

Penentuan Masa Simpan Ekstrak Etil Asetat Buah Andaliman Pada Kemasan Botol Kaca dan PET dengan Metode Accelerated Shelf-Life Test (ASLT)

Shelf-Life Determination of Ethyl Acetate Extract of Andaliman Fruit in Glass and PET Bottles Utilizing Accelerated Shelf-Life Test (ASLT) Method

Siti Basyariah Putri Lubis¹⁾, Elisa Julianti^{1)*}, Albiner Siagian²⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan

²⁾ Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sumatera Utara, Medan

Abstract. Andaliman is an endemic flora in the region around Lake Toba and is commonly used as a spice by the Batak ethnic community. Andaliman fruit in extract form has a lot of potential as an antimicrobial, anti-inflammatory and antioxidant. All the benefits possessed by andaliman extract have the potential to be widely used by the community. Therefore, it is important to know the shelf-life of the extract and the most suitable type of packaging to extend its shelf-life. This study aims to estimate the shelf-life of andaliman fruit extract and the packaging that can extend the shelf-life of the extract. The estimated shelf-life was calculated using the accelerated shelf-life test (ASLT) method using Arrhenius approach with the parameter of total flavonoids. This study used two types of packaging, namely glass bottle and plastic bottle stored at 37, 45, and 55 °C for 1 month with weekly testing. The results showed that andaliman fruit extract in plastic bottle packaging can last for 7.8 months at 37 °C and 6.8 months at 55 °C. While stored in glass bottle, andaliman fruit extract can last up to 12.4 months at 37 °C and 10.5 months at 55 °C. Based on these data, it is known that the shelf-life of extracts is influenced by storage temperature and packaging. The higher the temperature, the shorter the shelf-life and the smaller the permeability, the longer the shelf-life.

Keywords: andaliman, arrhenius, ASLT, flavonoid, shelf-life

Abstrak. Andaliman merupakan flora endemik di wilayah sekitar Danau Toba dan umumnya digunakan sebagai rempah oleh masyarakat etnis Batak. Buah andaliman dalam bentuk ekstrak memiliki banyak potensi sebagai antimikroba, antiinflamasi dan antioksidan. Seluruh manfaat yang dimiliki oleh ekstrak andaliman berpotensi untuk digunakan secara luas oleh masyarakat. Oleh karena itu penting untuk mengetahui masa simpan ekstrak dan jenis kemasan yang paling sesuai untuk memperpanjang umur simpannya. Penelitian ini bertujuan untuk menduga umur simpan ekstrak buah andaliman dan kemasan yang dapat memperpanjang umur simpan ekstrak. Dugaan umur simpan dihitung menggunakan metode accelerated shelf-life test (ASLT) pendekatan Arrhenius dengan parameter total flavonoid. Penelitian ini menggunakan dua jenis kemasan yaitu botol kaca dan botol plastik yang disimpan pada suhu 37, 45, dan 55 °C selama 1 bulan dengan dilakukan pengujian setiap minggunya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak buah andaliman dengan kemasan botol plastik dapat bertahan selama 7,8 bulan pada suhu 37 °C dan 6,8 bulan pada suhu 55 °C. Sedangkan menggunakan kemasan botol kaca ekstrak buah andaliman dapat bertahan hingga 12,4 bulan pada suhu 37 °C dan 10,5 bulan 55 °C. Berdasarkan data tersebut maka diketahui umur simpan ekstrak dipengaruhi oleh suhu dan kemasan penyimpanan. Semakin tinggi suhu maka umur simpan semakin pendek dan semakin kecil permeabilitas kemasan maka masa simpan akan semakin panjang.

Kata kunci: andaliman, arrhenius, ASLT, flavonoid, masa simpan

Aplikasi Praktis: Penelitian ini memberikan informasi masa simpan ekstrak buah andaliman berdasarkan parameter kadar flavonoid serta perubahan kadar fenol dan aktivitas antioksidan selama penyimpanan. Informasi ini berguna bagi industri pangan maupun farmasi yang akan memanfaatkan ekstrak buah andaliman sebagai bahan dasar produknya

PENDAHULUAN

Tanaman andaliman dapat dikategorikan sebagai flora endemik yang berasal dari wilayah sekitar Danau Toba dan termasuk salah satu jenis rempah yang

mendapatkan perlindungan khusus di kawasan Geopark Danau Toba (Kristanty dan Suriawati 2015). Secara spesifik, pertumbuhan tanaman andaliman di Indonesia terbatas pada Sumatera Utara, terutama di sekitar Danau Toba, termasuk daerah Kabupaten Dairi,

Humbang Hasundutan, Samosir, Simalungun, Karo, Tapanuli Selatan, Tapanuli Utara, dan Toba Samosir (Suriani *et al.* 2019).

Tanaman dengan nama latin *Zanthoxylum acanthopodium* DC. ini digunakan sebagai bumbu utama dalam berbagai hidangan khas etnis Batak karena dianggap mampu meningkatkan selera makan (Asbur dan Khairunnisyah 2018). Rasa pedas dan sensasi trigeminal yang dihasilkan oleh andaliman memberikan tambahan cita rasa sehingga buah ini kerap disebut sebagai "merica Batak" (Husni 2023). Penggunaan andaliman sebagai rempah umumnya menggunakan buah segarnya. Namun, buah segar andaliman hanya bertahan sepuluh sampai dengan empat belas hari hingga akhirnya buah mulai mengalami pembusukan yang ditandai dengan tumbuhnya kapang, perubahan warna menjadi hitam, serta hilangnya bau dan rasa khas andaliman (Suharta *et al.* 2022). Proses pembusukan dapat mengurai dan merusak senyawa-senyawa aktif yang dikandung oleh andaliman. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan untuk memperpanjang masa simpan dan menjaga kandungan buah andaliman. Salah satunya adalah dalam bentuk ekstrak. Ekstraksi adalah metode yang digunakan untuk mengisolasi senyawa bioaktif pada bahan dan menghilangkan unsur lainnya seperti air dan enzim perusak (Sari *et al.* 2021) sehingga dapat memperpanjang masa simpan.

Ekstrak andaliman memiliki berbagai potensi yang bisa terus dikembangkan selain hanya dimanfaatkan sebagai rempah. Ekstrak etil asetat dari buah andaliman terbukti efektif dalam menghambat pertumbuhan *S. aureus*, *S. Typhimurium*, dan *E. coli* (Muzafri *et al.* 2018). Zona hambat yang dihasilkan oleh ekstrak etil asetat buah andaliman terhadap bakteri *E.coli* mencapai 19,5 mm dan merupakan zona hambat terbesar jika dibandingkan dengan ekstrak buah andaliman dengan pelarut air, metanol dan heksan (Muzafri dan Karno, 2021). Rendemen yang dihasilkan dari ekstraksi andaliman dengan pelarut etil asetat juga lebih besar dibandingkan dengan pelarut air dan heksan, secara berurutan yaitu 3,97, 3,23, dan 3,02% (Adrian *et al.* 2023).

Kemampuan antimikroba dari andaliman dapat dimanfaatkan sebagai pengawet pangan. Banyak penelitian yang telah membuktikan bahwa ekstrak etil asetat buah andaliman dapat digunakan sebagai pengawet bahan pangan seperti *nugget*, *fillet* ikan, dan bakso dengan mempertahankan mutunya bahkan memperpanjang umur simpan dengan nilai MIC (*minimum inhibitory concentration*) sebesar 0,5% terhadap bakteri *Mycobacterium smegmatis* (Wahyu *et al.* 2020; Patriani dan Apsari 2022; Julianti *et al.* 2023). Selain itu, kandungan alkaloid, flavonoid, steroid, saponin dan triterpenoid dari andaliman memiliki potensi untuk dikembangkan karena memiliki kemampuan sebagai anti-aging, anti-acne, antiinflamasi bahkan kemampuan imunostimulator (Djati dan Christina 2019).

Buah andaliman juga menunjukkan kemampuan sitotoksik yang berhubungan dengan sifat antikanker. Kandungan dalam ekstrak buah andaliman dapat berperan sebagai antioksidan dan antikanker (Ulfa *et al.* 2020).

ASLT (*accelerated shelf-life test*) adalah salah satu metode untuk menentukan umur simpan suatu bahan dengan cara meningkatkan kondisi penyimpanan (suhu atau kadar air ekstrem) sehingga kerusakan lebih cepat terjadi. Meningkatnya kecepatan kerusakan produk akan mempercepat masa simpan produk mencapai batas mutu yang dapat diterima (Robertson 2010). Dengan menggunakan persamaan Arrhenius peningkatan suhu dan percepatan masa simpan pada suhu tersebut dapat digunakan untuk menduga masa simpan produk, jika disimpan pada suhu yang diinginkan (suhu normal penyimpanan). Cara ini membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat jika dibandingkan dengan penentuan umur simpan produk dengan cara langsung (Bouillé dan Beeren 2016).

Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi masa simpan suatu bahan antara lain: suhu penyimpanan, kandungan air, kandungan gizi dan juga kemasan. Kemasan memiliki peran penting dalam penentuan masa simpan suatu produk (Suparni 2019). Produk yang sama dengan tempat dan suhu penyimpanan yang sama dapat memiliki masa simpan yang berbeda jika disimpan dalam kemasan yang berbeda (Saragih *et al.* 2019). Penelitian Silva *et al.* (2016) melihat perbedaan pengaruh jenis kemasan pada produk susu, keju, dan *yoghurt*. Hasilnya menunjukkan bahwa kualitas dan umur simpan keju lebih baik jika disimpan menggunakan kemasan kaca, sedangkan susu dan *yoghurt* lebih baik menggunakan kemasan plastik. Kemasan yang umumnya digunakan sebagai wadah produk yang berupa cairan adalah kemasan botol. Kemasan botol kaca dan botol plastik memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Kemasan kaca lebih mudah untuk dibersihkan dan mampu mencegah masuknya oksigen dan menghambat oksidasi sedangkan, kemasan plastik lebih ekonomis dan dapat didaur ulang (Hasibuan 2020). Menurut Jaime *et al.* (2022) kemasan botol PET merupakan kemasan plastik dengan nilai permeabilitas yang lebih kecil jika dibandingkan dengan jenis plastik lainnya dan yang paling mendekati kemasan kaca. Untuk memperpanjang masa simpan ekstrak andaliman dan menjaga seluruh potensi yang dimilikinya termasuk kestabilan kandungan kimia pada ekstrak, perlu diketahui jenis kemasan yang optimal untuk menyimpan ekstrak andaliman.

Hingga saat ini, belum ada penelitian yang memberikan informasi tentang masa simpan ekstrak buah andaliman dan kemasan penyimpanannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi masa simpan ekstrak etil asetat buah andaliman pada dua jenis kemasan menggunakan metode ASLT pendekatan Arrhenius.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Andaliman yang digunakan dalam penelitian ini berjenis sihorbo. Andaliman segar diperoleh langsung dari petani di Kecamatan Sidikalang Kabupaten Dairi Sumatera Utara. Pembuatan ekstrak andaliman menggunakan pelarut etil asetat. Kemasan yang digunakan adalah botol kaca gelap dan botol PET gelap.

Pembuatan ekstrak andaliman

Pembuatan ekstrak andaliman mengikuti prosedur yang sudah dilakukan oleh Muzafri *et al.* (2018). Buah andaliman segar dicuci kemudian dikeringkan menggunakan oven pengering (Agrowindo OVG-16 SS, Indonesia) dengan suhu 40 °C selama 48 jam. Andaliman kering dihaluskan menggunakan *disk mill* (buatan lokal CV. Teknologi Tepat Guna, Indonesia) dan diayak menggunakan ayakan *mesh* 40 hingga menjadi bubuk. Bubuk buah andaliman dimaserasi menggunakan pelarut etil asetat dengan perbandingan 1 : 10 (b:v). Proses maserasi dilakukan selama 24 jam pada suhu 36 °C. Filtrat dipekatkan menggunakan *rotary evaporator* (BIOBASE RE 100-Pro, China) pada suhu 50 °C.

Kadar total flavonoid

Penentuan kadar flavonoid didasarkan pada prinsip kolorimetri menggunakan kuersetin (Merck, Jerman) (Azizah *et al.* 2014). Sebanyak 10 mg sampel ditambah dengan 10 mL metanol p.a. sehingga diperoleh konsentrasi larutan sampel 100 µg/mL. Selanjutnya dari setiap larutan sampel diambil sebanyak 2 mL dan dimasukkan 0,1 mL AlCl₃ 10% (Merck, Jerman) 0,1 mL natrium asetat 10% (Merck, Jerman), dan 2,8 mL akuades kemudian dihomogenkan dengan menggunakan *vortex*. Larutan yang sudah homogen dilakukan inkubasi suhu 37 °C selama 40 menit dan diukur nilai serapannya dengan panjang gelombang 435 nm.

Kadar total fenol

Kandungan total fenol pada ekstrak buah andaliman diuji menggunakan spektrofotometer (Thermo-Fisher Scientific AQUAMATE UV-Vis, USA) dengan metode Folin-Ciocalteu (Hapsari *et al.* 2018). Sampel sebanyak 10 mg dimasukkan ke dalam labu tera 10 mL dan ditambah dengan metanol pro analisis (Smartlab) hingga batas tera sehingga diperoleh konsentrasi larutan sampel 1000 µg/mL. Selanjutnya dari setiap larutan sampel diambil sebesar 0,1 mL lalu di tambahkan 0,5 mL Folin (Merck Jerman), 1,5 mL Na₂CO₃ (Merck, Jerman) 20%, dan 7,9 mL akuades. Selanjutnya dihomogenkan dengan menggunakan *vortex*. Larutan yang sudah homogen diinkubasi 37 °C selama 40 menit lalu dilihat absorbansi sampel pada panjang gelombang 660 nm.

Aktivitas antioksidan

Pengujian aktivitas antioksidan dilakukan dengan menggunakan metode DPPH (2,2- difenil-1-pikrihidrazil) berdasarkan Frindryani dan Atun (2016). Masing-masing larutan sampel ditambahkan dengan 1 mL larutan DPPH (Merck, Jerman) dan ditambahkan metanol pro analisis hingga batas tera. Seluruh larutan dipindahkan ke dalam tabung reaksi dihomogenisasi selama 40 menit dengan suhu 37 °C. Perhitungan persentase inhibisi diperoleh menggunakan Persamaan 1.

%Inhibisi=

$$\frac{\text{Absorbansi kontrol} - \text{Absorbansi sampel}}{\text{Absorbansi kontrol}} \times 100\% \dots (1)$$

Penentuan umur simpan

Penentuan umur simpan pada penelitian ini menggunakan metode *accelerated shelf-life test* (ALST) pendekatan Arrhenius berdasarkan Suyatma dan Elisa (2020) dengan 3 suhu penyimpanan yaitu 37, 45, dan 55 °C (Daniardi *et al.* 2020) dan waktu pengujian 0, 1, 2, 3, dan 4 minggu (Brilliantina *et al.* 2022). Kemasan yang digunakan selama masa simpan ekstrak andaliman terbagi atas dua jenis yaitu botol plastik gelap berbahan polietilena tereftalat (PET) dan botol kaca gelap.

Ordo reaksi yang digunakan dalam penelitian ditentukan berdasarkan R² (diambil nilai yang terbesar). Grafik korelasi laju penurunan kualitas produk terhadap suhu penyimpanan dibuat dengan menghubungkan nilai ln k terhadap 1/T. Persamaan regresi linier dibuat dengan menggunakan Persamaan 2.

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan: ln k₀ merupakan *intersep*, E/R adalah *slope*, E merupakan energi aktivasi dan R adalah konstanta gas ideal = 1, 986 kal/mol °K. Perhitungan penentuan masa simpan dengan Persamaan 3 dan 4.

$$t_s = \ln(\text{No}-\text{Nt})/k \text{ (untuk laju reaksi ordo satu)} \dots \dots \dots (3)$$

$$t_s = (\text{No}-\text{Nt})/k \text{ (untuk laju reaksi ordo nol)} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan: t= Waktu penyimpanan, No = Nilai parameter mutu awal, Nt= Nilai parameter mutu setelah waktu penyimpanan t (batas kritis), k= Nilai K pada suhu penyimpanan T.

Kemudian diduga masa simpan ekstrak andaliman menggunakan rumus Q₁₀ (Khathir *et al.* 2019) untuk variasi suhu penyimpanan lainnya.

$$Q_{10} = \frac{k_{T+10}}{k_T} \dots \dots \dots (5)$$

$$t_{T1} = Q_{10}^{\Delta T/10} \times t_{T2} \dots \dots \dots (6)$$

keterangan: Q_{10} = faktor percepatan penurunan mutu, k_T = konstanta laju reaksi pada suhu T , k_{T+10} = Konstanta laju reaksi pada suhu $T + 10^\circ$, t_{T1} = umur simpan pada suhu estimasi (hari), t_{T2} = umur simpan pada suhu basis (hari)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar total flavonoid

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa selama penyimpanan kadar flavonoid pada ekstrak terus mengalami penurunan. Semakin lama ekstrak disimpan maka kadar flavonoidnya akan semakin menurun. Hal tersebut juga ditemukan oleh Al Dabbas *et al.* (2023) yang menyimpan ekstrak okra selama 3 bulan dan melihat perubahan kadar flavonoid pada ekstrak okra tersebut, yaitu semakin lama ekstrak okra disimpan maka kadar flavonoidnya semakin rendah. Penurunan kadar flavonoid juga dipengaruhi oleh suhu penyimpanan. Semakin tinggi suhu penyimpanan maka semakin rendah kadar flavonoid ekstrak. Hal tersebut terjadi karena peningkatan suhu dapat mempercepat reaksi oksidasi sehingga menurunkan kadar flavonoid bahan (Kim *et al.* 2020).

Kadar total fenol

Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar total fenol ekstrak andaliman selama penyimpanan. Semakin lama ekstrak andaliman disimpan maka semakin menurun pula kadar total fenol di dalamnya. Penurunan kadar fenol selama penyimpanan diakibatkan oleh proses oksidasi pada ekstrak (Ali *et al.* 2018). Penelitian Wulansari *et al.* (2020) juga menemukan perubahan kadar fenol selama penyimpanan pada penelitiannya menggunakan ekstrak daun asam yang disimpan pada tiga suhu yang

berbeda selama 4 minggu dan terjadi penurunan kadar fenol pada setiap minggunya.

Tidak hanya suhu, laju proses oksidasi juga dipengaruhi oleh cahaya dan oksigen selama penyimpanan (Mahardani dan Yuanita 2021). Terdapat perbedaan total kadar fenol pada kedua kemasan selama penyimpanan. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan permeabilitas oksigen dari kemasan plastik dan kemasan kaca. Kemasan kaca memiliki permeabilitas bahan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kemasan plastik. Semakin kecil permeabilitas suatu bahan maka semakin kecil pula jumlah oksigen yang dapat melewati bahan tersebut (Jaime *et al.* 2022). Penelitian sebelumnya telah dilakukan pada bubuk *Z. bungeanum* yaitu tanaman yang mirip dengan andaliman dan Yu *et al.* (2023) mengemukakan bahwa adanya penurunan kadar fenol pada bubuk *Z. Bungeanum* selama penyimpanan serta adanya pengaruh kemasan terhadap penurunan kadar fenol. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penurunan kadar fenol *Z. Bungeanum* lebih besar pada kemasan polietilena dibandingkan kemasan kaca dikarenakan perbedaan permeabilitas oksigen pada kemasan tersebut.

Aktivitas antioksidan

Aktivitas antioksidan adalah kemampuan suatu senyawa untuk meredam radikal bebas (Suteja *et al.* 2022). Aktivitas antioksidan dapat dinilai dari IC_{50} suatu bahan yaitu konsentrasi yang dibutuhkan untuk menghambat 50% radikal bebas (DPPH). Hasil pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa adanya perubahan nilai IC_{50} ekstrak andaliman selama proses penyimpanan pada suhu dan kemasan yang berbeda. Semakin lama disimpan maka nilai IC_{50} juga semakin meningkat. Peningkatan nilai IC_{50} berkebalikan dengan aktivitas antioksidan dari suatu bahan. Semakin tinggi nilai IC_{50} suatu bahan maka semakin rendah pula aktivitas antioksidannya (Ghasemzadeh *et al.* 2016).

Tabel 1. Pengaruh suhu dan kemasan terhadap kandungan total flavonoid, fenol dan aktivitas antioksidan ekstrak buah andaliman selama penyimpanan

Penyimpanan (Minggu)	Suhu ($^{\circ}C$)	Kadar Total Flavonoid (mg QE/g ekstrak)		Kadar Total Fenol (mg GAE/g ekstrak)		Nilai IC_{50} (ppm)	
		Botol Plastik	Botol Kaca	Botol Plastik	Botol Kaca	Botol Plastik	Botol Kaca
0		74,24 $\pm$ 0,31	74,24 $\pm$ 0,31	199,12 $\pm$ 1,08	199,12 $\pm$ 1,08	81,22 $\pm$ 1,48	81,22 $\pm$ 1,48
1	37	72,51 $\pm$ 0,48	191,62 $\pm$ 0,62	191,62 $\pm$ 0,62	191,20 $\pm$ 0,95	85,82 $\pm$ 0,38	84,70 $\pm$ 1,07
	45	66,91 $\pm$ 0,51	143,91 $\pm$ 0,95	143,91 $\pm$ 0,95	168,91 $\pm$ 0,36	112,99 $\pm$ 1,10	107,02 $\pm$ 0,51
	55	62,66 $\pm$ 0,35	119,54 $\pm$ 0,95	119,54 $\pm$ 0,95	132,66 $\pm$ 0,72	159,14 $\pm$ 0,30	135,37 $\pm$ 1,51
2	37	67,73 $\pm$ 0,17	146,70 $\pm$ 0,95	146,70 $\pm$ 0,95	159,83 $\pm$ 0,95	137,83 $\pm$ 0,90	121,54 $\pm$ 0,40
	45	58,32 $\pm$ 0,11	106,50 $\pm$ 0,62	106,50 $\pm$ 0,62	121,08 $\pm$ 0,95	159,97 $\pm$ 1,75	140,45 $\pm$ 1,36
	55	46,05 $\pm$ 0,29	74,20 $\pm$ 0,36	74,20 $\pm$ 0,36	90,25 $\pm$ 0,62	202,91 $\pm$ 1,36	189,61 $\pm$ 2,14
3	37	40,57 $\pm$ 0,04	88,48 $\pm$ 0,84	88,48 $\pm$ 0,84	100,70 $\pm$ 0,84	171,70 $\pm$ 0,55	164,83 $\pm$ 0,60
	45	32,62 $\pm$ 0,11	62,92 $\pm$ 0,64	62,92 $\pm$ 0,64	88,11 $\pm$ 0,96	203,03 $\pm$ 0,97	187,75 $\pm$ 0,64
	55	26,01 $\pm$ 0,42	36,62 $\pm$ 0,64	36,62 $\pm$ 0,64	44,96 $\pm$ 0,32	237,07 $\pm$ 3,22	222,11 $\pm$ 0,93
4	37	24,36 $\pm$ 0,09	56,09 $\pm$ 0,82	56,09 $\pm$ 0,82	67,04 $\pm$ 0,41	218,95 $\pm$ 0,87	203,87 $\pm$ 1,05
	45	19,31 $\pm$ 0,31	33,23 $\pm$ 1,09	33,23 $\pm$ 1,09	54,42 $\pm$ 0,71	247,13 $\pm$ 0,50	220,61 $\pm$ 0,27
	55	16,96 $\pm$ 0,11	10,14 $\pm$ 0,71	10,14 $\pm$ 0,71	21,90 $\pm$ 1,09	280,25 $\pm$ 1,78	257,09 $\pm$ 0,73

Penurunan aktivitas antioksidan selama penyimpanan dapat disebabkan oleh turunnya kadar fenol dan flavonoid yang merupakan senyawa antioksidan alami terbesar pada tanaman (Zhang *et al.* 2016). Flavonoid pada dasarnya adalah bagian dari kompleks senyawa polifenol yang dicirikan dengan adanya dua cincin (A dan B) yang dihubungkan oleh cincin C yang merupakan jembatan tiga karbon heterosiklus teroksigenasi sehingga, konsep dasar flavonoid sebagai antioksidan mirip dengan komponen fenol yaitu dengan mengkelat ion metal dan menghapus radikal bebas khususnya, superoksida (O₂⁻), radikal peroksil dan hidroksil (OH⁻) (Rani *et al.* 2018)

Penurunan kedua senyawa tersebut diakibatkan oleh reaksi oksidasi yang terjadi selama penyimpanan berlangsung (Kim *et al.* 2020; Wulansari *et al.* 2020). Reaksi oksidasi adalah reaksi ketika suatu zat berikatan dengan oksigen sehingga zat tersebut melepaskan elektron dan menyebabkan kenaikan bilangan oksidasi (Khattak 2020). Faktor yang memengaruhi reaksi oksidasi adalah cahaya, suhu, ketersediaan oksigen dan keberadaan bahan logam (Zuliyama *et al.* 2023). Suhu dapat memengaruhi energi kinetik dari molekul di dalam reaksi (Sodiqovna dan Qizi 2020). Peningkatan suhu menyebabkan kenaikan energi kinetik yang mengakibatkan gerakan partikel semakin membesar dan meningkatkan frekuensi tabrakan antar partikel. Oleh karena itu peningkatan suhu dapat mempercepat terjadinya reaksi termasuk reaksi oksidasi.

Ketersediaan oksigen juga memengaruhi reaksi oksidasi. Oksigen termasuk ke dalam *oxidaxing agent* atau agen pengoksidasi seperti halnya radikal bebas, hidrogen peroksida dan beberapa ion logam seperti Fe³⁺ dan Cu²⁺ sehingga semakin banyak ketersediaan oksigen maka reaksi oksidasi akan semakin cepat berlangsung (Alwazeer 2020). Perbedaan kemasan dapat memengaruhi ketersediaan oksigen karena setiap kemasan memiliki permeabilitas oksigen yang berbeda. Berdasarkan Jaime *et al.* (2022) permeabilitas oksigen dari botol plastik (PET) lebih tinggi daripada botol kaca, masing-masing berjumlah 0,012 mL/hari dan 0,005 mL/hari.

Ordo reaksi selama penyimpanan

Ordo reaksi ditentukan dengan cara membandingkan nilai R² pada grafik setiap parameter. Data ordo reaksi setiap parameternya dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4. Ordo reaksi yang digunakan adalah ordo reaksi dengan nilai R² tertinggi. Berdasarkan Tabel 2, 3, dan 4 untuk masing-masing parameter didapati bahwa nilai R² yang tertinggi pada kemasan botol plastik yang disimpan pada ketiga suhu yang berbeda adalah nilai R² pada ordo 0, begitu pula dengan nilai R² kemasan botol kaca pada ketiga suhu penyimpanan. Oleh karena itu ordo reaksi yang digunakan adalah ordo reaksi 0.

Tabel 2. Ordo reaksi total flavonoid ekstrak buah andaliman selama penyimpanan pada suhu 37, 45, dan 55 °C dalam kemasan plastik dan kaca

Kemasan	Suhu (°C)	Ordo 0			Ordo 1			Ordo Terpilih
		Slope (k)	Intercept	R ²	Slope (k)	Intercept	R ²	
Botol plastik	37	13,171	82,23	0,8751	0,2809	4,5025	0,8368	Ordo 0
	45	14,451	79,117	0,9504	0,3443	4,4996	0,8979	
	55	15,120	75,433	0,9878	0,3831	4,4482	0,9539	
Botol kaca	37	12,310	81,766	0,8597	0,2507	4,4795	0,8344	Ordo 0
	45	13,901	80,169	0,9401	0,3195	4,4965	0,8707	
	55	14,582	76,368	0,9943	0,3589	4,4517	0,9439	

Tabel 3. Ordo reaksi total fenol ekstrak buah andaliman selama penyimpanan pada suhu 37, 45, dan 55 °C dalam kemasan plastik dan kaca

Kemasan	Suhu (°C)	Ordo 0			Ordo 1			Ordo Terpilih
		Slope (k)	Intercept	R ²	Slope (k)	Intercept	R ²	
Botol plastik	37	38,825	214,15	0,9565	0,329	5,4692	0,9238	Ordo 0
	45	41,276	191,69	0,9899	0,4408	5,3969	0,9722	
	55	46,088	180,10	0,9955	0,7137	5,4878	0,9509	
Botol kaca	37	35,466	214,52	0,9448	0,2818	5,4515	0,9078	Ordo 0
	45	37,02	200,37	0,9952	0,3245	5,3880	0,9729	
	55	44,213	186,21	0,9730	0,5496	5,4146	0,9778	

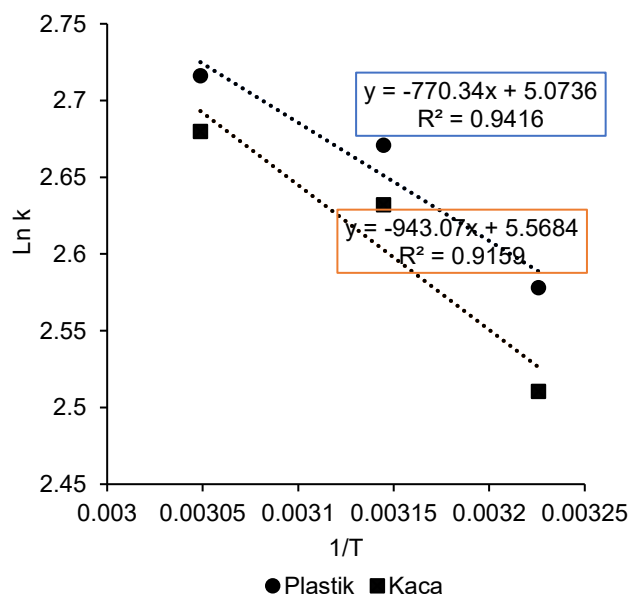
Tabel 4. Ordo reaksi antioksidan ekstrak buah andaliman selama penyimpanan pada suhu 37, 45, dan 55 °C dalam kemasan plastik dan kaca

Kemasan	Suhu (°C)	Ordo 0			Ordo 1			Ordo Terpilih
		Slope (k)	Intercept	R ²	Slope (k)	Intercept	R ²	
Botol plastik	37	36,134	66,841	0,9580	0,2677	4,3267	0,9604	Ordo 0
	45	42,186	76,5	0,9967	0,2812	4,4423	0,9863	
	55	47,601	96,923	0,9728	0,2876	4,6017	0,8860	
Botol kaca	37	32,543	66,151	0,9485	0,2818	5,4515	0,9078	Ordo 0
	45	35,953	75,508	0,9907	0,3245	5,3880	0,9729	
	55	43,797	89,384	0,9852	0,5496	5,4146	0,9778	

Yu *et al.* (2023) juga menggunakan reaksi ordo 0 dalam penentuan masa simpan bubuk *Z. Bungeanum* pada parameter total fenol dan flavonoid. Pemilihan ordo reaksi menggunakan R^2 karena R^2 merupakan koefisien determinasi yang dapat menunjukkan keakuratan data, semakin nilai R^2 mendekati 1 maka semakin akurat pula data yang disajikan (Nurhidajah *et al.* 2021).

Grafik Ln k Vs 1/T

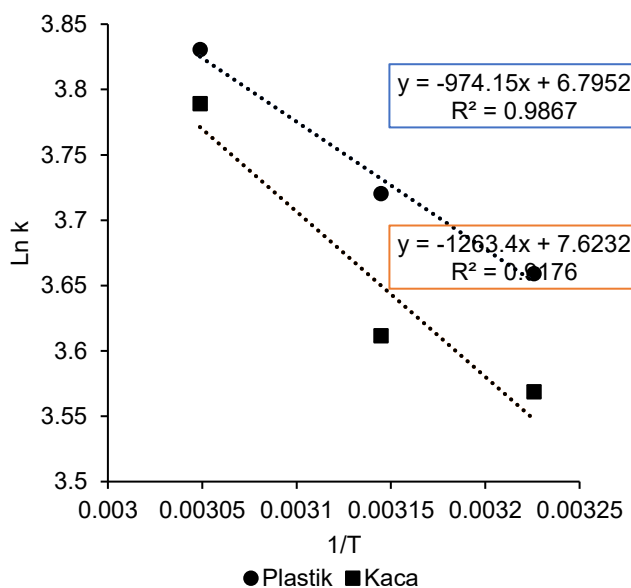
Nilai k (*slope*) yang diketahui dari persamaan ordo yang terpilih, kemudian diubah ke dalam bentuk Ln k dan tiga titik suhu (T) yang digunakan diubah ke dalam satuan kelvin. Grafik Ln k Vs $1/T$ dibuat dengan memplotkan $1/T$ sebagai sumbu X dan Ln k sebagai sumbu Y. Grafik Ln k Vs $1/T$ setiap parameter dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3. Berdasarkan Gambar 1, 2, dan 3 masing-masing kemasan membentuk garis dengan tiga titik suhu dan nilai Ln k , sehingga diketahui persamaan regresi dan nilai *slope* untuk setiap garis. Dari nilai *slope* yang diperoleh maka dapat dihitung nilai energi aktivasi masing-masing parameter karena nilai *slope* sama halnya dengan nilai $-E_a/R$. Nilai energi aktivasi setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 5.



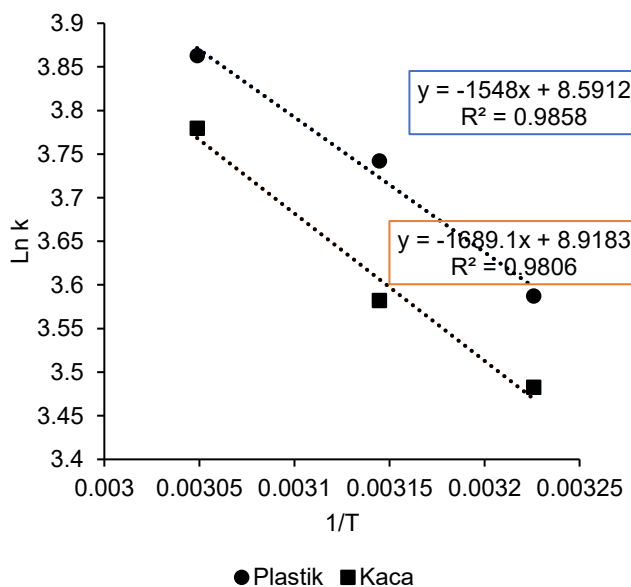
Gambar 1. Grafik Ln k Vs $1/T$ total flavonoid ekstrak buah andaliman pada kemasan plastik dan kaca

Berdasarkan Tabel 5 maka nilai E_a terkecil terdapat pada parameter flavonoid. Nilai E_a atau energi aktivasi melambangkan banyaknya jumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk suatu reaksi dapat berlangsung (Yuniastri *et al.* 2019). Dalam penelitian ini menandakan bahwa parameter yang membutuhkan energi paling kecil untuk terjadinya perubahan atau reaksi adalah total flavonoid. Oleh karena itu kadar total flavonoid menjadi parameter utama dalam penen-

tuan masa simpan ekstrak andaliman pada tahapan berikutnya.



Gambar 2. Grafik Ln k Vs $1/T$ total fenol ekstrak buah andaliman pada kemasan plastik dan kaca



Gambar 3. Grafik Ln k Vs $1/T$ IC₅₀ ekstrak buah andaliman pada kemasan plastik dan kaca

Tabel 5. Nilai E_a parameter kadar flavonoid, fenol dan aktivitas antioksidan selama penyimpanan pada kemasan plastik dan kaca

Parameter	Kemasan	Slope	R	E_a
Flavonoid	Plastik	770,34	1,986	1529,895
	Kaca	943,07	1,986	1872,937
Fenol	Plastik	974,15	1,986	1934,662
	Kaca	1263,4	1,986	2509,112
Antioksidan	Plastik	1558	1,986	3094,188
	Kaca	1689,1	1,986	3354,553

Perhitungan umur simpan ekstrak andaliman dihitung berdasarkan penurunan kadar total flavonoid

sebanyak 50%. Penentuan batas akhir 50% merujuk pada literatur Supriatna *et al.* (2018). Kondisi awal total flavonoid ekstrak andaliman adalah 199.1250 mg QE/mg ekstrak, sedangkan batas akhir mutu ekstrak andaliman adalah 99.56 mg QE/mg ekstrak. Hasil penentuan umur simpan ekstrak andaliman dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh suhu dan kemasan terhadap umur simpan ekstrak buah andaliman dengan persamaan Arrhenius

Kemasan	Suhu (°C)	Ts (Hari)	Ts (Bulan)
Botol plastik	37	235,49	7,84
	45	221,22	7,37
	55	205,47	6,84
Botol kaca	37	374,59	12,48
	45	346,99	11,56
	55	316,99	10,56

Keterangan: Ts= Masa simpan

Berdasarkan data Tabel 6 maka umur simpan ekstrak andaliman dipengaruhi oleh suhu penyimpanan dan kemasan yang digunakan. Umur simpan ekstrak andaliman yang disimpan pada suhu 37 °C pada kemasan botol plastik adalah 7,8 bulan dan yang disimpan pada kemasan kaca adalah 12,4 bulan. Ekstrak andaliman yang disimpan pada kemasan kaca memiliki umur simpan yang lebih panjang daripada kemasan plastik pada setiap suhu penyimpanan (37, 45, 55 °C). Pada setiap kemasan, semakin rendah suhu penyimpanan maka akan semakin panjang umur simpan ekstrak andaliman.

Masa simpan ekstrak buah andaliman

Berdasarkan konstanta Q_{10} maka dapat diketahui masa simpan ekstrak andaliman pada suhu lainnya seperti yang terdapat pada Tabel 7. Data dugaan umur simpan dengan menggunakan Q_{10} juga menunjukkan bahwa semakin rendah suhu penyimpanan maka akan semakin panjang umur simpan dari andaliman dan kemasan yang memberikan umur simpan yang lebih panjang pada ekstrak andaliman adalah kemasan kaca. Berdasarkan Tabel 7 maka penyimpanan terbaik ekstrak andaliman adalah pada suhu 5 °C dengan kemasan botol kaca.

Terdapat perbedaan hasil masa simpan ekstrak buah andaliman pada dua metode yaitu Arrhenius dan Q_{10} . Masa simpan ekstrak buah andaliman pada penyimpanan suhu 55 °C untuk kemasan plastik dan kaca dengan metode Arrhenius secara berturut-turut adalah 6,84 dan 10,56 bulan. Sedangkan menggunakan Q_{10} pada kondisi penyimpanan yang sama didapati masa simpan ekstrak buah andaliman pada kemasan plastik dan kaca yaitu 6,36 dan 9,65 bulan. Bilbie dan Ghizdareanu (2021) juga membandingkan masa simpan minuman dengan menggunakan Arrhenius dan Q_{10} , hasil yang didapat dari kedua metode berbeda dan menyimpulkan bahwa Q_{10} memberikan daya tahan

minimum produk, sedangkan persamaan Arrhenius memberikan umur simpan maksimum.

Tabel 7. Dugaan masa simpan ekstrak buah andaliman berdasarkan Q_{10}

Kemasan	Suhu (°C)	Ts (Hari)	Ts (Bulan)
Botol plastik	55	190,84	6,36
	45	221,22	7,37
	35	238,18	7,93
	25	256,44	8,54
	15	276,09	9,20
	10	286,48	9,54
	5	297,26	9,90
Botol kaca	55	346,99	9,65
	45	289,65	11,56
	35	379,82	12,66
	25	415,77	13,85
	15	455,11	15,17
	10	476,16	15,87
	5	498,18	16,60

Keterangan: Ts= Masa simpan

KESIMPULAN

Terdapat pengaruh antara suhu dan kemasan penyimpanan terhadap masa simpan ekstrak buah andaliman. Masa simpan ekstrak andaliman yang disimpan pada kemasan plastik pada suhu 37, 45, dan 55 °C masing-masing adalah 7,84; 7,37; dan 6,84 bulan. Ekstrak andaliman yang disimpan pada kemasan kaca masing-masing adalah 12,48; 11,56; dan 10,56 bulan. Semakin rendah suhu penyimpanan maka semakin panjang masa simpan. Sedangkan pada kemasan, semakin kecil permeabilitas kemasan maka semakin panjang masa simpan ekstrak. Ekstrak buah andaliman yang memiliki masa simpan paling panjang adalah ekstrak yang disimpan pada kemasan kaca pada suhu 5 °C yaitu selama 16,6 bulan. Kemasan kaca memberikan masa simpan yang lebih panjang daripada kemasan plastik.

DAFTAR PUSTAKA

Adrian, Syahputra RA, Juwita NA, Astyka R, Lubis MF. 2023. Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) a herbal medicine from North Sumatera, Indonesia: Phytochemical and pharmacological review. *Heliyon*. 9 (5): e16159. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e16159

Al Dabbas MM, Moumneh M, Hamad HJ, Abughoush M, Abuawad B, Al-Nawasrah BA, Al-Jaloudi R, Iqbal S. 2023. Impact of processing and preservation methods and storage on total phenolics, flavonoids, and antioxidant activities of okra (*Abelmoschus sculentus* L.). *Foods*. 12 (19): 1–10. doi:10.3390/foods12193711

- Ali A, Chong CH, Mah SH, Abdullah LC, Choong TSY, Chua BL. 2018. Impact of storage conditions on the stability of predominant phenolic constituents and antioxidant activity of dried *Piper betle* extracts. *Molecules*. 23 (2): 484. doi:10.3390/molecules23020484
- Alwazeer D. 2020. Importance of consideration of oxidoreduction potential as a critical quality parameter in food industries. *Food Res Int*. 132: 109108. doi:10.1016/j.foodres.2020.109108
- Asbur Y, Khairunnisyah K. 2018. Pemanfaatan andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) sebagai tanaman penghasil minyak atsiri. *J Kultivasi*. 17 (1): 537–543. doi:10.24198/kultivasi.v17i1.15668
- Azizah DN, Kumolowati E, Faramayuda F. 2014. Penetapan kadar flavonoid metode $AlCl_3$ pada ekstrak metanol kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.). *Kartika J Ilmiah Farmasi*. 2 (2): 45–49. doi:10.26874/kjif.v2i2.14
- Bilbie C, Ghizdareanu A. 2021. Comparative analysis of estimated shelf life approaching accelerated aging methods. *Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies*. 25 (1): 104–111.
- Bouillé AGD, Beeren CJM. 2016. *The Stability and Shelf Life of Food (Second Edition)*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Brilliantina A, Wardani DK, Fadhila PT, Hariono B, Wijaya R. 2022. Accelerated shelf life test method with arrhenius approach for shelf life estimation of tongkol 'euthynnus affinis' balado in cans. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 980: 012038. doi:10.1088/1755-1315/980/1/012038
- Daniardi S, Rachmat R, Luna P, Purwani W, Sandra-sari DA. 2020. Penentuan umur simpan menggunakan metode accelerated shelf life test (ASLT) pada bubuk minuman instan stroberi foammat drying. *J Aplikasi Teknologi Pangan*. 9 (4): 151–157. doi:10.17728/jatp.7539
- Djati MS, Christina YI. 2019. Traditional Indonesian rempah-rempah as a modern functional food and herbal medicine. *Funct Foods Heal Dis*. 9 (4): 241–264. doi:10.31989/ffhd.v9i4.571
- Frindryani LF, Atun S. 2016. Isolasi dan uji aktivitas antioksidan senyawa dalam ekstrak etanol temu kunci dengan metode DPPH. *J Elemen Kimia*. 5 (6): 1–8.
- Ghasemzadeh A, Jaafar HZE, Rahmat A. 2016. Changes in antioxidant and antibacterial activities as well as phytochemical constituents associated with ginger storage and polyphenol oxidase activity. *BMC Complement Altern Med*. 16 (2016): 382. doi:10.1186/s12906-016-1352-1
- Hapsari AM, Masfria, Dalimunthe A. 2018. Pengujian kandungan total fenol ekstrak etanol tempuyung (*Shoncus arvensis* L.). *Talenta Conf. Series: Tropical Med*. 1 (1): 284–290. doi:10.32734/tm.v1i1.75
- Hasibuan AA. 2020. Reviu jenis aspek perlindungan dan migrasi bahan kemasan dalam pengemasan minyak nabati. *J Pangan*. 29 (3): 243–252. doi:10.33964/jp.v29i3.475
- Husni N. 2023. Andaliman development as a regional superior product in Toba district North Sumatra Province based on regional innovation system. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science 1183(2023): 012098. doi:10.1088/1755-1315/1183/1/012098
- Jaime SBM, Alves RMV, Bócoli PFJ. 2022. Moisture and oxygen barrier properties of glass, PET and HDPE bottles for pharmaceutical products. *J Drug Deliv Sci Technol*. 71: 103330. doi:10.1016/j.jddst.2022.103330
- Julianti E, Lubis Z, Hilman A. 2023. Quality of chicken sausage during storage with addition of andaliman fruit powder. *J Gizi Pangan*. 18 (Supp.1): 67–69. doi:10.25182/jgp.2023.18.Supp.1.67-69
- Khathir R, Agustina R, Nurba D, Syafriandi, Putra D. 2019. Shelf-life estimation of cauliflower based on total soluble solids by using the Arrhenius and Q_{10} approach. IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science 365: 012006. doi:10.1088/1755-1315/365/1/012006
- Khattak R. 2020. Redox. London: Intech Open.
- Kim JM, Kang JY, Park SK, Han HJ, Lee K-Y, Kim A-N, Kim JC, Choi S-G, Heo HJ. 2020. Effect of storage temperature on the antioxidant activity and catechins stability of Matcha (*Camellia sinensis*). *Food Sci Biotechnol*. 29 (9): 1261–1271. doi:10.1007/s10068-020-00772-0
- Kristanty RE, Suriawati J. 2015. The Indonesian *Zanthoxylum acanthopodium* DC.: chemical and biological values. *Int J Pharmtech Res*. 8 (6): 313–321.
- Muzafri A, Julianti E, Rusmarilin H. 2018. The extraction of antimicrobials component of andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) and its application on catfish (*Pangasius sutchi*) fillet. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences. 122: 012089. doi:10.1088/1755-1315/122/1/012089
- Muzafri A, Karno R. 2021. Testing of andaliman extract (*Zanthoxylum Acanthopodium* Dc) with 4 types of solutions (ethyl acetate, aquades, methanol, and hexane) on growth of bacteria *Escherichia coli*. *Kesans: Int J Health Sci*. 1 (4): 337–343. doi:10.54543/kesans.v1i4.50

- Nurhidajah, Pranata B, Yonata D. 2021. Pemodelan persamaan arrhenius untuk memprediksi umur simpan penyedap rasa cangkang rajungan. *Agro-intek: J Teknol Industri Pertanian*. 15 (2): 566–573. doi:10.21107/agrointek.v15i2.9720
- Mahardani OT, Yuanita L. 2021. Efek metode pengolahan dan penyimpanan terhadap kadar senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan. *UNESA J Chem*. 10 (1): 64–79. doi:10.26740/ujc.v10n1.p64-78
- Patriani P, Apsari NL. 2022. Improving the physical quality of beef meatballs using andaliman spice (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) on shelflife. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 977: 012134. doi:10.1088/1755-1315/977/1/012134
- Rani R, Arora S, Kaur J, Manhas RK. 2018. Phenolic compounds as antioxidants and chemopreventive drugs from *Streptomyces cellulosa* strain TES17 isolated from rhizosphere of *Camellia sinensis*. *BMC Complement Altern Med*. 18 (2018): 18. doi:10.1186/s12906-018-2154-4
- Robertson GL. 2010. Food Packaging and Shelf Life A Practical Guide. New York: CRC Press.
- Saragih MRA, Martunis, Sulaiman I. 2019. Pengaruh kemasan plastik polietilen dan polipropilen terhadap umur simpan abon ikan tongkol (*Katsuwonus pelamis*) dengan menggunakan model Arrhenius. *J Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*. 4 (2): 317–329.
- Sari Y, Syahrul, Iriani D. 2021. Skrining fitokimia dan aktivitas antioksidan pada kijing (*Pilsbryconcha* sp.) dengan pelarut berbeda. *J Teknol Industri Pertanian Indonesia*. 13 (1): 16–20. doi:10.17969/jtipi.v13i1.18324
- Silva O, Ricardo NP, joana M, Francisco M. 2016. *Edible Food Packaging*. CRC-Press, Boca Raton.
- Sodiqovna OM, Orifjon qizi IG. 2020. The rate of chemical reaction and factor affecting it. *EPRA Int J Res Dev*. 5 (8): 261–263. doi:10.36713/epra 2016
- Suharta S, Hunaefi D, Wijaya CH, Hashidoko Y. 2022. Analisis senyawa aktif trigeminal andaliman dengan variasi metode pengeringan dengan pendekatan GC-MS. *J Teknol Industri Pangan*. 33 (1): 77–86. doi:10.6066/jtip.2022.33.1.77
- Supriatna IGR, Putra GPG, Suhendra L. 2018. Penentuan umur simpan menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ALST) dengan pendekatan Arrhenius pada destilat fermentasi hasil samping cairan pulpa kakao. *J Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 6 (2): 178–188. doi:10.24843/JRMA.2018.v06.i02.p09
- Suparni RST. 2019. Pendugaan umur simpan rempah andaliman bubuk dengan metode ASLT melalui pendekatan kadar air kritis [skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Suriani C, Prasetya E, Harsono T, Handayani D. 2019. Habitat characteristics of Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) in North Sumatra using a GIS (Geographical Information System) approach. IOP Conf. Series: J Physics 1317: 012097. doi:10.1088/1742-6596/1317/1/012097
- Suteja II, Wijanarka W, Kusdiyantini E. 2022. Uji dan identifikasi aktivitas antioksidan isolat BAL CIN-2 hasil isolasi cinalok. *J Penelitian Saintek*. 27 (1): 49–60.
- Suyatma NE, Elisa J. 2020. *Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan Jilid II*. IPB-Press, Bogor.
- Ulfa R, Maddu A, Darusman HS, Santoso K. 2020. Gambaran leukosit setelah pemberian nanoenkapsulasi andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) pada burung puyuh pascainduksi imunosupresan deksametason. *J Veteriner*. 21 (2): 309–318.
- Wahyu SE, Lubis Z, Suryanto D. 2020. Effects of adding andaliman extract to the shelf life of tempeh nugget product. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 454: 012118. doi:10.1088/1755-1315/454/1/012118
- Wulansari ID, Admadi B, Mulyani S. 2020. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap kerusakan antioksidan ekstrak daun asam (*Tamarindusindica* L). *J Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 8 (4): 544–550. doi:10.24843/JRMA.2020.v08.i04.p07
- Yuniastri R, Ismawati, Fajarianingtyas DA. 2019. Umur simpan kopi lengkuas instan menggunakan metode accelerated shelf life testing (ASLT) dengan pendekatan persamaan arrhenius. *Buana Sains*. 19 (2): 31–40. doi:10.33366/bs.v19i2.1746
- Zhang W-E, Wang C-L, Shi B-B, Pan X-J. 2016. Effect of storage temperature and time on the nutritional quality of walnut male inflorescences. *J Food Drug Anal*. 25 (2): 374–384. doi:10.1016/j.jfda. 2016.05.010
- Zuliyama, Rahmanipu, Mulyana WO. 2023. Deskripsi kualitas minyak goreng hasil pemanasan. *SAINS J Kimia dan Pendidikan Kimia*. 12 (1): 57–63. doi:10.36709/sains.v12i1.34