

MODEL AUTOKATALISIS PERUBAHAN WARNA TOMAT SELAMA PENYIMPANAN DENGAN PENAMBAHAN $KMnO_4$ DAN ARANG AKTIF BAMBU SEBAGAI *ETHYLENE SCAVENGER*

Autokatalytic Model of Tomato Colour Change during Storage by Addition of $KMnO_4$ and Bamboo Activated Charcoal as Ethylene Scavenger

Rifah Ediaty^{1,*}, Siswantoro², Nur Nadiyah Fitriyah Al Hamid³

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Suparno 73, Purwokerto, Indonesia.

² Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Suparno 73, Purwokerto, Indonesia.

³ Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Suparno 73, Purwokerto, Indonesia.

* Email: rifah.ediaty@unsoed.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jaber.2023.4.1.8586>

Naskah ini diterima pada 02 Mei 2023; revisi pada 23 Mei 2023; disetujui untuk dipublikasikan pada 02 Juni 2023

ABSTRAK

Pada buah tomat segar, warna merupakan indikator penting yang menentukan penerimaan konsumen. Teknologi pascapanen banyak ditujukan untuk mempertahankan warna tomat pada rentang jingga ke merah muda. Model untuk memprediksi perubahan warna tomat selama penyimpanan masih sedikit dikaji. Model prediksi ini akan berguna untuk melihat bagaimana perubahan warna secara alami dan bagaimana perubahan warna saat mendapat perlakuan teknologi pasca panen, apakah model perubahan warna masih tetap sama dan hanya berubah nilai konstantanya atautkah modelnya juga mengalami perubahan. Untuk menyelidiki hal tersebut, dalam penelitian ini dilakukan penyimpanan tomat dalam kondisi tanpa perlakuan dan tomat dengan perlakuan *ethylene scavenger* (ES) dari campuran arang aktif bambu dan $KMnO_4$. Tomat dikemas menggunakan kardus yang sudah ditambahkan *ethylene scavenger* dengan massa 2 gram, 4 gram, dan 6 gram ES, kemudian disimpan dalam suhu ruang selama 10 hari dan dilakukan pengamatan warna setiap hari. Hasil penerapan model autokatalisis menunjukkan penurunan warna kuning dan kecerahan mengikuti model kinetika orde satu, sedangkan peningkatan warna merah mengikuti model logistik. Perlakuan massa *ethylene scavenger* yang paling efektif ditunjukkan pada penggunaan 2 gram *ethylene scavenger*, yang diindikasikan oleh nilai k terkecil pada perubahan parameter kecerahan, warna kuning, dan warna merah tomat. Penambahan *ethylene scavenger* dapat menghambat penurunan kecerahan tomat, kenaikan warna merah tomat, dan penurunan nilai warna kuning tomat selama penyimpanan.

Kata kunci: tomat, arang aktif bambu, $KMnO_4$, *ethylene scavenger*

ABSTRACT

The color of fresh tomatoes is a key factor influencing consumer acceptance. Many postharvest techniques were aimed at preserving the orange to pink color range. Despite this, the prediction model for tomato color changes during storage has received little attention. Such a model would be invaluable in assessing natural color changes, as well as the impact of post-harvest treatments. To address this gap, we conducted a study involving the storage of untreated tomatoes and those treated with ethylene scavenger (ES). ES was made from a mixture of active bamboo charcoal and $KMnO_4$. The tomatoes were packaged in cardboard containing 2 grams, 4 grams, or 6 grams of ES and then stored at room temperature for 10 days. We analyzed changes in tomato colour daily during this period. Our results indicate that changes in brightness and yellow color followed a first-order autocatalysis kinetic model, while changes in red color followed a logistic model. The most effective treatment involved 2 grams of ethylene scavenger, as indicated by the

smallest k value for changes in brightness, yellow color, and red color. The addition of ethylene scavenger effectively inhibited the decrease in tomato brightness and yellow color, while increasing red color. Overall, our findings suggest that ethylene scavenger treatment can effectively preserve tomato color during storage.

Keywords: *tomato, bamboo activated charcoal, KMnO₄, ethylene scavenger*

PENDAHULUAN

Buah tomat secara morfologis merupakan buah yang bersifat klimakterik yaitu secara alamiah akan mengalami peningkatan respirasi secara cepat pada fase pematangan. Peningkatan secara cepat ini berakibat pada pendeknya umur simpan buah klimakterik (Singh et al., 2013). Selain terkait pola respirasi, sifat klimakterik juga dicirikan dengan adanya peningkatan produksi etilen yang merupakan hormon pematangan (Yu et al., 2023). Berdasar hal tersebut, untuk menjaga kesegaran buah dan sayur, dikenal istilah *ethylene scavenger*. Teknologi *ethylene scavenger* pada prinsipnya adalah mengurangi atau menghilangkan gas etilen di sekitar buah dan sayur sehingga buah dan sayur lebih lambat dalam proses kematangan atau proses menuju tua dan layu.

Perubahan kualitas buah tomat dapat dilihat dari beberapa parameter yaitu tekstur, nilai brix, kadar vitamin C, susut bobot, dan warna. Dari penelitian (Sinesio et al., 2021) warna dan penampilan (*appearance*) merupakan dua atribut terpenting yang dipersepsi oleh konsumen. Warna merupakan kualitas visual yang dapat dinyatakan dalam indeks warna L, a, dan b (Tijskens & Evelo, 1994). Model perubahan kualitas pada pangan biasanya mengikuti kinetika orde nol atau orde satu (AL-Dairi & Pathare, 2021), sedangkan untuk perubahan warna menurut (Tijskens & Evelo, 1994) dapat mengiktui model logistik karena pada akhir masa penyimpanan, warna tomat ada kecenderungan tetap atau menurun. Penggunaan *ethylene scavenger* ditujukan untuk memperpanjang waktu perubahan dari warna hijau ke merah. Apakah perubahan hanya terjadi pada kecepatan perubahannya yang ditunjukkan oleh nilai konstanta model atau akan mengubah profil perubahan warna secara keseluruhan akan ditinjau dalam penelitian ini. Produksi etilen ditengarai bersifat autokatalitik pada buah klimakterik, yaitu peningkatan etilen dalam kemasan akan makin meningkatkan produksinya, oleh karena itu reaksi dan penyerapan etilen sekaligus berpotensi menurunkan laju pembentukannya. Hal ini menjadi dasar menggunakan model autokatalisis.

Etilen merupakan hormon pertumbuhan yang terdeteksi diproduksi oleh tanaman baik pada fase vegetatif maupun generatif (Wheeler et al., 2004), dan berperan signifikan dalam proses pematangan buah klimakterik (Awalgaonkar et al., 2020). Produksi etilen pada fase kematangan buah secara khusus mendapat perhatian karena pada beberapa jenis buah mengalami peningkatan produksi yang pesat, yaitu buah klimakterik, sementara pada buah lainnya tidak, yaitu buah non klimakterik. Produksi etilen ditengarai bersifat autokatalitik pada buah klimakterik, yaitu peningkatan etilen dalam kemasan akan makin meningkatkan produksinya, oleh karena itu pembuangan etilen dari dalam kemasan selain menurunkan akumulasi etilen sekaligus berpotensi menurunkan laju pembentukannya. Bagaimana akumulasi etilen dalam kemasan yang berisi buah saja, dan berisi buah dan adsorben, serta pengaruhnya terhadap umur simpan buah klimakterik menarik untuk dikaji dari aspek termodinamika kesetimbangan adsorpsi, fenomena perpindahan gas-solid, kinetika adsorpsi, dan neraca massa.

Salah satu bahan aktif yang terbukti mampu menghilangkan etilen dari sekitar produk adalah KMnO₄. KMnO₄ bekerja dengan cara mengoksidasi etilen menjadi senyawa lain

yang tidak memengaruhi pematangan. Pemberian KMnO_4 tidak bisa langsung diterapkan karena sifatnya yang tidak *foodgrade*, oleh karenanya diperlukan media dan pembatas untuk menghindari kontak langsung dengan buah. (Aditama, 2014) dalam penelitiannya mengatakan pemberian KMnO_4 dengan media arang aktif menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa pemberian perlakuan dalam menghambat laju respirasi, laju penurunan kekerasan, dan mempertahankan nilai kecerahan (L) buah alpukat selama penyimpanan pada suhu ruang. Umur simpan buah alpukat yang diberi perlakuan *ethylene scavenger* mampu bertahan 6-7 hari, sedangkan untuk buah alpukat tanpa perlakuan hanya mampu bertahan 5-6 hari karena pada hari ke-6 daging buah alpukat telah berwarna kecoklatan. Penggunaan *ethylene scavenger* dengan kombinasi KMnO_4 100 mg dan arang aktif 15 gram memberikan hasil yang paling baik terhadap buah alpukat. Arang aktif tidak hanya berperan sebagai pembawa, secara mandiri arang aktif juga memiliki sifat adsorpsi terhadap etilen (Ebrahimi et al., 2022; Gaikwad & Lee, 2017; Wei et al., 2021), sehingga kombinasi KMnO_4 dan arang aktif merupakan kombinasi material yang diharapkan berperan lebih optimal sebagai *ethylene scavenger*.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Arini, 2016) menyimpulkan bahwa perlakuan KMnO_4 mampu menghambat laju respirasi dan sintesis etilen buah pepaya selama penyimpanan sehingga dapat memperlambat pematangan dan memperpanjang masa simpan. Pemberian KMnO_4 dengan konsentrasi 60 ppm dapat mempertahankan susut bobot dan kadar glukosa buah pepaya sampai pengamatan hari ke-12. (Pradhana et al., 2017) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa penyimpanan pisang dengan KMnO_4 pada suhu 28°C mampu memperpanjang umur simpan selama 10 hari dibandingkan tanpa KMnO_4 yang hanya mampu bertahan selama 6 hari. KMnO_4 dapat menekan perubahan susut bobot, warna, total padatan terlarut (TPT), dan vitamin C. (Dahli et al., 2016) dalam penelitiannya juga mengemukakan bahwa KMnO_4 dengan media pembawa dari campuran tanah liat dan abu sekam padi dalam penyimpanan buah pisang mampu memperpanjang umur simpan sampai dengan tujuh hari. Perlakuan yang paling efektif yaitu perlakuan 5 gram dengan umur simpan tujuh hari.

Arang aktif bambu merupakan arang aktif berbahan baku bambu melalui proses karbonisasi dengan suhu tinggi untuk menghasilkan karbon bebas berdaya serap tinggi dan karbon berpori (Rijali et al., 2015). Arang aktif bambu cocok digunakan sebagai adsorben karena mempunyai daya adsorpsi yang baik. Arang aktif bambu memiliki densitas yang tinggi dan struktur pori-pori yang baik. Luas permukaan arang aktif bambu lebih besar daripada arang kayu, yaitu $300 \text{ m}^2/\text{gram}$, sedangkan arang kayu $30 \text{ m}^2/\text{gram}$ (Widayatno, 2017). Eksplorasi terhadap penggunaan arang aktif bambu sebagai *ethylene scavenger* belum dilakukan, oleh karena itu kombinasi arang aktif bambu dan KMnO_4 sebagai *ethylene scavenger* untuk mempertahankan kualitas buah tomat menjadi hal yang perlu dikaji dalam meningkatkan umur simpan dan mempertahankan kualitas tomat yang akan dikembangkan melalui suatu model autokatalisis perubahan kualitas tomat.

METODE PENELITIAN

Pembuatan *Ethylene Scavenger*

Pembuatan *ethylene scavenger* dimulai dengan membuat larutan KMnO_4 dengan cara mencampur 20 g KMnO_4 dan 500 ml akuades. Kemudian arang aktif bambu dicelupkan ke dalam larutan KMnO_4 selama 10 menit dan ditiriskan. Arang aktif bambu selanjutnya dikemas dengan bobot 2, 4, dan 6 gram dalam sachet $6 \times 4 \text{ cm}^2$ yang terbuat dari kain

spunbond. Kain spunbond adalah kain tanpa tenunan yang bersifat permeable atau dapat ditembus oleh partikel gas.

Penyiapan Sampel

Tomat diambil dari varietas Gustavi yang diperoleh langsung dari lahan pertanian di Kecamatan Sumbang, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Tomat dipetik dalam keadaan berwarna hijau kekuningan dengan indeks warna a -0, 9±0,3, dan massa per buah berkisar 30-40 gram. Selanjutnya disiapkan kemasan kotak kardus berukuran 15 x 15 x 7,5 cm yang terbuat dari bahan *corrugated cardboard flute tipe E*, setiap korak diisi 3 buah tomat, kemudian pada bagian dalam atas dari kotak kardus tersebut diaplikasikan *ethylene scavenger* dengan cara direkatkan menggunakan *double tape* agar tidak bersentuhan langsung dengan buah tomat, sehingga diperoleh sampel berupa tomat dalam kemasan *box cardboard* yang ditambah *ethylene scavenger*.

Sampel dibagi menjadi 4 perlakuan, yaitu E₀K (kontrol), E₁K (2 gram *ethylene scavenger film*), E₂K (4 gram *ethylene scavenger film*), dan E₃K (6 gram *ethylene scavenger film*).

Penyimpanan dan Pengamatan

Seluruh sampel disimpan pada suhu ruang (25 – 27 °C) dan RH rata-rata 75% mulai dari hari ke-0 hingga hari ke-10. Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah warna buah tomat dalam indeks warna L (Karahan), a (merah), dan b (kuning). Pengukuran warna menggunakan *colour reader* Konika Minolta CR10.

Variabel Pengamatan dan Pengukuran

Indeks warna diukur dengan menggunakan *colour reader Conica Minolta CR 10*. Komponen warna yang diukur adalah L (kecerahan), a (warna merah/positif, warna hijau/negatif), dan b (warna kuning/positif, warna biru/negatif). Pengujian dilakukan dengan menempelkan sensor pada bagian buah yang akan diukur. *Display* akan menampilkan nilai L, a, dan b masing-masing dalam empat angka.

Analisis data

Hasil pengukuran variabel warna yaitu indeks L, a, dan b dianalisis menggunakan model kinetika autokatalisis (Hanopolskyi et al., 2021), yang memiliki persamaan umum sebagai berikut:

$$\frac{d(A)}{dt} = k A^n \quad (1)$$

Dengan A adalah indeks L, a, atau b, k adalah konstanta perubahan warna, n adalah orde laju kinetika autokatalisis, dan dt adalah lamanya penyimpanan. Persamaan tersebut menyatakan bahwa perubahan warna selama penyimpanan adalah merupakan fungsi dari warna saat itu, konstanta perubahannya, dan orde laju.

Integral persamaan (1) dengan n = ½, 1, 2 akan menghasilkan profil warna seiring waktu yang mengikuti model parabolik, eksponensial, dan hiperbolik, sebagai berikut:

$$A = \frac{k}{4} t^2 + k \sqrt{A_0 t} + A_0 \quad (2)$$

$$A = A_0 e^{kt} \quad (3)$$

$$A = \frac{A_0}{1 - A_0 kt} \tag{4}$$

Dan apabila n bernilai nol, maka profil warna akan berubah secara linier selama penyimpanan, dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = A_0 - kt \tag{5}$$

Model orde satu (persamaan 2) dan orde nol (persamaan 4) ini akan digunakan untuk mengplotkan data hasil penelitian. Kinerja model dinilai dengan koefisien determinasi R² dan nilai RMSE. Pengeplotan terhadap model dilakukan dengan bantuan software Excel dan OriginPro. Langkah penentuan model, pertama, data diplotkan terhadap model orde nol dan orde satu kemudian dipilih model dengan kinerja terbaik yaitu yang memiliki R² terbesar. Apabila dari kedua model tidak diperoleh R² yang cukup besar atau kurang dari 0,75 maka penentuan model dapat dilanjutkan dengan plot terhadap model logistik (Tijssens & Evelo, 1994), dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{A_m}{1 + \frac{(A_m - A_0)}{A_0} e^{-A_m kt}} \tag{6}$$

Dengan A adalah indeks warna L, a, atau b, A_m adalah nilai maksimal dari A, A₀ adalah nilai awal dari A, k (/waktu) adalah konstanta model, dan t adalah waktu penyimpanan atau pengamatan.

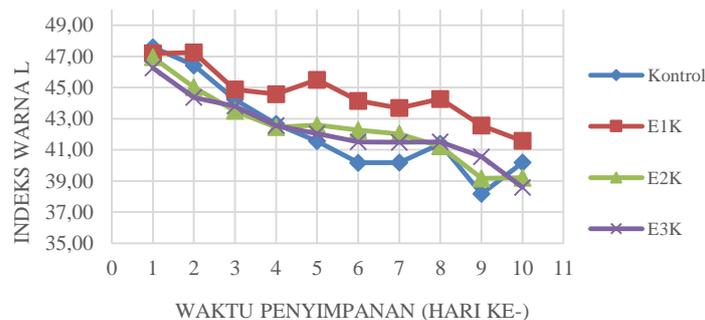
HASIL DAN PEMBAHASAN

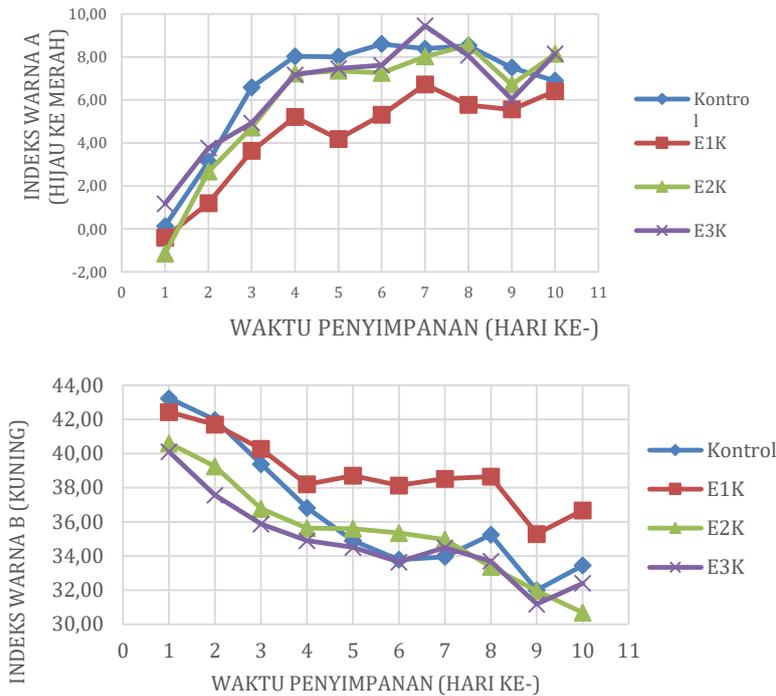
Indeks warna

Perubahan warna tomat dinyatakan dalam system warna Hunter yaitu dalam nilai L, a, dan b. Nilai a merupakan indeks untuk warna hijau (negatif a) hingga merah (positif a). Nilai Hunter b berkisar dari biru (negatif b) hingga kuning (positif b). Menurut (Thai et al., 1990), warna yang kompleks dapat dinyatakan dalam L, hue atau chroma. Namun demikian dapat juga diwakili oleh salah satu indeks yang secara visual memiliki korelasi tinggi dengan objek, seperti merah (indeks warna a) untuk tomat. Nilai tersebut harus cukup untuk menggambarkan dan memprediksi klasifikasi ukuran dan warna tomat. Untuk menunjukkan fenomena menguning sebelum menjadi merah, harus ada nilai b. Dengan dasar sini, perilaku nilai warna yang diamati, dan dievaluasi dengan model dibatasi pada nilai a dan b, serta L untuk melihat kecerahan tomat.

Model Kinetika Autokatalisis Perubahan Warna

Perubahan warna tomat selama pengamatan 10 hari dapat dilihat pada Gambar 1.





Gambar 1. Perubahan indeks warna L, a, dan b pada Tomat.

Perilaku perubahan warna yang ditunjukkan oleh grafik adalah terjadi penurunan kecerahan (L) peningkatan warna merah (a), dan penurunan warna kuning (b). Terlihat, perlakuan 2 gram ES menghasilkan penurunan warna kuning dan kecerahan terkecil, dan demikian pulan untuk peningkatan warna merah, tomat dengan perlakuan ini paling lambat untuk berubah menjadi merah tua. Fenomena ini menunjukkan perlakuan dapat mempertahankan stabilitas kualitas tomat atau memperpanjang masa simpan. Selanjutnya, ecenderungan kurva masing-masing indeks warna selanjutnya diplotkan terhadap model kinetika orde nol dan satu, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Model kinetika perubahan warna tomat dalam indeks a,b, L

Indeks Warna	Perlakuan	Kinetika Orde Nol		Kinetika Orde Satu	
		Model empiris	R ²	Model empiris	R ²
Nilai a	Kontrol	$A = 0,624t + 3,1457$	0,46	$\ln A = 0,2643t + 0,0949$	0,38
	E1K	$A = 0,6565t + 0,7437$	0,74	$\ln A = 0,1867t + 0,3172$	0,68
	E2K	$A = 0,8089t + 1,5006$	0,64	$\ln A = 0,1735t + 0,7173$	0,59
	E3K	$A = 0,6142t + 3,0008$	0,57	$\ln A = 0,1461t + 0,9276$	0,51
Nilai b	Kontrol	$A = -1,141t + 42,748$ $A = -0,6131t$	0,82	$\ln A = -0,0305t + 3,7598$	0,83
	E1K	$+42,126$	0,93	$\ln A = -0,0149t + 3,738$	0,93
	E2K	$A = -0,9663t + 40,728$	0,94	$\ln A = -0,0273t + 3,714$	0,94
	E3K	$A = -0,7701t + 39,07$	0,84	$\ln A = -0,0218t + 3,6682$	0,85
Nilai L	Kontrol	$A = -0,8944t + 47,176$	0,82	$\ln A = -0,0209t + 3,8563$	0,84
	E1K	$A = -0,5488t + 47,584$	0,85	$\ln A = -0,0123t + 3,864$	0,85

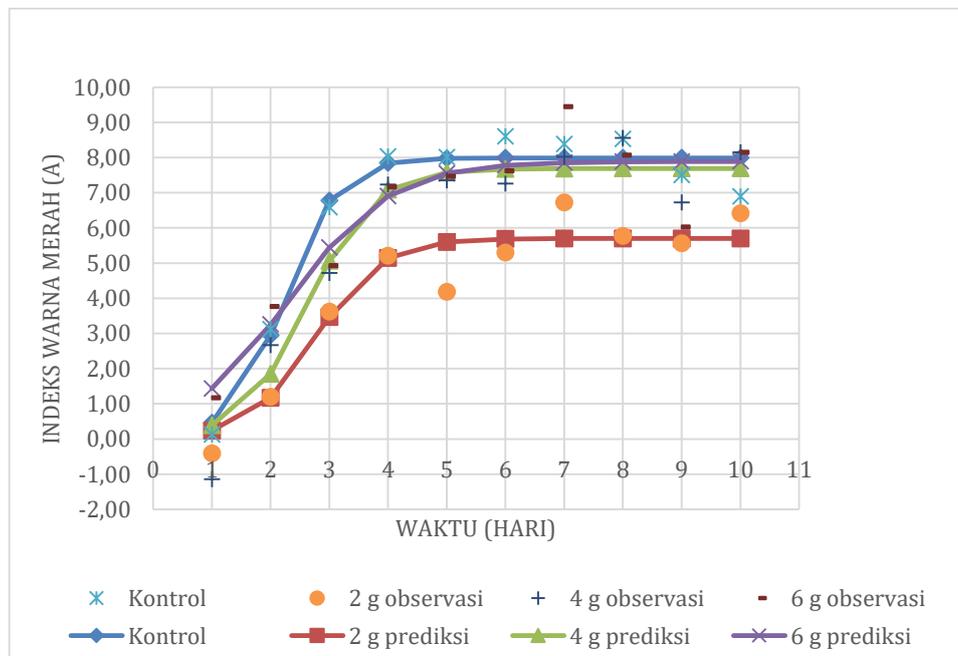
E2K	$A = -0,7492t + 46,56$	0,91	$3,8434$	$\ln A = -0,0176t +$	0,91
E3K	$A = -0,6723t + 45,967$	0,91	$3,8302$	$\ln A = -0,0159t +$	0,91

Dari pengeplotan terhadap model kinetika, nilai kesesuaian data terhadap model yang dinyatakan dalam nilai R^2 untuk indeks warna a, ternyata cukup kecil yaitu kurang dari 0,75. Karena hal ini maka data indeks warna a diplotkan ulang terhadap model kinetika logistik, dan diperoleh hasil seperti dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter model logistic indeks warna merah (a)

Indeks Warna	Perlakuan	Parameter Model Logistik				
		A_m	A_0	k	R^2	RMSE
Nilai a	Kontrol	7,99	0,05	0,28	0,96	0,50
	E1K	5,70	0,04	0,31	0,91	0,65
	E2K	7,69	0,07	0,23	0,94	0,73
	E3K	7,89	0,52	0,15	0,88	0,82

Model logistik ternyata menghasilkan nilai koefisien determinasi yang jauh lebih besar. Hal ini dapat dijelaskan bahwa setelah mencapai puncak kematangan, tidak terjadi lagi peningkatan warna merah, namun warna merah cenderung tetap hingga beberapa waktu ke depan. Nilai prediksi dari warna merah berdasarkan model logistik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Nilai indeks warna L, a, dan b observasi dan prediksi berdasar model logistik.

Dari Gambar terlihat, perlakuan pemberian ES menghasilkan laju perubahan warna merah yang semuanya lebih lambat dibanding kontrol, namun perilaku perubahan warna mempunyai kecenderungan kurva yang masih serupa, yaitu mengikuti model logistikal. Hasil model logistikal (atau fungsi sigmoid) ini sesuai dengan temuan sebelumnya oleh (Tijskens & Evelo, 1994), dan penelitian lain oleh (Schouten et al., 2007) pada perubahan warna hijau tomat, namun Schouten tidak mendapatkan model sigmoid pada perubahan warna merah karena singkatnya waktu pengamatan. Perkiraan bahwa mungkin terjadi perilaku perubahan warna tidak terbukti, yang berubah hanya lajunya saja, sedangkan pola perubahannya masih sama. Dalam penelitian ini puncak warna merah kontrol adalah 8 dan terjadi pada sekitar hari ke-4. Puncak warna merah untuk perlakuan 2 adalah 5 dan terjadi pada hari ke-5 dan bertahan hingga hari ke-10. Warna merah maksimum pada perlakuan 4 dan 6 gram adalah 8 dan terjadi pada hari ke-7 dan bertahan hingga hari ke-10.

KESIMPULAN

Hasil penerapan model autokatalisis menunjukkan penurunan warna kuning dan kecerahan mengikuti model kinetika orde satu, sedangkan peningkatan warna merah mengikuti model logistik. Perlakuan massa *ethylene scavenger* yang paling efektif ditunjukkan pada penggunaan 2 gram *ethylene scavenger*, yang diindikasikan oleh nilai k terkecil pada perubahan parameter kecerahan, warna kuning, dan warna merah tomat. Secara keseluruhan dapat disimpulkan, penambahan *ethylene scavenger* berbahan arang aktif bambu dan KMnO_4 mampu mempertahankan warna tomat, yaitu menghambat penurunan kecerahan tomat, kenaikan warna merah tomat, dan penurunan nilai warna kuning tomat selama penyimpanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Pertanian Unsoed, terutama Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian, atas semua fasilitas untuk terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, F. Z. (2014). *Pengaruh penggunaan KMnO_4 sebagai bahan penyerap Etilen selama penyimpanan Buah Alpukat (*Persea americana*, Mill)*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/71902>
- AL-Dairi, M., & Pathare, P. B. (2021). Kinetic modeling of quality changes of tomato during storage. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 23(1), Article 1. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/6423>
- Arini, R. L. (2016). Penggunaan Kalium Permanganat (KMnO_4) Untuk Menunda Pematangan Buah Pepaya (*Carica papaya* L. var. Bangkok). *Jurnal Protobiont*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.26418/protobiont.v4i3.13296>
- Awalgaonkar, G., Beaudry, R., & Almenar, E. (2020). *Ethylene-removing packaging: Basis for development and latest advances*. 28. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12636>

- Dahli, A., Haryanto, A., & Suhandy, D. (2016). Studi Penggunaan KMnO₄ untuk Memperpanjang Umur Simpan Pisang Muli. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 5(2), Article 2. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP/article/view/1308>
- Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Ahmadi, S., Mortazavian, A. M., Abdolshahi, A., Rafiee, S., & Farhoodi, M. (2022). Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(5), 4599–4610. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03485-x>
- Gaikwad, K. K., & Lee, Y. S. (2017). Current Scenario of Gas Scavenging Systems Used in Active Packaging—A Review. *Korean Journal of Packaging Science & Technology*, 23(2), 109–117. <https://doi.org/10.20909/kopast.2017.23.2.109>
- Hanopolskyi, A. I., Smaliak, V. A., Novichkov, A. I., & Semenov, S. N. (2021). Autocatalysis: Kinetics, Mechanisms and Design. *ChemSystemsChem*, 3(1), e2000026. <https://doi.org/10.1002/syst.202000026>
- Pradhana, A. Y., Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, M. T. P. I. P. B., Hasbullah, R., Purwanto, Y. A., & Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, M. T. P. I. P. B. (2017). *Pengaruh Penambahan Kalium Permanganat terhadap Mutu Pisang (CV. Mas Kirana) pada Kemasan Atmosfir Termodifikasi Aktif*. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/1472>
- Rijali, A., Malik, U., & Zulkarnain, Z. (2015). *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Bambu Betung dengan Aktivasi Menggunakan Activating Agent H₂O* (Nomor 1) [Journal:eArticle, Riau University]. <https://www.neliti.com/publications/183719/>
- Schouten, R. E., Huijben, T. P. M., Tijskens, L. M. M., & van Kooten, O. (2007). Modelling quality attributes of truss tomatoes: Linking colour and firmness maturity. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 298–306. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.011>
- Sinesio, F., Cammareri, M., Cottet, V., Fontanet, L., Jost, M., Moneta, E., Palombieri, S., Peperario, M., Romero del Castillo, R., Saggia Civitelli, E., Spigno, P., Vitiello, A., Navez, B., Casals, J., Causse, M., Granell, A., & Grandillo, S. (2021). Sensory Traits and Consumer's Perceived Quality of Traditional and Modern Fresh Market Tomato Varieties: A Study in Three European Countries. *Foods*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods10112521>
- Singh, R., Giri, S. K., & Kulkarni, S. D. (2013). Respiratory behavior of turning stage mature tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under closed system at different temperature. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 5(2), 78–84.
- Thai, C. N., Shewfelt, R. L., & Garner, J. C. (1990). *Tomato Color Changes under Constant and Variable Storage Temperature: Empirical Models*. <https://doi.org/10.13031/2013.31374>
- Tijskens, L. M. M., & Evelo, R. G. (1994). Modelling colour of tomatoes during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 4(1), 85–98. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90010-8)
- Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., & Xiao, H. (2021). Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 337, 127750. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750>
- Wheeler, R. M., Peterson, B. V., & Stutte, G. W. (2004). Ethylene production throughout growth and development of plants. *HortScience*, 39(7), 1541–1545. <https://doi.org/10.21273/hortsci.39.7.1541>

- Widayatno, T. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), Article 1. <https://journals.ums.ac.id/index.php/jtba/article/view/JTBA-0004>
- Yu, W., Ma, P., Sheng, J., & Shen, L. (2023). Postharvest fruit quality of tomatoes influenced by an ethylene signaling component during long-term cold storage. *Food Chemistry*, 136087. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136087>