

Submitted : 30 April 2024

Revised : 30 May 2024

Accepted : 25 June 2024

PENGARUH PENAMBAHAN *RICE BRAN WAX* PADA *COATING FILM* BERBASIS KITOSAN JAMUR TIRAM TERHADAP PENYUSUTAN BERAT DAN pH BUAH TOMAT

Nufus Kanani^{1,2*}, Muhammad Triyogo Adiwibowo¹, Indar Kustiningsih¹, Heri Heriyanto¹, Rusdi¹, Harly Demustila¹, Wardalia Wardalia¹, Endarto Yudo Wardhono¹, Widya Ernayati Kosimaningrum¹, Meri Yulvianti¹, Muhammad Gofar¹, Ila Maghfirotul Fahira¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 42435, Indonesia

²Applied Biomaterial and Product Engineering Laboratory, Center of Excellence, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

*Email: nufus.kanani@untirta.ac.id

Abstrak

Tomat (*Solanum lycopersium L*) merupakan buah yang memiliki kandungan air yang tinggi, sehingga mudah mengalami kerusakan dan mengurangi masa simpan tomat. *Coating film* pada tomat dapat berfungsi untuk melindungi tomat dari kerusakan fisik dan kimia. Kitosan jamur tiram sebagai bahan dasar pembentukan *coating film* memiliki kelebihan yaitu bersifat kuat dan fleksibel, namun kitosan memiliki kelemahan, yaitu bersifat hidrofilik sehingga perlu penambahan bahan lain untuk memperbaiki karakteristiknya, yaitu dengan penambahan *rice bran wax*. Penelitian ini dilakukan melalui tahapan pelarutan kitosan dalam asam asetat, penambahan *rice brand wax* 20-50% (w/v), pembentukan *coating film* menggunakan metode grafting dengan bantuan gelombang ultrasonik pada temperatur 90°C selama 10-60 menit, dan pengaplikasian *coating film* pada tomat. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil tomat tanpa *coating* yang dianalisis selama 7 hari menunjukkan tanda pembusukan, sedangkan tomat dengan *coating film* tetap segar. Penambahan *rice brand wax* berpengaruh pada penurunan susut bobot tomat. Pada konsentrasi *rice bran wax* 1-5% menunjukkan bahwa *coating film* mampu mengurangi penyusutan berat tomat dibandingkan tanpa *coating*. Penurunan susut bobot tertinggi berturut-turut sebesar 7,88%; 7,71%; 5,8%; 4,57% dan 4,33%. Penambahan *rice brand wax* juga berpengaruh pada banyaknya gas etilen yang dihasilkan. Kadar gas etilen yang dihasilkan pada hari ke 7 dengan dan tanpa adanya pelapisan berturut-turut sebesar 7,89 dan 1,95 ppm.

Kata Kunci: Buah tomat; Grafting; Jamur tiram; Kitosan; Sonikasi

Abstract

Tomatoes (*Solanum lycopersium L*) are watery, easily damaged fruits, which reduces their shelf life. Coating films on tomatoes can help prevent them from physical and chemical damage. Chitosan from oyster mushrooms is an essential element for producing coating films that are both robust and flexible. However, because chitosan is hydrophilic, additional components, such as rice bran wax, must be added to increase its properties. This study involved dissolving chitosan in acetic acid, adding rice bran wax in concentrations ranging from 20 to 50% (w/v), forming a coating film using the grafting method with ultrasonic waves at 90°C for 10-60 minutes, and applying the film to tomatoes. The results revealed that tomatoes without coating rotted after 7 days, whereas tomatoes with film covering stayed fresh. Rice bran wax can help reduce tomato weight loss. Rice bran wax added at 1-5% demonstrates that coating film can minimize weight loss in tomatoes. The reduction in weight loss was 7.88, 7.71, 5.8, 4.57, and 4.33%. The addition of rice bran wax influences the amount of ethylene gas produced. On day 7, ethylene gas levels with and without coating were 7.89 ppm and 1.95 ppm, respectively.

Keywords: Chitosan; Grafting; Oyster mushrooms; Sonication; Tomato

1. PENDAHULUAN

Tomat (*Solanum lycopersium L*) merupakan buah yang kaya akan vitamin dan mineral. Buah tomat mengandung asam nitrat, asam malat, asam folat, lemak, histamin, bioflavonoid, dan protein (Nazir & Adrian, 2016). Produksi tomat di Indonesia terus meningkat setiap tahun yang juga diiringi dengan kebutuhan konsumsi yang semakin meningkat. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian tahun 2023, produksi tomat di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 1.114.399 ton dan pada tahun 2022 sebesar 1.168.744 ton (BPS Indonesia, 2024). Tomat yang banyak dikonsumsi memiliki sifat fisik yang menarik seperti warna merah dan tekstur yang baik, namun mendapatkan tomat dengan kualitas tersebut sulit karena tomat rentan terhadap kerusakan. Diperkirakan 20-50% tomat mengalami kerusakan pasca panen (Destiana et al., 2021). Kerusakan pada tomat dapat disebabkan oleh tingginya kandungan air menyebabkan buah tomat mudah mengalami kerusakan sehingga mengurangi masa simpan tomat. Perubahan warna serta proses pematangan setelah panen yang cepat, menyebabkan buah tomat memiliki kerentanan terhadap proses pembusukan (Mahmudah et al., 2021). Cara yang biasa dilakukan untuk menangani kerusakan tomat adalah dengan menyimpan tomat di ruangan yang bersuhu rendah, tetapi metode ini kurang efektif karena tomat sensitif terhadap suhu rendah sehingga dapat merusak kualitas tomat (Nur et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain yang dapat digunakan untuk mencegah kerusakan tomat, salah satunya adalah penggunaan pelapis yang dikenal sebagai *coating film*.

Coating film adalah lapisan tipis yang dilapisi pada bahan baik pada buah maupun sayur. *Coating film* berfungsi untuk melindungi bahan pangan dari kerusakan fisik dan kimia, selain itu juga, *coating film* dapat meningkatkan stabilitas, ketahanan, dan sifat fungsional dari substrat yang dilapisinya (Arnon-Rips & Poverenov, 2018). Polisakarida seperti selulosa, kitosan, alginat, pektin, dan pati merupakan bahan utama yang dapat digunakan dalam pembentukan *coating film* karena sifatnya yang kuat dan fleksibel (Kocira et al., 2021). Kitosan dipilih sebagai bahan dasar pembuatan *coating film* karena memiliki keunggulan dapat dimakan, *biodegradable*, memiliki sifat mekanis yang baik, dan anti-mikroba (Khalid et al., 2022).

Kitosan merupakan senyawa polimer alami yang berasal dari proses deasetilasi kitin yang dapat diproduksi dari ekstraksi hewan bercangkang keras atau krustasea seperti cangkang kepiting, udang, dan jamur (Kalkan, 2022).

Jamur merupakan organisme eukariotik yang memiliki inti dan organel. Komponen utama yang terdapat pada jamur adalah air, protein, kitin, kitosan dan glukosa (Kanani et al., 2022). Jamur tiram dapat digunakan sebagai salah satu alternatif sumber kitosan,

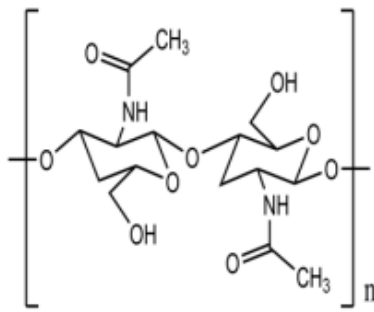
karena jamur tiram yang memiliki kandungan jamur kering memiliki kandungan protein sebanyak 20% dan kandungan kitin sebanyak 20% (Zin et al., 2022). Selain itu, jamur tiram dipilih sebagai bahan dasar pembentukan kitosan karena jamur tiram mudah dibudidayakan, media tanam yang mudah, tidak memerlukan lahan yang luas, serta memiliki siklus hidup yang pendek. Jamur tiram dapat dipanen dalam waktu 10-15 hari setelah masa inokulasi (Mahari et al., 2020), sedangkan siklus udang dan kepiting berkisar antara 3-4 bulan. Selain itu proses isolasi kitosan berbasis jamur tiram memiliki tahapan yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode ekstraksi kitosan menggunakan kulit udang maupun cangkang kepiting.



Gambar 1. Jamur tiram (Kanani et al., 2022)

Kitosan jamur tiram sebagai bahan dasar pembentukan *coating film* memiliki kelebihan yaitu bersifat kuat, fleksibel, dan memiliki sifat antibakterial, namun kitosan juga memiliki kelemahan, yaitu bersifat hidrofilik dan rapuh (Li et al., 2021), sehingga perlu penambahan bahan lain untuk memperbaiki karakteristiknya, salah satunya dengan memberi tambahan *rice bran wax*. Senyawa ini bersifat hidrofobik yang dapat memperbaiki sifat kitosan pada saat dicampurkan (Abhirami et al., 2020). Penambahan *rice bran wax* juga dapat meningkatkan ketahanan film terhadap air (Romas et al., 2017), selain itu juga, penambahan *rice bran wax* juga dapat berfungsi sebagai penahan gas yang baik (Winarti, 2013). Pencampuran kitosan dan *rice bran wax* dapat memperbaiki sifat kitosan, namun karena rendahnya kekuatan tarik antar muka kitosan dan *rice bran wax*, sehingga diperlukan metode lain untuk memperbaiki pencampurannya, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan metode pencangkakan menggunakan sonikator. Metode pencangkakan polimer dapat memfasilitasi proses pembentukan matriks polimer antara kitosan dan *rice bran wax* karena sifat kimia dan fisiknya dapat terbentuk sesuai keinginan (Roy et al., 2009). Gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh sonikator akan memberikan panas sebagai inisiator untuk pembentukan

pencangkakan pada matriks polimer (Rokita et al., 2009).



Gambar 2. Struktur kitosan

Penelitian ini dilakukan untuk membentuk *coating film* berbahan dasar kitosan jamur tiram dengan tambahan *rice bran wax* menggunakan metode grafting polimer dengan bantuan gelombang ultrasonik. *Coating film* yang terbentuk akan digunakan untuk melapisi permukaan buah tomat. Buah tomat yang sudah dilapisi *coating film* akan dianalisis laju susut, gas etilen, serta penurunan pH yang dihasilkan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Jamur tiram dan buah tomat diperoleh dari pasar tradisional daerah Serang, Banten. Akuades, asam asetat (Merck), aseton teknis, etanol teknis, gliserol teknis, NaOH (Merck), dan *rice bran wax* dibeli dari toko bahan kimia.

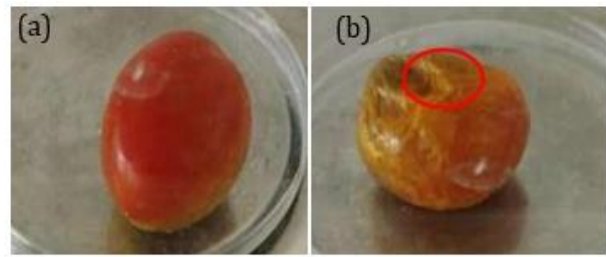
2.2 Tahapan Penelitian

Jamur tiram dilarutkan ke dalam larutan asam asetat 0,1 M, dengan cara diaduk selama 4 jam menggunakan suhu 60°C. Setelah diperoleh larutan kitosan, ditambahkan *rice bran wax* dengan variasi 20, 30, 40, dan 50% (w/v) dan dilakukan grafting menggunakan bantuan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sebesar 40 KHz pada temperatur 90°C selama 10-60 menit untuk mendapatkan larutan *coating film*. Larutan film yang didapat kemudian diaplikasikan pada buah tomat dengan cara mencelupkan buah tomat ke dalam larutan film yang sudah terbentuk sampai seluruh permukaannya terlapisi. Buah tomat yang sudah terlapisi film kemudian disimpan dalam suhu ruang untuk selanjutnya dianalisis seperti penyusutan berat buah tomat, produksi gas etilen, dan penurunan pH pada buah tomat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Penyusutan Berat

Coating film yang dihasilkan kemudian diaplikasikan pada permukaan tomat dengan metode pencelupan. Metode ini adalah metode yang paling banyak diterapkan pada buah dan sayuran. Analisis *coating* dilakukan pada tomat segar yang dilapisi film dan tanpa pelapisan. Buah tomat kemudian disimpan pada suhu ruang selama dan dianalisis perubahan yang terjadi pada hari ke 7.



Gambar 3. Buah tomat (a) dengan pelapisan (b) tanpa Pelapisan

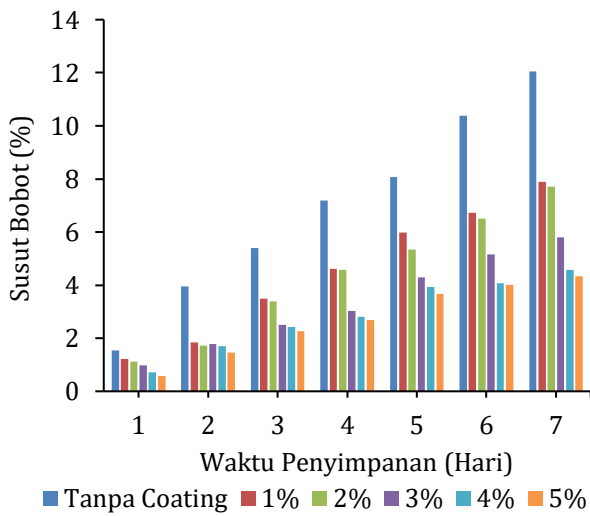
Dari Gambar 3 terlihat struktur kulit tomat tanpa *coating* tampak bintik hitam serta kulit yang rusak sebagai tanda pembusukan, sedangkan tomat dengan dilapisi *coating film* masih terlihat segar dan tidak menunjukkan perubahan warna. Hal ini disebabkan karena *coating* pada tomat dapat menghambat degradasi klorofil dan pembentukan karoten dan dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Selain itu, tomat yang matang mampu mempertahankan tingkat kecerahan (Firouz et al., 2021).

Menurut Soltani et al., (2015), *coating film* yang terbuat dari jamur tiram memiliki polisakarida yang berfungsi sebagai membran permeabel selektif untuk pertukaran gas O₂ dan CO₂ sehingga dapat mengurangi laju respirasi pada buah dan sayuran. Penerapan *coating* polisakarida dapat mencegah dehidrasi, oksidasi lemak, dan pencoklatan permukaan serta mengurangi laju respirasi dengan mengendalikan komposisi O₂ dan CO₂ di atmosfer internal. Keuntungan lain dari *coating* berbahan polisakarida adalah meningkatkan rasa, tekstur, warna, stabilitas selama penjualan, penyimpanan, penampilan, dan mengurangi tingkat kerusakan.

Penyusutan berat adalah salah satu faktor yang menunjukkan kualitas buah tomat. Penyusutan pada buah dapat terjadi karena proses pengurangan berat akibat terjadinya proses respirasi, dan transpirasi (Lufu, 2020). Dalam penelitian ini, dua perlakuan berbeda dilakukan, yaitu penambahan konsentrasi *rice bran wax* dan waktu sonikasi kitosan-*rice bran wax* untuk menentukan pengaruhnya terhadap penyusutan berat tomat.

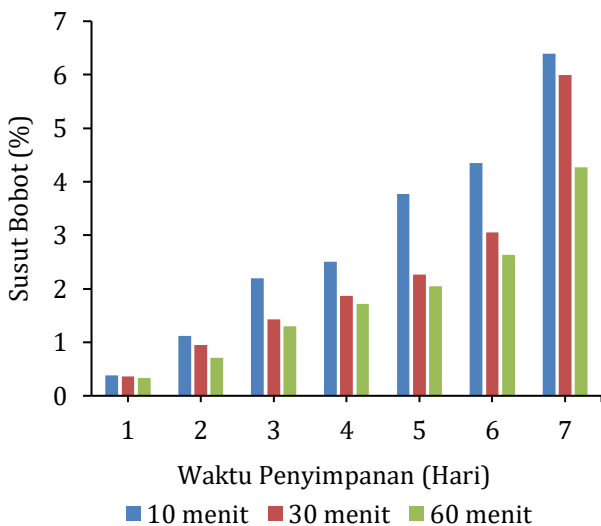
Konsentrasi *rice bran wax* berpengaruh terhadap perubahan susut bobot buah tomat. Jika dibandingkan dengan tomat tanpa dilapisi *coating film*, persentase penyusutan tomat dengan *coating* lebih rendah. Gambar 4 menunjukkan bahwa *coating film* mampu mengurangi penyusutan berat tomat dibandingkan tanpa *coating*. Penurunan susut bobot tertinggi berturut-turut sebesar 7,88; 7,71; 5,8; 4,57; dan 4,33%. Hal ini terjadi karena *coating film* memiliki sifat penghalang yang menghambat laju respirasi dan transmisi uap air dari tomat sehingga uap air yang terkandung dalam tomat akan tertahan oleh *coating film*. Selain itu, penyusutan berat tomat juga meningkat seiring dengan lamanya waktu penyimpanan. Peningkatan ini disebabkan oleh proses transpirasi dimana air yang terkandung dalam tomat akan berpindah ke lingkungan. Peningkatan penyusutan berat terjadi karena tomat merupakan buah

klimakterik yang dapat mengalami peningkatan respirasi seiring dengan kematangan buah (Bovi et al., 2016).



Gambar 4. Pengaruh berat *rice brand wax* terhadap susut bobot

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai susut bobot menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi *rice bran wax* yang ditambahkan ke dalam campuran. Semakin besar konsentrasi *rice bran wax* dalam campuran film, maka semakin kecil pori-pori buah sehingga kehilangan air dalam tomat juga lebih kecil yang mengakibatkan kecilnya nilai penyusutan berat (Chen et al., 2024).



Gambar 5. Susut bobot berdasarkan waktu sonikasi

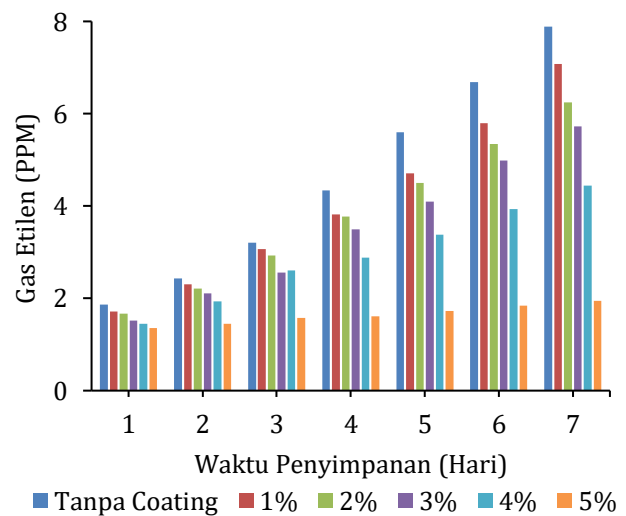
Dari Gambar 5 terlihat untuk semua variasi waktu sonikasi pada hari pertama, penyusutan buah tomat berada di bawah 2%, namun pada hari ke tujuh, pada lama waktu sonikasi 10 dan 30 menit, penyusutan melebihi 6%, sedangkan pada waktu sonikasi 60 menit, terjadi penurunan susut bobot yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu sonikasi, semakin kecil penyusutan berat yang dihasilkan. Semakin lama waktu sonikasi, semakin homogen

ukuran partikel dan semakin sedikit penggumpalan campuran sehingga *coating film* yang dihasilkan tercampur merata dan dapat bekerja optimal saat diaplikasikan (Mustafa et al., 2014).

3.2 Analisis Produksi Gas Etilen

Tomat adalah buah klimakterik yang akan mengalami peningkatan laju respirasi dan produksi gas etilen. Konsentrasi gas etilen yang dihasilkan setelah panen dapat mempercepat proses pematangan pada buah. Produksi gas etilen dapat memicu munculnya tanda-tanda kerusakan pada buah dan memicu enzim hidrofobik yang berperan dalam pelunakan dan menghasilkan warna yang tidak diinginkan oleh konsumen (Mahajan et al., 2014). Etilen adalah senyawa volatil yang diproduksi selama proses pematangan buah. Dalam penelitian ini, dua perlakuan berbeda dilakukan saat pengujian gas etilen, yaitu penambahan konsentrasi *rice brand wax* dan waktu sonikasi kitosan-*rice bran wax* untuk menentukan pengaruhnya terhadap laju produksi gas etilen yang dihasilkan buah tomat.

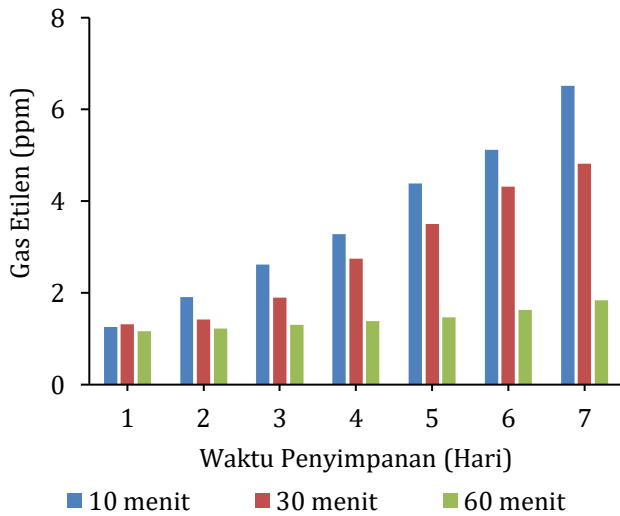
Gambar 6 menunjukkan produksi gas etilen dimana tomat tanpa *coating film* memiliki produksi gas etilen yang lebih besar dibandingkan dengan tomat yang dilapisi *coating film*.



Gambar 6. Produksi gas etilen pada berbagai konsentrasi *rice bran wax*

Dari hasil percobaan diperoleh besarnya kadar gas etilen yang dihasilkan pada hari ke 7 tanpa dan dengan pelapisan menggunakan tambahan *rice bran wax* sebanyak 5% berturut-turut sebesar 7,89 ppm dan 1,95 ppm. Hal ini karena *coating film* dapat berfungsi sebagai penghalang yang mampu menahan dan mengontrol laju respirasi dan produksi gas etilen. Penambahan konsentrasi *rice bran wax* terbukti mampu mengurangi laju produksi gas etilen pada tomat. Besarnya konsentrasi *rice bran wax* yang digunakan, maka akan semakin kecil pori-pori yang dihasilkan sehingga dapat menahan laju produksi gas etilen.

Banyaknya gas etilen yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh lamanya waktu pencampuran antara larutan kitosan dengan *rice bran wax*.



Gambar 7. Produksi gas etilen pada berbagai waktu pencampuran

Waktu sonikasi campuran kitosan dan *rice bran wax* mampu mempengaruhi produksi gas etilen dimana semakin lama waktu sonikasi, semakin kecil produksi gas etilen yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena pencampuran menggunakan sonikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik mampu membuat campuran lebih homogen sehingga *edible coating* yang dihasilkan dapat bekerja optimal saat diaplikasikan (Ahari & Nasiri, 2021).

Dari gambar 7 terlihat bahwa pada hari pertama sampai hari ketiga produksi gas etilen pada waktu 10 menit diperoleh besarnya gas etilen berturut-turut sebesar 1,26; 1,91; dan 2,62 ppm menunjukkan nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan waktu 30 dan 60 menit pada hari pertama sampai ketiga. Produksi etilen mencapai nilai tertinggi pada hari ke tujuh, yaitu 6,51 ppm.

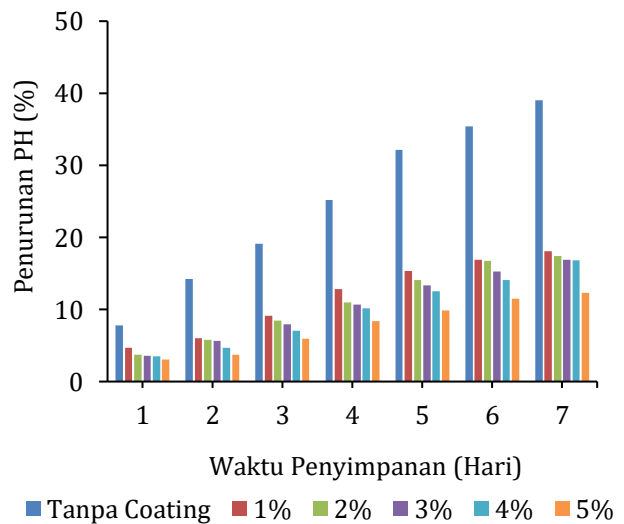
3.3 Analisis pH

pH tomat adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas tomat (Anthon et al., 2011). pH buah selalu meningkat selama pematangan karena konsumsi asam organik untuk proses metabolisme selama respirasi (Batista-Silva et al., 2018).

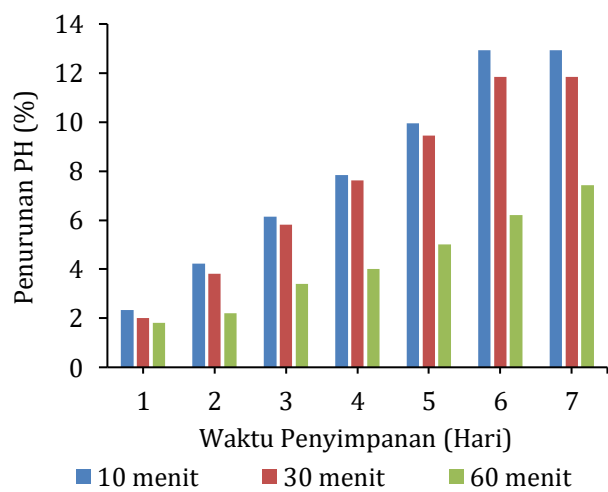
Tomat adalah buah klimakterik yang memiliki laju respirasi 35-70 mg CO₂/Kg/Jam (Chopsri, 2017). Gambar 8 menunjukkan penurunan pH (%) buah tomat dimana pada hari pertama terlihat penurunan pH terendah terjadi pada konsentrasi *rice bran wax* 1% dan tertinggi pada sampel tanpa *coating*. Dari Gambar 8 juga terlihat adanya penurunan pH dari buah tomat pada semua variasi, namun penurunan pH tertinggi terjadi pada buah tomat tanpa *coating*. Konsentrasi *rice bran wax* yang lebih tinggi cenderung memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap penurunan pH. Hal ini disebabkan karena *rice bran wax* membentuk lapisan pelindung di permukaan buah yang dapat

melindungi buah dari proses oksidasi, mikroorganisme, dan faktor lingkungan yang dapat menurunkan pH. Selain itu, pada konsentrasi *rice bran wax* yang lebih tinggi, maka dapat meningkatkan sifat hidrofobik sehingga dapat mengurangi kelembaban yang dapat menyebabkan penurunan pH buah tomat. Selama penyimpanan, tomat cenderung mengalami peningkatan kadar gula yang kemudian disertai dengan penurunan kualitas buah, perubahan kadar gula mengikuti pola respirasi buah selama penyimpanan.

Pelapisan buah dengan *coating film* dapat mengurangi laju respirasi karena *coating film* berfungsi sebagai membran permeabel yang selektif untuk pertukaran gas O₂ dan CO₂ sehingga dapat mengurangi laju respirasi buah (Kocira et al., 2021). Nilai pH buah berkaitan dengan asam organik yang terkandung di dalamnya. Penurunan keasaman ditandai dengan peningkatan pH yang disebabkan oleh penurunan pembentukan asam selama penyimpanan buah.



Gambar 8. Penurunan pH pada berbagai konsentrasi *rice bran wax*



Gambar 9. Penurunan pH pada berbagai waktu sonikasi

Pada Gambar 8 terlihat bahwa penambahan konsentrasi *rice bran wax* mampu mempertahankan

stabilitas pH tomat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cheng et al., (2007) dijelaskan bahwa penambahan konsentrasi *rice bran wax* mampu menstabilkan pH. Selain itu, lamanya waktu sonikasi juga mempengaruhi stabilitas pH tomat.

Gambar 9 menunjukkan semakin lama waktu sonikasi, semakin stabil pH tomat selama penyimpanan. Penelitian Mun et al., (2005) menjelaskan bahwa semakin lama waktu sonikasi, semakin stabil pH karena semakin lama waktu sonikasi, semakin homogen ukuran partikel dan semakin sedikit penggumpalan campuran sehingga edible *coating* yang dihasilkan tercampur merata. Hal ini memungkinkan edible *coating* bekerja optimal saat diaplikasikan sehingga dapat mempertahankan stabilitas pH.

4. KESIMPULAN

Tomat tanpa *coating* menunjukkan tanda pembusukan, sedangkan tomat dengan *coating film* tetap segar setelah 7 hari. *Coating film* mampu menghambat degradasi klorofil dan pembentukan karoten, sehingga dapat mempertahankan kesegaran buah tomat. Konsentrasi *rice bran wax* dan lamanya waktu sonikasi berpengaruh terhadap laju produksi gas etilen. *Coating film* dapat berfungsi untuk mengontrol laju respirasi dan produksi gas etilen. Penambahan *rice brand wax* pada *coating film* berpengaruh pada stabilitas buah tomat yang dihasilkan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

LPPM Untirta yang telah mendukung dana melalui program hibah Penelitian Dosen Madya (PDM) 2022 sehingga penelitian ini bisa terlaksana.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abhirami, P., Modupalli, N., & Natarajan, V. (2020). Novel postharvest intervention using rice bran wax edible coating for shelf-life enhancement of *Solanum lycopersicum* fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12).
- Ahari, H., & Nasiri, M. (2021). Ultrasonic technique for production of nanoemulsions for food packaging purposes: A review study. *Coatings*, 11(7), 847.
- Anthon, G. E., LeStrange, M., & Barrett, D. M. (2011). Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), 1175–1181.
- Arnon-Rips, H., & Poverenov, E. (2018). Improving food products' quality and storability by using layer by layer edible coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 81–92.
- Badan Pusat Statistik Indonesia (2024). Produksi tanaman sayuran—tabel statistik. Retrieved May 26, 2024, from <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html>
- Batista-Silva, W., Nascimento, V. L., Medeiros, D. B., Nunes-Nesi, A., Ribeiro, D. M., Zsögön, A., & Araújo, W. L. (2018). Modifications in organic acid profiles during fruit development and ripening: correlation or causation? *Frontiers in Plant Science*, 9, 1689.
- Bovi, G. G., Caleb, O. J., Linke, M., Rauh, C., & Mahajan, P. V. (2016). Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A review. *Biosystems Engineering*, 150, 24–39.
- Chen, K., Tian, R., Jiang, J., Xiao, M., Wu, K., Kuang, Y., Deng, P., Zhao, X., & Jiang, F. (2024). Moisture loss inhibition with biopolymer films for preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130337.
- Cheng, L. H., Soh, C. Y., Liew, S. C., & Teh, F. F. (2007). Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chemistry*, 104(4), 1396–1401.
- Chopsri, A. (2017). Effects of hot air treatment on softening of pulp during ripening in banana fruit. <https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/record/44805/files/DA08335.pdf>
- Destiana, I. D., Anisa, Z. N., & Mukminah, N. (2021). The effect of aloe vera gel edible coating and glycerol on the physicochemical characteristics of red grapes (*Vitis vinifera* L.). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 9(3), 188–195.
- Firouz, M. S., Mohi-Alden, K., & Omid, M. (2021). A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International*, 141, 110113.
- Kalkan, Ş. O. (2022). Evaluation of organic waste materials as bio-polymeric admixtures in cement based composite mortars [PhD Thesis, Izmir Katip Celebi University (Turkey)].
- Kanani, N., Wardalia, W., Ernayati, W., Wardhono, E. Y., Rahmayetty, R., Adiwibowo, M. T., Adelianna, T. N., & Martino, B. (2022). Ekstraksi kitin dari jamur tiram menggunakan reaktor microwave. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(2), 11–16.
- Khalid, M. A., Niaz, B., Saeed, F., Afzaal, M., Islam, F., Hussain, M., Mahwish Khalid, H. M. S., Siddeeg, A., & Al-Farga, A. (2022). Edible coatings for enhancing safety and quality attributes of fresh produce: A comprehensive review. *Int. J. Food Prop*, 25(1), 1817–1847.
- Kocira, A., Kozłowicz, K., Panasiewicz, K., Staniak, M., Szpunar-Krok, E., & Horthyńska, P. (2021). Polysaccharides as edible films and coatings: Characteristics and influence on fruit and vegetable quality—A review. *Agronomy*, 11(5), 813.
- Li, J., Tian, X., Hua, T., Fu, J., Koo, M., Chan, W., & Poon, T. (2021). Chitosan natural polymer material for improving antibacterial properties of textiles. *ACS Applied Bio Materials*, 4(5), 4014–4038.
- Lufu, R. (2020). Transport phenomena in pomegranate fruit: mechanisms of weight loss and control strategies [PhD Thesis, Stellenbosch: Stellenbosch University].
- Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372(2017), 20130309.

- Mahari, W. A. W., Peng, W., Nam, W. L., Yang, H., Lee, X. Y., Lee, Y. K., Liew, R. K., Ma, N. L., Mohammad, A., & Sonne, C. (2020). A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123156.
- Mahmudah, N. A., Maharani, E. T. W., & Astuti, A. P. (2021). Analisis efektivitas ecoenzym dari limbah organik kulit mentimun sebagai pengawet tomat. *BIOSEL (Biology Science and Education): Jurnal Penelitian Science Dan Pendidikan*, 10(2), 182–192.
- Mun, S., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2005). Influence of droplet characteristics on the formation of oil-in-water emulsions stabilized by surfactant–chitosan layers. *Langmuir*, 21(14), 6228–6234.
- Mustafa, M. A., Ali, A., Manickam, S., & Siddiqui, Y. (2014). Ultrasound-assisted chitosan–surfactant nanostructure assemblies: Towards maintaining postharvest quality of tomatoes. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 2102–2111.
- Nazir, N., & Adrian, M. R. (2016). The improvement lycopene availability and antioxidant activities of tomato (*Lycopersicum Esculentum*, Mill) jelly drink. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 328–334.
- Nur, S. U. K., Sudarti, S., & Subiki, S. (2022). Pengaruh paparan medan magnet extremely low frequency (elf) terhadap derajat keasaman (ph) buah tomat. *ORBITA: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 8(1), 73–78.
- Rokita, B., Rosiak, J. M., & Ulanski, P. (2009). Ultrasound-induced cross-linking and formation of macroscopic covalent hydrogels in aqueous polymer and monomer solutions. *Macromolecules*, 42(9), 3269–3274.
- Romas, M. S., Pramuaji, I., Indriati, L., & Wirawan, S. K. (2017). Potensi kertas sebagai bahan baku paper ropes (potential of paper as the raw material for paper ropes). *Jurnal selulosa*, 7(02), 02.
- Roy, D., Semsarilar, M., Guthrie, J. T., & Perrier, S. (2009). Cellulose modification by polymer grafting: A review. *Chemical Society Reviews*, 38(7), 2046–2064.
- Soltani, M., Alimardani, R., Mobli, H., & Mohtasebi, S. S. (2015). Modified atmosphere packaging: A progressive technology for shelf-life extension of fruits and vegetables. *Journal of Applied Packaging Research*, 7(3), 33–59.
- Winarti, C. (2013). Teknologi produksi dan aplikasi pengemas edible antimikroba berbasis pati. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 31(3).
- Zin, M. I. M., Jimat, D. N., & Nawawi, W. M. F. W. (2022). Physicochemical properties of fungal chitin nanopaper from shiitake (*L. edodes*), enoki (*F. velutipes*) and oyster mushrooms (*P. ostreatus*). *Carbohydrate Polymers*, 281, 119038.