01$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai h awal label indikator, semakin tinggi pula nilai WVTR film. Hubungan yang signifikan ini mengindikasikan bahwa perubahan karakteristik warna awal label berkaitan dengan sifat penghalang uap air film yang dipengaruhi oleh komposisi bahan penyusun. Menurut Rhim *et al.* (2020), perubahan komposisi dan struktur jaringan film dapat memengaruhi sifat optik sekaligus permeabilitas uap air, sehingga kedua karakteristik tersebut sering menunjukkan hubungan yang saling berkaitan.

Analisis korelasi menggunakan nilai h pada hari ke-0, sedangkan data WVTR berasal dari hasil pengujian karakteristik film. Pendekatan tersebut bertujuan membandingkan karakteristik

warna awal setiap formulasi dengan sifat penghalang uap air yang dimiliki film, sehingga penggunaan data pada waktu pengukuran yang berbeda masih dapat diterima. Nilai h pada hari ke-0 merepresentasikan kondisi awal label sebelum dipengaruhi proses penyimpanan, sedangkan WVTR menggambarkan sifat intrinsik film yang terbentuk dari formulasi yang sama.

