

Prediksi Umur Simpan Selada Romaine Potong (*Lactuca Sativa* Var. *Longifolia*) Berdasarkan CIE a^* Menggunakan Metode Arrhenius

Shelf Life Prediction Model of Cut Romaine Lettuce (*Lactuca Sativa* Var. *Longifolia*) Based on CIE a^* Using Arrhenius Method

Drupadi Ciptaningtyas*, Shitah Khoerunnisa, Lukito Hasta Pratopo, Ahmad Thoriq

Universitas Padjadjaran, Teknik Pertanian, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia, 45360

*Corresponding author: drupadi.ciptaningtyas@unpad.ac.id

Abstract: Fresh-cut romaine lettuce undergoes physical changes that make it more susceptible to spoilage and reduce its shelf life. To maintain its quality and extend shelf life, several technologies can be applied, including fine-bubble washing, blue LED irradiation, and low-temperature storage. Estimating the shelf life under these treatments is essential, as shelf life is a critical factor in food product quality and safety. This study aimed to predict the shelf life of fresh-cut romaine lettuce treated with fine-bubble washing and blue LED irradiation using the Arrhenius model. Shelf life estimation was conducted under various storage conditions: room temperature, 8°C, and 5°C for up to 6 days. The Arrhenius model was used based on the CIE a^* color parameter as an indicator of quality degradation. The results showed that the optimal treatment for extending shelf life was storage at 5°C without fine-bubble washing or LED irradiation, which resulted in an estimated shelf life of up to 42 days.

Keywords: Arrhenius; blue LED irradiation; fine-bubbles; romaine lettuce, shelf life

1. PENDAHULUAN

Kesadaran masyarakat untuk menerapkan pola hidup sehat terus meningkat. Tubuh yang sehat dapat dicapai melalui pengaturan asupan makanan dan aktivitas fisik yang cukup (Nathaniel et al., 2018). Mengonsumsi sayur dan buah adalah salah satu syarat untuk memenuhi kebutuhan gizi seimbang, terutama bagi anak-anak, karena memberikan dampak positif bagi pertumbuhan dan perkembangan mereka (Ayesha et al., 2020). Salad *ready-to-eat* atau salad siap santap menjadi salah satu solusi praktis bagi masyarakat untuk mengonsumsi sayuran segar tanpa memerlukan waktu lama dalam pengolahan. Selada romaine merupakan salah satu jenis sayuran yang paling umum dijadikan salad. Produk salad siap santap yang beredar di pasaran umumnya telah melalui proses *minimal processing*, salah satunya dalam bentuk *fresh-cut*.

Menurut USDA (2019), kandungan nutrisi dalam 100 gr selada romaine meliputi air sebanyak 94,6 gram, protein 1,23 gram, kalsium 33 gram, dan kalium 1247 mg. Selada romaine diketahui dapat merangsang pembentukan sel darah putih dan sel darah merah di sumsum tulang, serta berpotensi menurunkan resiko kanker, tumor, katarak, dan anemia (Lintang et al., 2015). Kandungan nutrisi tersebut menjadikan selada romaine sebagai sayuran yang penting dikonsumsi oleh masyarakat.

Produk *fresh-cut* merupakan sayuran yang telah mengalami pengolahan minimal seperti pencucian, sortasi, pengupasan, pemotongan/pengirisan, sanitasi, pembilasan, pengeringan, hingga pengemasan. Konsumsi makanan sehat dan siap santap seperti *minimally processed vegetables* (MPV) menunjukkan tren peningkatan (Prakash et al., 2018). Namun, produk *fresh-cut* rentan mengalami kerusakan yang dapat memicu pertumbuhan bakteri dan patogen (Huang et al., 2019). Hal ini mendorong pengembangan dan penerapan teknologi baru untuk menjaga mutu dan keamanan (Shabbir et al., 2019).

Beberapa solusi untuk memperpanjang umur simpan produk pengolahan minimal antara lain pencucian menggunakan fine-bubbles, penyinaran menggunakan LED biru, serta penyimpanan pada suhu rendah. Menurut Hakim et al., (2015), penyinaran dengan LED biru efektif meningkatkan fotosintesis karena memiliki panjang gelombang yang sesuai. Penggunaan iradiasi LED biru juga terbukti meningkatkan kadar klorofil pada selada romaine (Karami et al., 2022), karena klorofil menyerap cahaya biru secara optimal, sehingga proses fotosintesis berlangsung lebih efisien (Syafriyudin & Ledhe, 2015).

Pencucian merupakan tahap penting dalam pengolahan sayuran untuk menghindari kontaminasi bakteri (Anggreni & Harlita, 2023). Ushida et al. (2017) menyatakan bahwa pencucian menggunakan fine-bubbles mampu



mengurangi pertumbuhan mikroorganisme pada sayuran. Sementara itu, penyimpanan pada suhu rendah mampu menurunkan laju respirasi dan transpirasi, sehingga dapat memperpanjang umur simpan dengan tetap mempertahankan mutu, bobot, dan nilai jual selada romaine (Mamonto et al., 2019). Model Arrhenius merupakan metode yang dapat digunakan untuk menghitung pengaruh suhu terhadap laju kerusakan produk (Syska et al., 2023). Suhu menjadi tolak ukur utama dalam pengaplikasian model ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memprediksi umur simpan selada romaine potong yang diberi perlakuan pencucian *fine-bubbles* dan iradiasi LED biru menggunakan metode Arrhenius, serta memberikan rekomendasi perlakuan yang paling efektif dalam memperpanjang umur simpannya

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian berlangsung selama empat bulan. Bertempat di Laboratorium Pasca Panen dan Teknologi Proses Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran.

Alat dan Bahan

Alat yang akan digunakan untuk mengukur CIE a^* pada penelitian ini, yaitu smartphone (Samsung A50s, Korea), untuk mengambil gambar selada romaine; *black box*, untuk menyimpan selada romaine yang akan diambil gambarnya; laptop (Laptop Hp, Model 14-bx092TX, China), untuk mengolah data; Adobe photoshop CS6, untuk melihat nilai a^* pada selada romaine.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah selada romaine (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) yang dibeli sejumlah 3 kg. Pengiriman objek penelitian menggunakan kendaraan tanpa pendingin. Selada romaine dibungkus menggunakan plastik selama proses pengiriman. Bahan lain yang digunakan adalah kemasan plastik (PP (*Polypropylene*), 8x5cm, tebal 0,03 cm).

Perlakuan

Perlakuan dalam penelitian ini meliputi pencucian menggunakan *fine-bubbles*, jenis warna LED yang digunakan, durasi penyinaran, serta suhu penyimpanan, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan Terhadap Sampel

No. Perlakuan	Pencucian	LED	Suhu	Ulangan		
				1	2	3
1	A	C	E	ACE1	ACE2	ACE3
2	A	C	F	ACF1	ACF2	ACF3
3	A	C	G	ACG1	ACG2	ACG3
4	A	D	E	ADE1	ADE2	ADE3
5	A	D	F	ADF1	ADF2	ADF3
6	A	D	G	ADG1	ADG2	ADG3
7	B	C	E	BCE1	BCE2	BCE3
8	B	C	F	BCF1	BCF2	BCF3
9	B	C	G	BCG1	BCG2	BCG3
10	B	D	E	BDE1	BDE1	BDE3
11	B	D	F	BDF1	BDF1	BDF1
12	B	D	G	BDG1	BDG2	BDG3

Keterangan:

A = Pencucian menggunakan *fine bubbles*

B = Pencucian tanpa *fine bubbles*

C = Tanpa Iradiasi

D = Iradiasi LED biru (10 menit)

E = Penyimpanan pada suhu ruang

F = Penyimpanan pada suhu 8°C

G = Penyimpanan pada suhu 5°C

Pengamatan dilakukan sebanyak empat kali dengan interval setiap 48 jam selama 6 hari, yaitu pada hari ke-0, ke-2, ke-4, dan ke-6 untuk mengukur nilai parameter CIE a* dengan sampel yang digunakan sebanyak 144 sample. Penetapan hari pengamatan tersebut didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan yang telah dilakukan sebelumnya.

Prosedur Pengukuran Kualitas Air

Parameter yang diuji untuk menilai kualitas air pencucian selada iris meliputi kandungan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen / DO*), pH, dan suhu air. Pengukuran dilakukan pada dua jenis air: air yang diberi perlakuan *fine-bubbles* selama 10 menit dan air tanpa perlakuan *fine-bubbles*. Selada direndam dalam masing-masing jenis air pencuci tersebut selama 10 menit. Durasi perendaman ditentukan berdasarkan hasil penelitian pendahuluan yang telah dilakukan.

Prosedur Prediksi Umur Simpan

Prediksi umur simpan selada romaine potong dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model Arrhenius yang diterapkan pada metode *Accelerated Shelf-Life Test (ASLT)*. Model Arrhenius digunakan untuk menganalisis pengaruh perlakuan pencucian *fine-bubbles*, penyinaran LED, dan suhu penyimpanan terhadap sifat fisik dan sifat kimia produk. Prediksi umur simpan dilakukan dengan mengukur laju penurunan parameter mutu produk selama penyimpanan. Prediksi umur simpan dengan model Arrhenius dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Persamaan ordo nol:

$$t = \frac{(C_t - C_o)}{K} \quad (1)$$

Persamaan ordo satu:

$$t = \frac{(C_o - C_t)}{K} \quad (2)$$

dimana:

t = umur simpan

C_o = nilai atribut mutu di awal (hari ke-0)

C_t = nilai atribut mutu di akhir (hari ke-1)

K = konstanta penurunan mutu

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendugaan umur simpan selada romaine potong dilakukan dengan pendekatan model Arrhenius, menggunakan parameter CIE a* sebagai acuan pemodelan. Pemodelan dilakukan dengan menerapkan kinetika reaksi ordo nol dan ordo satu untuk menentukan model terbaik dalam memperkirakan umur simpan. Pemilihan ordo reaksi ditentukan berdasarkan nilai koefisien determinasi (*R*²) dari setiap persamaan regresi linear (Pongajow et al., 2016).

Regresi linear digunakan untuk menganalisis pengaruh suhu terhadap parameter mutu CIE a* .. Grafik dibuat dengan sumbu x sebagai waktu penyimpanan (hari) dan sumbu y sebagai nilai CIE a*. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan regresi linear dalam bentuk *y = bx + a* (Maria et al., 2017), yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan regresi linear perubahan nilai CIE a* total pada selada romaine yang diberi *treatment fine-bubbles* dan iradiasi LED biru selama masa penyimpanan pada suhu; ruang, 8°C, dan 5°C.

Perlakuan		Persamaan Regresi Linear
Perlakuan	Suhu Penyimpanan (°C)	
Fine Bubbles, Tanpa LED	Ruang	y = 0,1416x + 10,592
	8	y = 0,6678x - 8,6456
	5	y = -0,0381x - 6,4951
Fine Bubbles, LED	Ruang	y = -0,2946x - 8,6833
	8	y = 0,0673x - 6,2513
	5	y = 0,936x - 12,429
Tanpa fine bubbles, Tanpa LED	Ruang	y = -0,1533x + 2,8503
	8	y = -0,0068x + 2,2331
	5	y = -0,0538x + 2,2569
Tanpa fine bubbles, LED	Ruang	y = -0,0704x + 2,3549
	8	y = 0,1152x + 1,9435
	5	y = 0,0288x + 1,8081

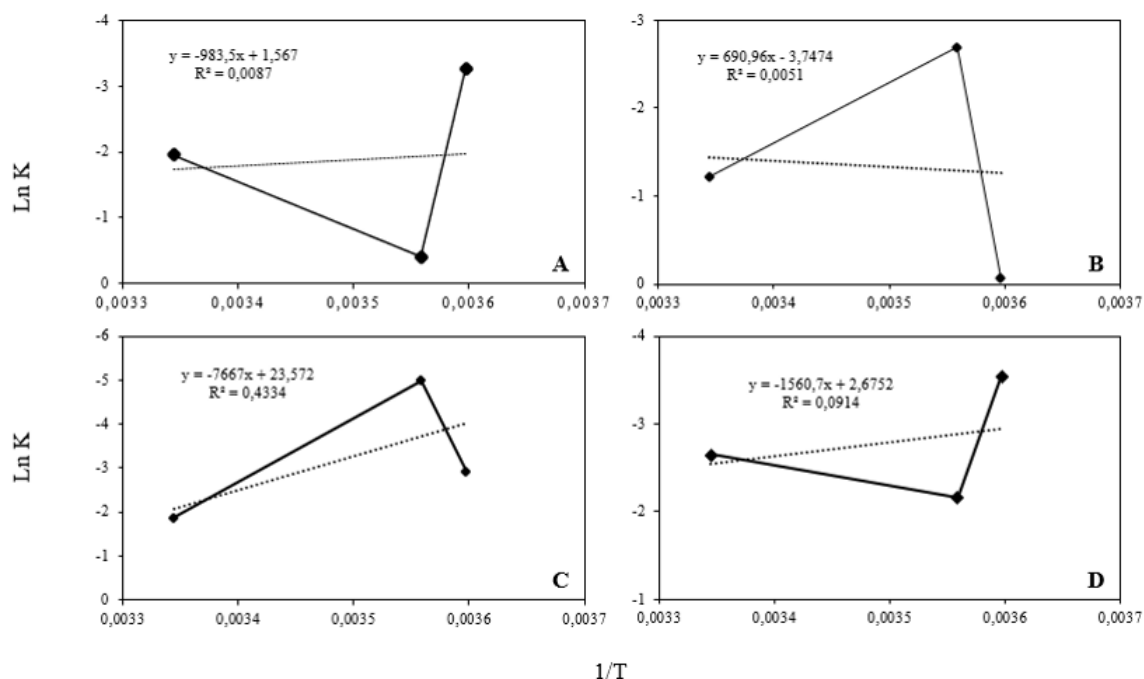


Dalam persamaan pada Tabel 2, nilai b mewakili slope kurva dan digunakan untuk perhitungan laju reaksi (k). Penentuan ordo reaksi didasarkan pada nilai R^2 tertinggi dari persamaan regresi. Nilai slope (k), *intercept*, dan R^2 dari masing-masing perlakuan (*fine-bubbles* dan iradiasi LED biru dengan variasi penyimpanan (suhu ruang, 8°C, dan 5°C) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai slope k , Intercept, dan R^2 pada selada romaine yang diberi *treatment fine-bubbles* dan iradiasi LED biru yang disimpan pada suhu; ruang, 8°C, dan 5°C.

Perlakuan		Slope (k)	Intercept	R^2
Perlakuan	Suhu Penyimpanan(°C)			
Fine Bubbles, Tanpa LED	Ruang	0,1416	-10,592	1%
	8	0,6678	-8,6456	52%
	5	-0,0381	-6,4951	0,09%
Fine Bubbles, LED	Ruang	-0,2946	-8,6833	3%
	8	0,0673	-6,2513	0,36%
	5	0,9360	-12,429	96%
Tanpa fine bubbles, Tanpa LED	Ruang	-0,1533	2,8503	74%
	8	-0,0068	2,2331	0,20%
	5	-0,0538	2,2569	11%
Tanpa fine bubbles, LED	Ruang	-0,0704	2,3549	15%
	8	0,1152	1,9435	31%
	5	0,0288	1,8081	8%

Selanjutnya, kurva hubungan antara pra-eksponensial k ($\ln k$) dengan invers suhu ($1/T$) dibuat untuk mendapatkan persamaan linear $y = a + bx$ (Surahman, et al., 2020), yang digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi (E_a) dan faktor laju reaksi k . Nilai T (suhu) perlu dikonversi dari °C menjadi Kelvin (K). Plot hubungan Arrhenius berdasarkan parameter CIE a^* pada setiap perlakuan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot Arrhenius parameter perubahan CIE a^* pada *treatment: Fine-bubbles* dan tanpa iradiasi LED (A), *Fine-bubbles* dan iradiasi LED (B), Tanpa *fine-bubbles* dan tanpa iradiasi LED (C), Tanpa *fine-bubbles* dan iradiasi LED (D).

Tabel 4. Nilai konstanta laju penurunan mutu (k) selada romaine pada selada romaine yang diberi *treatment fine-bubbles* dan iradiasi LED biru selama masa penyimpanan pada suhu; ruang, 8°C, dan 5°C.

Perlakuan		k
Perlakuan	Suhu Penyimpanan (°C)	
Fine Bubbles, Tanpa LED	Ruang	0,179
	8	0,145

Perlakuan		k
Perlakuan	Suhu Penyimpanan (°C)	
Fine Bubbles, LED	5	0,139
	Ruang	0,238
	8	0,276
Tanpa fine bubbles, Tanpa LED	5	0,283
	Ruang	0,126
	8	0,024
Tanpa fine bubbles, LED	5	0,018
	Ruang	0,078
	8	0,056
	5	0,053

Menurut model Arrhenius, nilai k merupakan faktor penting dalam menentukan umur simpan produk (Purnamayati et al., 2019). Nilai k terkecil ditemukan pada selada romaine yang tidak diberi perlakuan *fine-bubbles* maupun iradiasi LED, dan disimpan pada suhu 5°C. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan tersebut menghasilkan penurunan mutu yang paling lambat. Dengan demikian, semakin rendah suhu penyimpanan maka umur simpan produk akan semakin lama karena laju kerusakan produk lebih lambat.

Prediksi umur simpan dihitung berdasarkan nilai k menggunakan persamaan 1. Hasil prediksi umur simpan selada romaine potong dari masing-masing perlakuan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Prediksi umur simpan selada romaine potong yang diberi *treatment fine-bubbles* dan iradiasi LED biru selama masa penyimpanan pada suhu; ruang, 8°C, dan 5°C berdasarkan model Arrhenius.

Perlakuan		Umur Simpan (Hari)
Perlakuan	Suhu Penyimpanan (°C)	
Fine Bubbles, Tanpa LED	Ruang	6,691
	8	8,260
	5	8,578
Fine Bubbles, LED	Ruang	17,259
	8	14,884
	5	14,495
Tanpa fine bubbles, Tanpa LED	Ruang	6,069
	8	31,507
	5	42,294
Tanpa fine bubbles, LED	Ruang	1,062
	8	1,484
	5	1,575

Berdasarkan nilai CIE a^* , selada romaine yang tidak diberi pencucian *fine-bubbles* memiliki umur simpan lebih pendek dibandingkan yang diberi pencucian *fine-bubbles*. Namun, perlakuan iradiasi LED biru menunjukkan hasil sebaliknya: umur simpan lebih tinggi justru ditemukan pada selada tanpa iradiasi LED. Hasil tersebut menunjukkan bahwa iradiasi LED biru dan pencucian *fine-bubbles* tidak memberikan efek positif terhadap perpanjangan umur simpan selada romaine potong.

Pemodelan dengan Arrhenius juga menunjukkan bahwa suhu penyimpanan yang lebih rendah memberikan umur simpan lebih panjang. Penyimpanan produk pada suhu rendah menekan laju respirasi dan memperlambat kerusakan produk (Mamonto et al., 2019). Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa selada romaine potong yang disimpan pada suhu 5°C memiliki umur simpan yang paling panjang yaitu 42 hari. Sebaliknya, penyimpanan pada suhu ruang menghasilkan umur simpan yang paling pendek diantara ketiga suhu penyimpanan, yaitu selama 1 hari. Suhu ruang memicu pertumbuhan kapang yang mempercepat kerusakan selada romaine, sesuai dengan penelitian Handayani & Joko (2000), yang menyatakan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan kapang adalah 20-30°C. Berdasarkan hasil tersebut, rekomendasi perlakuan terbaik untuk memperpanjang umur simpan selada romaine adalah tanpa pencucian *fine-bubbles*, tanpa iradiasi LED, dan penyimpanan pada suhu 5°C.

Kualitas air yang digunakan untuk pencucian selada romaine potong merupakan indikator penting pada penelitian ini. Perlakuan *fine-bubbles* diharapkan dapat meningkatkan kualitas air dari sisi *dissolved oxygen* (DO), pH, dan suhu. Hasil pengukuran kualitas air sebelum dan setelah pemberian *fine-bubbles*, serta 10 menit setelah pemberian *fine-bubbles* disajikan pada Tabel 6.



Tabel 6. Hasil pengukuran kualitas air dengan parameter dissolved oxygen, pH, dan suhu; sebelum pemberian fine-bubbles, setelah pemberian fine-bubbles, dan 10 menit setelah pemberian fine-bubbles.

Kualitas Air	Dissolved Oxygen (mg/L)	pH	Suhu Air (°C)
Sebelum <i>Fine-Bubbles</i>	5,4	7,7	26,6
Setelah <i>Fine-Bubbles</i>	16,0	7,7	26,7
Setelah 10 menit <i>Fine-Bubbles</i>	12,3	7,8	26,7

Sebelum pemberian *fine-bubbles*, kadar DO tercatat sebesar 5,4 mg/L dan meningkat menjadi 16 mg/L setelah perlakuan. Setelah 10 menit sejak pemberian *fine-bubbles*, nilai DO pada air turun sebesar 4,7 mg/L menjadi 12,3 mg/L. Berdasarkan pengukuran pH, air tetap dalam kondisi netral. Suhu air juga cenderung stabil selama proses berlangsung.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian *fine-bubbles* dapat meningkatkan kadar DO dalam air dan mempertahankan kestabilan pH dan suhu. Mahasri et al., (2018) melaporkan bahwa *fine-bubbles* mampu meningkatkan DO dari 6,5 mg/l menjadi 25 mg/L. Selain itu, teknologi ini berkontribusi terhadap proses pengolahan air secara fisik, kimia, dan biologi (Takahashi et al., 2021). Konsentrasi DO yang tinggi mencerminkan kemampuan air dalam mendegradasi zat pencemar, sehingga efektivitas pencucian sayuran meningkat (Aruan & Siahaan, 2017).

Waktu perlakuan *fine-bubbles* selama 10 menit dipilih berdasarkan hasil penelitian pendahuluan, yang menunjukkan bahwa peningkatan DO setelah durasi tersebut tidak lagi signifikan. Hal ini sejalan dengan temuan Harfadli et al. (2019) bahwa durasi aerasi yang lebih lama hanya memberikan peningkatan DO yang tidak signifikan. Berdasarkan nilai pH, air yang digunakan tergolong air bersih sesuai standar baku mutu 6,5-9,0 (Munfiah et al., 2013).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kombinasi perlakuan terbaik untuk memperpanjang umur simpan selada romaine potong adalah pencucian tanpa *fine-bubbles*, tanpa iradiasi LED, dan penyimpanan pada suhu rendah (5°C). Perlakuan tersebut menghasilkan laju penurunan mutu (nilai k) paling rendah dan umur simpan terpanjang, yaitu selama 42 hari, yang menunjukkan bahwa penyimpanan pada suhu dingin lebih efektif dalam memperlambat kerusakan dibandingkan penggunaan teknologi pencucian *fine-bubbles* dan iradiasi LED biru.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) melalui program pendanaan Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) dengan nomor kontrak 124/TV/KS/11/2023 dan 5994/UN6.3.1/PT.00/2023 yang telah memberikan dukungan finansial dalam pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anggreni, M., & Harlita, T. D. (2023). Gambaran Angka Lempeng Total Pada Sayur Lalapan Dengan Menggunakan Teknik Pencucian Yang Berbeda. *Borneo Journal of Science and Mathematics Education*, 3(1), 37–46. <https://doi.org/10.21093/bjsme.v3i1.6214>
- Aruan, D. G. R., & Siahaan, M. A. (2017). Penentuan Kadar Dissolved Oxygen (DO) pada Air Sungai Sidoras di Daerah Butar Kecamatan Pagaran Kabupaten Tapanuli Utara. *Jurnal Analis Labratorium Medik*, 2(1).
- Ayesha, K., Indriani, Y., & Viantimala, B. (2020). Gaya Hidup dalam Mengonsumsi Sayur dan Buah serta Tingkat Kecukupan Gizi Anak Usia Sekolah Dasar di Kota Metro. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 8(3). <https://doi.org/10.23960/jiia.v8i3.4441>
- Hakim, R. M. A., Hendrawan, Y., & Lutfi, M. (2015). Rancang Bangun Plant Factory untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi Hijau (*Brassica Rapa* var. *Parachinensis*) dengan Menggunakan Light Emitting Diode Merah dan Biru. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 3(3), 382–390.
- Handayani, S., & Joko, S. (2000). *Analisis Keragaman Kapang Pencemaran Pakan Unggas*. Balitbang Mikrobiologi.
- Harfadli, M. M., Saud, M. N., & Nikmah, I. C. (2019). Estimasi Koefisien Transfer Oksigen (KLa) Pada Metode Aerasi Fine Bubble Diffuser. Studi Kasus : Pengolahan Air Lindi TPA Manggar Kota Balikpapan. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 5(2). <https://doi.org/10.32487/jst.v5i2.662>
- Huang, J., Luo, Y., Zhou, B., Zheng, J., & Nou, X. (2019). Growth and survival of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* on fresh-cut produce and their juice extracts: Impacts and interactions of food matrices and temperature abuse conditions. *Food Control*, 100, 300–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.035>

- Karami, A., Ansari, N. A., & Hasibi, P. (2022). Evaluation of some chemical/biochemical compounds of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) to the quality of radiant light in floating system. *Scientia Horticulturae*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111319>
- Lintang, A., Ariyantoro, H., & Hardiatmi, S. (2015). Pengaruh Macam Media Tanam dan Konsentrasi Pupuk Daun Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada (*Lactuca Sativa*, L.). *Jurnal Inovasi Pertanian*, 14(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.33061/innofarm.v14i1.965>
- Mahasri, G., Saskia, A., Apandi, P. S., Dewi, N. N., Rozi, & Usuman, N. M. (2018). Development of an aquaculture system using nanobubble technology for the optimation of dissolved oxygen in culture media for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/137/1/012046>
- Mamonto, O. I. C., Lengkeyi, L. C. C. E., & Wenur, F. (2019). Analisis Penggunaan Beberapa Jenis Kemasan Plastik terhadap Umur Simpan Sayur Selada (*Lactuca Sativa* L.) selama Penyimpanan Dingin. *Cocos*, 11(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.35791/cocos.v4i4.29974>
- Maria, S., Budaraga, I. K., & Hermalena, L. (2017). Pendugaan Umur Simpan Minuman Corens dengan Metode Arrhenius. *UNES JOURNAL MAHASISWA PERTANIAN*, 1(1), 34–42.
- Munfiah, S., Nurjazuli, & Setiani, O. (2013). Kualitas Fisik dan Kimia Air Sumur Gali dan Sumur Bor di Wilayah Kerja Puskesmas Guntur II Kabupaten Demak. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 12(2), 154–159. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jkli.12.2.154-159>
- Nathaniel, A., Sejati, G. P., Perdana, K. K., Lumbantobing, R. D. P., & Heryandini, S. (2018). Perilaku Profesional Terhadap Pola Makan Sehat. *Indonesian Business Review*, 1(2). <https://doi.org/10.21632/ibr.1.2.186-200>
- Pongajow, N. J., Djarkasi, G. S. S., & Mandey, L. C. (2016). Pendugaan Umur Simpan Halua Kenari Menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Testing (Aslt) Model Arrhenius Pada Ukm Kepulauan Sitaro. *J. Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 3(2).
- Prakash, A., Baskaran, R., Paramasivam, N., & Vadivel, V. (2018). Essential oil based nanoemulsions to improve the microbial quality of minimally processed fruits and vegetables: A review. In *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.066>
- Purnamayati, L., Anandito, R. B. K., Siswanti, & Nurhartadi, E. (2019). Characteristic and Self-Life Test of Food Bar with Combination of White Millet, Snakehead Fish and Soy Flour. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34(1), 101–114. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v34i1.27592>
- Shabbir, R. N., Ali, H., Nawaz, F., Hussain, S., Areeb, A., Sarwar, N., & Ahmad, S. (2019). Use of biofertilizers for sustainable crop production. In *Agronomic Crops* (pp. 149–162). https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_9
- Surahman, D. N., Ekafitri, R., Miranda, J., Cahyadi, W., Desnilasari, D., Ratnawati, L., & Indriati, A. (2020). Pendugaan Umur Simpan Snack Bar Pisang dengan Metode Arrhenius pada Suhu Penyimpanan yang Berbeda. *JB1* 11(2), 127–137. doi:DOI: <http://dx.doi.org/10.36974/jbi.v11i2.5898>
- Syafriyudin, & Ledhe, N. T. (2015). Analisis Pertumbuhan Tanaman Krisan pada Variabel Warna Cahaya Lampu LED. *Jurnal Teknologi*, 8(1).
- Syska, K., Nuroniah, N. S., & Ropiudin, R. (2023). Pendugaan Umur Simpan Gula Kelapa Kristal dalam Kemasan Vakum menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Test (ASLT) Model Arrhenius. *Rona Teknik Pertanian*, 16(1). <https://doi.org/10.17969/rtp.v16i1.31499>
- Takahashi, M., Shirai, Y., & Sugawa, S. (2021). Free-Radical Generation from Bulk Nanobubbles in Aqueous Electrolyte Solutions: ESR Spin-Trap Observation of Microbubble-Treated Water. *Langmuir*, 5005–5011. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.1c00469>
- USDA. (2019). *Lettuce, cos or romaine, raw*. Food Data Central. <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/169247/nutrients>
- Ushida, A., Koyama, T., Nakamoto, Y., Narumi, T., Sato, T., & Hasegawa, T. (2017). Antimicrobial effectiveness of ultra-fine ozone-rich bubble mixtures for fresh vegetables using an alternating flow. *Journal of Food Engineering*, 206, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.003>