

Pengaruh Jenis Cairan Pelapis terhadap Tingkat Pencoklatan Buah Apel dengan Rancangan Acak Kelompok Lengkap

Hotnauli Roni Arta Panjaitan^a, Dinie Triana^a, Risca Octaviyani Hutapea^{a*},
Zakiy Maulana Pulungan^a, Albert Servant Ndruru^a

^a Universitas Negeri Medan, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Received : 18-11-2025

Revised : 29-12-2025

Accepted : 02-12-2025

Keywords: *Anti-Browning, Enzymatic Browning, Fresh-Cut Apples, Lemon Water, Salt Water*

Kata Kunci: *Air Garam, Air Lemon, Apel Fresh-Cut, Pencoklatan Enzimatis, Rancangan Acak Lengkap (RAL)*

Corresponding Author:

riscaoctaviyanihutapea@gmail.com*

DOI: <https://doi.org/10.62335>

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of coating solutions consisting of control, lemon water, and salt water on the browning intensity of fresh-cut apples using a Completely Randomized Design (CRD). Enzymatic browning is a major problem in fresh-cut apples due to the oxidation of phenolic compounds triggered by the activity of the polyphenol oxidase enzyme. Lemon water acts through mechanisms of pH reduction and antioxidant activity, while salt water inhibits browning through ionic effects and osmotic pressure. The experiment was conducted using homogeneous apple units, and the browning scores obtained were analyzed using ANOVA at a 5% significance level. The results showed a significant effect among treatments, with an F-value of 5.136 exceeding the F-table value of 4.226. Lemon water was found to be the most effective in inhibiting browning, followed by salt water, while the control treatment exhibited the highest browning intensity. These findings confirm that simple natural materials can serve as effective anti-browning coatings, especially when applied to homogeneous experimental units using a CRD.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis cairan pelapis berupa kontrol, air lemon, dan air garam terhadap tingkat pencoklatan apel potong menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Pencoklatan enzimatis merupakan masalah utama pada apel fresh-cut karena reaksi oksidasi fenolik yang dipicu oleh aktivitas enzim polyphenol oxidase. Air lemon bekerja melalui mekanisme penurunan pH dan aktivitas antioksidan, sedangkan air garam menghambat pencoklatan melalui pengaruh ionik dan tekanan osmotik. Percobaan dilakukan menggunakan satuan apel homogen, dan hasil pengamatan skor pencoklatan dianalisis menggunakan ANOVA pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh nyata antarperlakuan dengan nilai F-hitung $5,136 > F$ -

tabel 4,226. Air lemon memberikan penghambatan paling efektif terhadap pencoklatan, diikuti air garam, sedangkan kontrol menunjukkan tingkat pencoklatan tertinggi. Temuan ini mengonfirmasi bahwa bahan alami sederhana dapat digunakan sebagai pelapis anti-browning yang efektif, terutama ketika diterapkan pada unit percobaan homogen dengan rancangan RAL.

PENDAHULUAN

Apel merupakan komoditas buah yang banyak dikonsumsi masyarakat, baik dalam kondisi utuh maupun dalam bentuk potong siap saji atau *fresh-cut* (Hardianti et al., 2019). Tantangan utama dalam penyajian apel potong adalah kerentanannya terhadap penurunan kualitas visual akibat reaksi pencoklatan enzimatis (Arnold & Gramza-Michałowska, 2022). Reaksi ini muncul ketika enzim pencoklatan mengoksidasi senyawa fenolik pada jaringan apel yang rusak sehingga menghasilkan pigmen berwarna coklat. Masalah ini kerap ditemukan pada produk apel potong dan menjadi kendala utama dalam mempertahankan mutu selama proses penyimpanan maupun pemasaran (Purwanto & Effendi, 2016).

Pengendalian pencoklatan pada apel potong umumnya dilakukan dengan metode perendaman atau pelapisan menggunakan larutan anti-browning. Larutan yang bersifat asam, seperti yang mengandung asam sitrat dan asam askorbat, diketahui efektif karena mampu menurunkan pH jaringan sehingga aktivitas enzim pencoklatan menjadi lemah. Berbagai studi telah melaporkan bahwa penggunaan larutan pelapis dengan sifat tersebut mampu mempertahankan warna dan mutu apel potong dengan tingkat efektivitas yang berbeda-beda (Rouf et al., 2018).

Selain penggunaan bahan asam, perendaman dalam larutan natrium klorida atau garam dapur merupakan cara sederhana yang juga umum digunakan untuk memperlambat pencoklatan (Yusuf et al., 2024). Perendaman apel dalam larutan garam dengan konsentrasi rendah terbukti mampu menekan pembentukan warna coklat yang ditunjukkan oleh penurunan nilai kecerahan yang lebih lambat dibandingkan kontrol. Metode ini menawarkan alternatif pengawetan yang mudah diakses, meskipun memiliki mekanisme penghambatan yang berbeda dibandingkan dengan agen pelapis berbasis asam (Khamidah et al., 2022).

Dalam pengujian efektivitas berbagai jenis pelapis tersebut, pemilihan rancangan percobaan menjadi aspek penting untuk memastikan keakuratan analisis data. Penelitian ini menggunakan satuan percobaan berupa potongan buah apel yang memiliki karakteristik seragam atau homogen. Mengingat kondisi unit percobaan yang homogen dan hanya melibatkan satu faktor perlakuan, maka rancangan statistik yang tepat digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penggunaan rancangan ini

didasarkan pada asumsi bahwa setiap unit percobaan memiliki peluang yang sama untuk mendapatkan perlakuan tanpa memerlukan pengelompokan.

Penerapan Rancangan Acak Lengkap pada studi pascapanen apel potong telah banyak diterapkan dalam penelitian serupa sebelumnya. Metode ini sering digunakan dalam penelitian mengenai pelapis atau *edible coating* untuk membandingkan pengaruh perlakuan tunggal terhadap parameter fisik buah selama penyimpanan. Konsistensi penggunaan rancangan ini pada unit percobaan yang homogen menunjukkan bahwa RAL merupakan metode yang valid untuk mendeteksi perbedaan pengaruh antarperlakuan pelapis secara efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan kontrol, air lemon, dan air garam terhadap tingkat pencoklatan apel potong. Penelitian ini difokuskan untuk menentukan perlakuan mana yang paling efektif dalam memperlambat pencoklatan enzimatis, serta menerapkan analisis Rancangan Acak Lengkap sesuai dengan kondisi unit percobaan yang homogen. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai efektivitas bahan alami sebagai pelapis anti-browning serta menjadi contoh penerapan metode statistik yang tepat.

METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2025 bertempat di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan. Kondisi lingkungan pengujian dikondisikan pada suhu ruang untuk menyimulasikan paparan udara normal.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pisau *stainless steel* (untuk meminimalkan kontaminasi logam), talenan, wadah plastik sebagai tempat perlakuan, gelas ukur, *stopwatch*, kamera dokumentasi, serta alat tulis untuk pencatatan data. Bahan utama yang digunakan adalah buah apel segar dengan kondisi fisik seragam. Bahan perlakuan terdiri dari buah lemon segar sebagai sumber asam sitrat alami, garam dapur (NaCl), dan air mineral sebagai pelarut.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal. Pemilihan rancangan ini didasarkan pada karakteristik satuan percobaan yang homogen. Faktor yang diuji adalah jenis perlakuan pelapis yang terdiri dari tiga taraf perlakuan, yaitu:

- **P0 (Kontrol):** Potongan apel dibiarkan dalam wadah terbuka tanpa perendaman cairan apapun.

- **P1 (Air Lemon):** Potongan apel direndam dalam larutan air perasan lemon.
- **P2 (Air Garam):** Potongan apel direndam dalam larutan garam dapur.

Setiap perlakuan diulang sebanyak 4 kali, sehingga menghasilkan total 12 satuan percobaan. Penempatan satuan percobaan ke dalam kelompok perlakuan dilakukan secara acak penuh.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan persiapan larutan perlakuan (air lemon dan air garam). Buah apel dicuci bersih kemudian dipotong secara vertikal menjadi 4 bagian yang sama besar untuk memastikan keseragaman ukuran sampel pada setiap satuan percobaan.

Setelah pemotongan, perlakuan diterapkan sesuai dengan kelompoknya. Pada perlakuan P1 (air lemon) dan P2 (air garam), potongan apel direndam penuh ke dalam larutan masing-masing selama 30 menit. Sementara itu, pada perlakuan P0 (kontrol), potongan apel langsung diletakkan di dalam wadah terbuka dan dibiarkan terpapar udara tanpa proses perendaman. Setelah durasi perlakuan selesai, sampel yang direndam ditiriskan dan diletakkan pada wadah pengamatan yang sama kondisinya dengan kontrol.

Pengumpulan dan Analisis Data

Variabel respon yang diamati dalam penelitian ini adalah tingkat pencoklatan (*browning*) pada permukaan daging buah apel. Pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan visual secara langsung (subjektif) oleh penulis. Tingkat intensitas warna cokelat dinilai menggunakan skala skor Interval 1 sampai 5, di mana skor 1 menunjukkan kondisi apel yang segar/cerah dan skor 5 menunjukkan pencoklatan yang sangat pekat. Data skor yang diperoleh kemudian dianalisis secara statistik menggunakan Analisis Ragam (*Analysis of Variance/ANOVA*) pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap intensitas pencoklatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengamatan

Data skor pencoklatan hasil pengamatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Skor Pencoklatan Apel

Pengulangan 1	3	2,6	3,8
Pengulangan 2	4	3	3,6
Pengulangan 3	3,2	2	3
Pengulangan 4	3,8	3	4

Tabel hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan air lemon menghasilkan

skor pencoklatan terendah, diikuti air garam, dan skor tertinggi terdapat pada kontrol. Pola ini mengindikasikan adanya pengaruh jenis pelapis terhadap laju pencoklatan apel.

Analisis Deskriptif

Rata-rata skor pencoklatan tiap perlakuan didapatkan yaitu:

- Kontrol (p1): cenderung tinggi → apel cepat coklat
- Lemon (p2): paling rendah → apel paling lambat coklat
- Garam (p3): berada di tengah → penghambatan sedang

Secara deskriptif, hasil ini mengindikasikan bahwa air lemon memiliki kemampuan terbaik dalam menghambat pencoklatan, sedangkan air garam memberikan pengaruh yang lebih ringan namun tetap lebih baik dibandingkan tanpa pelapis. Pola ini terlihat konsisten dengan mekanisme biologis dari kedua bahan yang digunakan.

Hasil Analisis Ragam (ANOVA)

Analisis ragam dilakukan untuk mengetahui apakah perbedaan skor pencoklatan antar perlakuan benar-benar signifikan secara statistik.

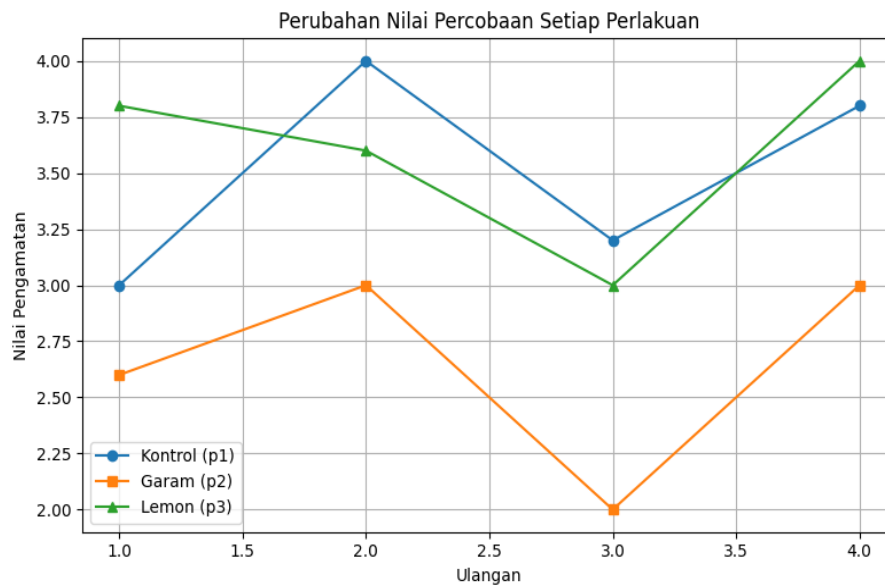
Tabel 2. Hasil ANOVA RAL

sk	db	jk	kt	f-hitung	f-tabel
Perlakuan	2	2,18	1,09	5,13613	4,2256
Galat	9	1,91	0,21222		
Total	11	4,09			

Hasil menunjukkan $F - hitung > F - tabel$, sehingga terdapat perbedaan nyata antar perlakuan pada taraf signifikansi 5%.

Visualisasi Pola Pencoklatan Antarperlakuan

Gambar 1 memperlihatkan pola perubahan skor pencoklatan pada setiap ulangan untuk ketiga perlakuan, yaitu kontrol, air garam, dan air lemon. Grafik ini menggambarkan dinamika respons apel terhadap masing-masing pelapis selama proses oksidasi fenolik yang diamati pada menit ke-30 setelah pemotongan.



Gambar 1. Grafik Perubahan Skor Pencoklatan Apel pada Tiga Perlakuan

Secara umum, perlakuan air lemon menunjukkan skor pencoklatan paling rendah dan relatif stabil pada seluruh ulangan, mengindikasikan efektivitas tinggi dalam menghambat aktivitas enzim *polyphenol oxidase* (PPO). Perlakuan garam memperlihatkan nilai menengah dengan fluktuasi moderat, mencerminkan kemampuan inhibisi parsial melalui mekanisme ionik dan osmotik.

Sebaliknya, kontrol consistently menempati nilai tertinggi pada grafik, menunjukkan bahwa tanpa perlakuan pelapis, reaksi pencoklatan berlangsung lebih cepat dan lebih intens. Pola ini sejalan dengan hasil analisis deskriptif dan inferensial, yang menegaskan bahwa air lemon merupakan inhibitor paling efektif, diikuti air garam, sedangkan kontrol memperlihatkan laju pencoklatan tertinggi.

Interpretasi Hasil Statistik

Hipotesis $H_0: \tau_1 = \dots = \tau_3 = 0$ (perlakuan pada potongan apel tidak berpengaruh terhadap perubahan warna potongan apel)

H_1 : Minimal ada satu i dengan $\tau_i \neq 0$, $i = 1, 2, \dots, 3$ (minimal ada satu perlakuan pada potongan apel yang berpengaruh terhadap perubahan warna potongan apel)

Tingkat signifikansi : $\alpha = 5\%$

- Statistik Uji

$$F_{\text{Hitung}} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$F_{\text{Hitung}} = \frac{1,09}{0,2123}$$

$$F_{\text{hitung}} = 5,13613$$

$$F - \text{tabel}(\alpha, db1, db2)$$

$$F - \text{tabel}(0.05; t - 1; t(r - 1))$$

$$F - \text{tabel}(0.05; 2; 9) = 4,2556$$

Sehingga keputusannya: Tolak H_0 karena $F - \text{hitung} > F - \text{tabel } \alpha, db1, db2$
Kesimpulan Minimal ada perlakuan pada potongan yang berpengaruh terhadap perubahan warna pada potongan apel

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) dengan taraf nyata 5%, diperoleh nilai F hitung sebesar 5,1361 yang lebih besar daripada F tabel 4,2256. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan pada potongan apel memberikan pengaruh yang nyata terhadap tingkat pencoklatan yang terjadi. Dengan demikian, terdapat perbedaan respon antar perlakuan terhadap perubahan warna apel, sehingga perlakuan tertentu cenderung lebih efektif dalam menekan laju pencoklatan dibandingkan perlakuan lainnya.

Mekanisme Kerja Air Lemon (Asam) dalam Menghambat Pencoklatan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa air lemon memberikan penghambatan paling kua terhadap laju pencoklatan apel, sebagaimana terlihat dari nilai skor pencoklatan yang consistently berada pada rentang terendah dibandingkan perlakuan lain. Efektivitas ini dapat dijelaskan melalui interaksi kompleks antara sifat kimiawi komponen air lemon dan dinamika reaksi oksidatif yang terjadi pada jaringan buah.

Air lemon secara alami mengandung asam sitrat dan asam askorbat, dua senyawa yang berperan penting dalam mekanisme pencegahan pencoklatan enzimatik. Kandungan asam sitrat yang tinggi berperan menurunkan pH permukaan jaringan apel hingga mencapai rentang yang jauh dari kondisi optimum aktivitas enzim *polyphenol oxidase* (PPO). Pada kondisi sangat asam, struktur tersier protein PPO mengalami penurunan stabilitas sehingga mengurangi kemampuan enzim untuk mengikat substrat fenolik. Penurunan pH yang drastis juga menyebabkan perubahan muatan pada sisi aktif enzim, menghambat pembentukan kompleks enzim–substrat yang diperlukan dalam reaksi pembentukan *o-quinone*.

Memperkuat efek penghambatan melalui mekanisme reduksi kimia. Asam askorbat berperan sebagai antioksidan primer yang mengkonversi kembali *o-quinone* menjadi bentuk fenolik awal sebelum senyawa tersebut mengalami polimerisasi menjadi melanin yang berwarna gelap. Proses reduksi balik ini menghambat pembentukan pigmen coklat pada tahap paling awal rantai reaksi oksidatif.

Kedua mekanisme ini bekerja secara simultan dan sinergis satu menghambat aktivitas enzim dan yang lain menghambat pembentukan produk akhir reaksi menjadikan air lemon sebagai inhibitor paling efektif. Temuan ini sejalan dengan Purwanto & Effendi (2016), yang konsisten melaporkan bahwa larutan berbasis asam dengan kemampuan

reduksi memiliki efektivitas tinggi dalam menghambat pencoklatan pada buah kaya fenol seperti apel dan pir. Konsistensi ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis penurunan pH dan aktivitas antioksidan merupakan strategi yang paling kuat dan stabil dalam pengendalian browning enzimatis.

Mekanisme Air Garam (NaCl) dalam Mengurangi Intensitas Pencoklatan

Perlakuan air garam memperlihatkan penghambatan pencoklatan yang moderat pada penelitian ini, meskipun intensitasnya tidak sekuat yang ditunjukkan oleh perlakuan air lemon. Pengaruh air garam tidak bekerja melalui penurunan pH, melainkan melalui serangkaian mekanisme fisik–kimia yang memengaruhi kondisi lingkungan enzim secara tidak langsung.

Secara biokimia, ion Na^+ dan Cl^- yang terdisosiasi dalam larutan garam menyebabkan modifikasi lingkungan ionik pada permukaan jaringan apel. Perubahan ini berdampak pada stabilitas elektrostatis enzim PPO, yang merupakan protein sensitif terhadap kondisi ionik eksternal. Perubahan konsentrasi ion menyebabkan terjadinya gangguan pada struktur kuarterner dan tersier enzim, sehingga menurunkan aktivitas katalitiknya. Dengan kata lain, PPO masih dapat bekerja, tetapi efisiensi reaksi oksidatifnya menurun.

Selain perubahan ionik, air garam juga menciptakan tekanan osmotik yang lebih tinggi dibandingkan larutan netral. Kondisi ini menyebabkan terjadinya pergerakan air keluar dari permukaan sel apel (plasmolisis ringan), sehingga mengurangi ketersediaan air bebas dan oksigen yaitu dua komponen penting dalam reaksi oksidasi fenol. Berkurangnya oksigen menurunkan laju pembentukan o-quinone dan menghambat akumulasi pigmen melanin.

Secara empiris, skor pencoklatan pada perlakuan garam sekitar 3.0–4.0 mencerminkan mekanisme ini yaitu penghambatan tetap terjadi, tetapi laju reaksi oksidatif tidak sepenuhnya terhenti. Hasil ini konsisten dengan temuan Yusuf et al. (2018), yang menunjukkan bahwa NaCl pada konsentrasi rendah dapat menurunkan aktivitas PPO melalui mekanisme ionik, meskipun tanpa kemampuan reduksi sehingga efeknya terbatas.

Dengan demikian, air garam dapat dikategorikan sebagai inhibitor kelas menengah, bekerja melalui mekanisme penghambatan parsial yang efektif namun kurang stabil dibandingkan agen berbasis asam.

Efektivitas Penggunaan Rancangan Acak Lengkap (RAL)

Pemilihan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dalam penelitian ini sangat tepat dan relevan mengingat kondisi satuan percobaan yang menunjukkan tingkat homogenitas tinggi. Seluruh apel yang digunakan memiliki karakteristik seragam, baik dari segi ukuran, varietas, kematangan, maupun kondisi penyimpanan. Kondisi ini memenuhi

asumsi dasar RAL, yaitu bahwa variasi antar satuan percobaan minimal sehingga perlakuan dapat dibandingkan secara langsung tanpa memerlukan faktor pengelompokan (blocking).

Keberhasilan penggunaan RAL tercermin dari nilai KT galat yang rendah sebesar 0.212, yang menunjukkan variabilitas acak antarulangan sangat kecil. Rendahnya variabilitas ini memperkuat sensitivitas pengujian ANOVA sehingga perbedaan antarperlakuan dapat terdeteksi secara lebih jelas. Nilai F-hitung yang signifikan yaitu 5.136 dibandingkan F-tabel sebesar 4.226 menunjukkan bahwa rancangan ini berhasil mengungkap pengaruh perlakuan secara efisien.

Kelebihan penggunaan RAL dalam penelitian ini meliputi:

- Homogenitas satuan percobaan tinggi, sehingga blocking tidak diperlukan (RAKL tidak diperlukan).
- Analisis lebih sederhana, memungkinkan fokus pada evaluasi perlakuan tanpa kerumitan struktur rancangan.
- Efisiensi statistik tinggi, terbukti dari galat kecil dan kemampuan mendeteksi perbedaan nyata.

Dengan demikian, RAL bukan hanya tepat secara metodologis, melainkan juga secara praktis meningkatkan reliabilitas dan validitas temuan penelitian.

Perbandingan Temuan Penelitian dengan Literatur Terdahulu

Temuan penelitian ini memiliki kesesuaian yang sangat kuat dengan literatur terdahulu, sehingga memperkuat validitas eksternal hasil yang diperoleh. Efektivitas air lemon sebagai inhibitor pencoklatan konsisten dengan hasil penelitian Purwanto & Effendi (2016), yang menekankan bahwa faktor penurunan pH merupakan pendekatan paling efisien untuk menghambat aktivitas PPO pada jaringan tanaman hortikultura.

Di sisi lain, efektivitas air garam sebagai inhibitor sedang juga menguatkan laporan Yusuf et al. (2018), yang mendokumentasikan kemampuan NaCl untuk menurunkan aktivitas enzim melalui mekanisme ionik. Namun, penelitian ini memberikan nilai tambah ilmiah melalui perbandingan langsung antara dua jenis inhibitor (asam dan garam) dalam kondisi eksperimental yang terkontrol, suatu aspek yang jarang ditemukan dalam kajian sebelumnya.

Perbandingan ini memperlihatkan bahwa:

- Pelapis berbasis asam bekerja melalui mekanisme ganda (penurunan pH dan reduksi kimia), sehingga efeknya lebih stabil dan kuat.
- Pelapis berbasis ionik bekerja secara parsial dan kurang stabil terhadap dinamika oksidatif.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam

memperkaya kajian ilmiah mengenai penggunaan bahan alami penghambat pencoklatan yang mudah diakses, ramah lingkungan, dan relevan untuk aplikasi rumah tangga maupun industri kecil

SIMPULAN, KETERBATASAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis cairan pelapis memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat pencoklatan apel potong. Air lemon terbukti menjadi perlakuan paling efektif karena mampu menekan pencoklatan secara konsisten, yang tercermin dari skor warna coklat yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lain. Efektivitas tersebut berkaitan dengan kandungan asam sitrat dan asam askorbat yang bekerja menghambat aktivitas enzim pemicu pencoklatan. Air garam juga memberikan penghambatan meskipun tingkatnya tidak sekuat air lemon, tetapi tetap menunjukkan kemampuan memperlambat proses oksidasi dibandingkan apel tanpa perlakuan. Perlakuan kontrol menunjukkan pencoklatan tertinggi akibat ketiadaan bahan penghambat. Secara keseluruhan, hasil penelitian mengindikasikan bahwa bahan sederhana dan mudah diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai pelapis anti-browning, dan penggunaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) sudah sangat tepat karena mampu memberikan hasil analisis yang objektif pada unit percobaan yang homogen.

Penelitian ini masih membuka peluang untuk dikembangkan lebih lanjut agar hasilnya semakin kaya dan pemahaman mengenai proses penghambatan pencoklatan pada apel menjadi lebih mendalam. Studi berikutnya dianjurkan untuk memperpanjang durasi pengamatan sehingga dinamika pencoklatan dalam jangka waktu lebih lama dapat terpantau secara lebih detail. Pengujian berbagai konsentrasi air lemon dan air garam juga penting dilakukan untuk memperoleh formulasi yang paling optimal. Di samping itu, penggunaan alat ukur warna digital seperti kromameter dapat meningkatkan objektivitas pengukuran dan menghasilkan data yang lebih akurat. Penelitian dapat pula diperluas dengan menguji berbagai varietas apel, karena perbedaan karakteristik buah kemungkinan besar memengaruhi respons terhadap perlakuan. Kombinasi perlakuan, misalnya pelapis alami yang digabungkan dengan suhu penyimpanan rendah, juga berpotensi memberikan efek penghambatan yang lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, M., & Gramza-Michałowska, A. (2022). Enzymatic browning in apple products and its inhibition treatments: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 5038–5076.
- Demasta, E. K., Al-Baarri, A. N., & Legowo, A. M. (2020). Studi perubahan warna pada buah apel (*Malus domestica* Borkh.) dengan perlakuan asam hipiodous (HIO). *Jurnal Teknologi Pangan*, 4(2), 145–152.

- Hardianti, R., Utama, N. A., Prabasari, I., & Setiawan, C. K. (2019). Uji efektivitas berbagai bahan anti browning pada fresh-cut apel Manalagi (*Malus sylvestris* Mill.) [Naskah publikasi, Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta].
- Junianto, F., Widodo, H., Suhartatik, N., & Karyantina, M. (2025). Aplikasi edible coating pati garut (*Maranta arundinacea*) pada apel (*Malus sylvestris*) potong dengan penambahan jeruk nipis dan daun mint. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 19(4), 1027-1037.
- Khamidah, N., Sofyan, A., & Elena, N. (2022). Teknologi Edible Coating dari Pati Kulit Pisang terhadap Mutu Buah Apel Malang (*Malus sylvestris*). *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(2), 194-199.
- Purwanto, Y. A., & Effendi, R. N. (2016). Penggunaan asam askorbat dan lidah buaya untuk menghambat pencoklatan pada buah potong apel Malang. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 4(2), 203–210.
- Rouf, A., Naik, H. R., Beigh, M. A., Kanojia, V., Mir, S. A., Aafia, S., ... & Altaf, U. (2018). Enzymatic browning of apple and its control by chemical treatment: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr*, 3, 81-88.
- Sahu, G., Paradkar, V., & Kumar, R. (2019). Effect of anti-browning solutions on quality of fresh-cut apple slice. *International Journal of Current Research*, 7, 602-607.
- Silva, F. V. M., & Sulaiman, A. (2022). Control of enzymatic browning in strawberry, apple, and pear by physical food preservation methods: Comparing ultrasound and high-pressure inactivation of polyphenoloxidase. *Foods*, 11(13), 1942.
- Yusuf, M., Legowo, A. M., & Al-Baarri, A. N. (2024). Uji penghambatan reaksi pencoklatan pada buah apel potong oleh asam hypoiodous (HIO) berdasarkan deteksi perubahan warna. *Jurnal Teknologi Pangan*, 8(2), 93–100.
- Yusuf, M., Legowo, A. M., & Al-Baarri, A. N. M. (2018). Inhibition Test of Browning Reaction in Apple (*Malus domestica* Borkh.) by Low NaCl Concentration. *Journal of Applied Food Technology*, 5(2), 30-32.