

Pendugaan Umur Simpan Asam Lemak (*Ulva lactuca*) dengan Metode Accelerated Shelflife Testing

Anastasya Khalif Wiyani¹, Siti Ari Budhiyanti², Erista Adisetia^{3*)}

¹)Alumni Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Pertanian, UGM

²)Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, UGM
Jl. Flora Bulaksumur Yogyakarta 55281

³)Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, INSTIPER Yogyakarta

*)Correspondence email: erista@instiperjogja.ac.id

ABSTRAK

Ulva lactuca adalah salah satu jenis makroalga hijau yang memiliki kandungan asam lemak tak jenuh cukup tinggi. Asam lemak tak jenuh mudah mengalami kerusakan akibat reaksi oksidasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui umur simpan asam lemak makroalga *U. lactuca* dengan metode Accelerated ShelfLife Testing (ASLT). Penyimpanan asam lemak *U. lactuca* dilakukan pada suhu penyimpanan $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berturut-turut selama 25, 20, dan 15 hari dengan interval pengujian setiap 5 hari sekali, 4 hari sekali dan 3 hari sekali. Parameter uji yang digunakan adalah angka peroksida, angka anisidin, dan total oksidasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angka peroksida asam lemak *U. lactuca* yang disimpan pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ sebesar 1,52-9,24 mEq/kg, pada suhu $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ sebesar 2,44-9,56 mEq/kg, sedangkan pada suhu $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ sebesar 2,13-6,79 mEq/kg. Angka anisidin asam lemak *Ulva lactuca* yang disimpan pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, maupun $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ cukup fluktuatif, sementara total oksidasi pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berturut-turut sebesar 7,81-31,39, 12,48-26,86, dan 13,76-32,79. Dalam pengujian ASLT, parameter yang digunakan adalah angka peroksida dengan orde reaksi 0, karena mempunyai nilai R2 mendekati 1. Berdasarkan perhitungan ASLT, diperoleh umur simpan asam lemak *U. lactuca* pada suhu penyimpanan $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berturut-turut adalah 8,93 hari, 9,26 hari, dan 6,04 hari. Pendugaan umur simpan asam lemak *U. lactuca* dapat dilakukan dengan parameter kritis angka peroksida menggunakan model pendekatan Arrhenius dengan persamaan $t = \frac{C_t - C_0}{1,127^{(-\frac{88,499}{T})}}$

Kata Kunci: *Ulva lactuca*, asam lemak, umur simpan, oksidasi, ASLT

PENDAHULUAN

Alga adalah salah satu komoditas unggulan perikanan di Indonesia. Kondisi geografis Indonesia yang mendapat penyinaran matahari sepanjang tahun menjadikan perairan pesisir Indonesia cocok bagi pertumbuhan berbagai jenis alga. Salah satu kelompok makroalga yang banyak ditemukan di perairan Indonesia adalah alga hijau. Anggadiredja et al. (2009) memaparkan bahwa terdapat 196 jenis alga hijau telah ditemukan di perairan Indonesia. *Ulva lactuca* adalah salah satu spesies alga hijau yang banyak ditemukan di kawasan pantai, seperti di pantai selatan, Gunung Kidul, Yogyakarta. Safia (2003) menyatakan bahwa *Ulva lactuca* memiliki densitas yang cukup tinggi, yaitu 21,25 individu/m² di Pantai Ngandong dan 76,39 individu/m² di Pantai Drini. Jumlah tersebut lebih besar dibanding densitas alga hijau lain seperti *Enteromorpha intestinalis*, yang hanya sebesar 6,00 individu/m² di Pantai Ngandong dan 21,25 ind/m² di Pantai Drini. Jika dibandingkan dengan spesies alga merah yang juga terdapat di Pantai Ngandong yaitu *Rhodomenia* sp. dengan densitas 1,50 individu/m², maka *Ulva lactuca* tergolong lebih melimpah.

Ulva lactuca mengandung lemak sekitar 4%. Lemak pada rumput laut lebih banyak tersusun atas asam lemak tak jenuh Poly Unsaturated Fatty Acid (PUFA) dan Mono Unsaturated Fatty Acid (MUFA) yang berperan mengontrol kadar kolesterol dalam darah. Asam lemak tersebut diharapkan dapat diaplikasikan ke berbagai produk pangan sebagai fortifikan fungsional yang dapat meningkatkan nilai gizi suatu produk pangan. Namun, asam lemak tidak jenuh tersebut mudah mengalami reaksi oksidasi sehingga menyulitkan penyimpanan. Faktor yang mempengaruhi penyimpanan asam lemak, yakni suhu dan waktu. Asam lemak yang sudah teroksidasi berubah menjadisasam lemak jenuh yang dapat mempengaruhi kualitas dan kandungan asam lemak itu sendiri, antara lain karena akan meningkatkan gugus radikal peroksida yang mengikat oksigen. Tingginya kandungan asam lemak jenuh berbahaya bagi tubuh, karena dapat memicu berbagai penyakit penyebab kematian, seperti penyakit jantung koroner, stroke, meningkatnya kadar lipida utamanya kolesterol darah, hipertensi, bahkan dapat memicu terjadinya kanker (Syafiq, 2007).

Umur simpan asam lemak hasil ekstraksi dari *Ulva lactuca* perlu diketahui terlebih dahulu agar dapat diaplikasikan ke berbagai produk pangan, sehingga tujuan penambahan asam lemak ke dalam produk menjadi optimal. Metode yang umumnya digunakan untuk menentukan umur simpan suatu produk antara lain Accelerated ShelfLife Testing (ASLT). Metode pendugaan umur simpan ASLT, yaitu dengan cara menyimpan produk pangan pada lingkungan yang menyebabkannya cepat rusak, baik pada kondisi suhu atau kelembaban ruang penyimpanan yang lebih tinggi. Data perubahan mutu selama penyimpanan diubah dalam bentuk model matematika, kemudian umur simpan ditentukan dengan cara ekstrapolasi persamaan pada kondisi penyimpanan normal (Arpah, 2001). Metode ASLT kemudian dipilih untuk menjadi solusi cara penentuan umur simpan suatu produk karena biaya yang dibutuhkan mampu ditekan dan dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat dengan tingkat akurasi yang baik. Metode ASLT adalah metode yang sering digunakan dengan menyimpan produk pangan pada beberapa kondisi ekstrim yang dapat mempercepat kerusakan hingga umur simpan produk pangan habis, dan kemudian hasil ini dapat digunakan untuk memproyeksikan umur simpan produk pada kondisi distribusi sebenarnya (Labuza, 1982).

Pendekatan pendugaan umur simpan yang dapat dilakukan pada penentuan umur simpan adalah pendekatan secara kinetika Arrhenius. Metode ASLT model Arrhenius merupakan metode penentuan umur simpan pada produk pangan yang sensitif terhadap perubahan suhu (Koswara dan Kusnandar, 2014). Produk pangan akan disimpan dalam lingkungan dengan suhu yang ekstrim, sehingga produk pangan yang disimpan akan

mengalami penurunan mutu akibat proses oksidasi yang dipercepat. Produk kemudian disimpan pada suatu inkubator dengan menggunakan paling sedikit tiga suhu berbeda (Arpah, 2007).

Nicoli (2012) menyatakan bahwa asam lemak mudah mengalami kerusakan terutama diakibatkan oleh kerusakan kimia karena pengaruh suhu sekitar. Kerusakan kimia yang rentan terjadi pada asam lemak yakni, reaksi oksidasi. Parameter yang dapat mengindikasikan terjadinya kerusakan kimia pada asam lemak diantaranya adalah angka peroksida (PV), angka anisidin, dan total oksidasi. Hal tersebut merupakan indikator kimia yang dapat digunakan untuk memantau penurunan kualitas yang terjadi selama penyimpanan. Melalui pemantauan indikator tersebut selanjutnya dilakukan pengujian umur simpan dipercepat (ASLT) dalam kondisi lingkungan yang dapat mempercepat penurunan kualitas.

METODE DAN PROSEDUR

1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah erlenmeyer, pipet ukur, bulb, gelas ukur, mikrotip, mikropipet (Socorex), waterbath (Sibata, Japan), timbangan, analitik (Denver Instrument Company AA-2200), vortex (Maxi Mix II, US), centrifuge (Kokusan Corporation, Japan), freezer, microspoon, aluminium foil, termometer, GC-MS (QP 20105 Shimadzu, Japan) Moisture Balance MB 35.

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah alga hijau *Ulva lactuca* yang diambil dari Pantai Ngandong, Gunung Kidul, heksana teknis, etanol teknis, sodium sulfate (Na_2SO_4), gas nitrogen.

2. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada, bulan November-Februari 2020 di Laboratorium Teknologi Pengolahan Ikan, Departemen Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Asam lemak yang terkandung dalam *Ulva lactuca* yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas asam lemak jenuh (SFA) asam palmitat (C16:0) (4.82 ± 0.66 %) dan asam stearat (C18:0) (1,34 %), serta asam lemak tidak jenuh (UFA) yaitu asam oleat (C18:1) (3.56 ± 2.96) yang merupakan jenis asam lemak tidak jenuh tunggal (MUFA). Menurut penelitian Ramadhani (2018), asam lemak U. *lactuca* yang diekstrak menggunakan metode Direct Transesterification Lepage and Roy (LRC) dengan suhu 70°C selama 3 jam mampu menghasilkan asam lemak yang tinggi dengan komposisi antara lain, SFA ($22,02 \pm 2,9\%$), MUFA ($3,5 \pm 0,5\%$) dan PUFA ($12,4 \pm 1,2\%$), serta rasio PUFA/SFA ($0,57 \pm 0,02\%$). Perbedaan ini disebabkan oleh pelarut yang digunakan saat ekstraksi berbeda. Ekstraksi asam lemak oleh Ramadhani (2018) menggunakan pelarut asetil klorida dan heksana sedangkan pada penelitian ini menggunakan pelarut etanol dan heksana.

Asam lemak *Ulva lactuca* yang telah melalui proses penyimpanan, dilakukan pengujian terhadap parameter oksidasi primer dan sekunder untuk menentukan kualitasnya. Parameter tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode Accelerated ShelfLife Testing (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius untuk mengetahui umur simpannya. Penentuan umur simpan menunjukkan batas suatu produk tetap dalam batas yang ditentukan selama penyimpanan dan penggunaannya dengan sifat dan karakteristik yang sama pada saat akan dikonsumsi. Hasil pengamatan terhadap parameter angka peroksida, angka anisidin, dan total oksidasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Angka Peroksida, Angka Anisidin, dan Total Oksidasi asam lemak *Ulva lactuca* yang disimpan pada suhu 30±2 °C, 40±2 °C, dan 50±2 °C

Suhu (°C)	Hari	Angka Peroksida (mEq/kg)	Angka Anisidin (mEq/kg)	Nilai Total Oksidasi
30±2	0	1,52 ^a	4,78 ^a	7,81 ^a
	5	2,9 ^a	6,91 ^{ab}	12,71 ^{ab}
	10	5,83 ^b	10,62 ^{ab}	22,27 ^{bc}
	15	5,99 ^b	7,74 ^{bc}	19,71 ^{cd}
	20	7,84 ^{bc}	12,3 ^c	27,99 ^{de}
	25	9,24 ^c	12,92 ^c	31,39 ^e
40±2	0	1,52 ^a	4,78 ^a	7,81 ^a
	4	2,44 ^a	7,59 ^{ab}	12,48 ^{ab}
	8	3,22 ^a	10,71 ^{bc}	17,16 ^b
	12	4,18 ^a	8,11 ^{ab}	16,48 ^b
	16	7,46 ^b	11,93 ^c	26,84 ^c
	20	9,56 ^b	7,74 ^{ab}	26,86 ^c
50±2	0	1,52 ^a	4,78 ^a	7,81 ^a
	3	2,13 ^a	9,5 ^{ab}	13,76 ^{ab}
	6	2,92 ^a	8,81 ^{ab}	14,64 ^{ab}
	9	3,62 ^{ab}	10 ^{ab}	17,23 ^{ab}
	12	4,61 ^{ab}	14,29 ^{bc}	23,51 ^{bc}
	15	6,79 ^b	19,21 ^c	32,79 ^c

Keterangan : huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata ($p>0,05$) pada suhu pengamatan yang sama

1. Angka Peroksida

Kong dan Singh (2011) menjelaskan bahwa peroksida (R-OOH) adalah produk reaksi primer yang terbentuk pada tahap awal oksidasi. Angka peroksida adalah parameter yang menunjukkan perubahan produk akibat oksidasi primer pada lemak, atau asam lemak akibat autooksidasi. Lemak yang mempunyai ikatan rangkap atau mempunyai tingkat ketidakjenuhan tinggi lebih mudah mengalami autooksidasi. Angka peroksida dapat menggambarkan tingkat oksidasi lemak, dimana semakin tinggi angka peroksida, maka jumlah lemak yang teroksidasi juga semakin banyak. Semakin banyak lemak yang teroksidasi maka produk tersebut mengalami penurunan mutu yang berujung pada kerusakan produk (Maharani et al., 2012). Minyak yang kontak langsung dengan udara dan suhu tinggi dapat mengakibatkan kerusakan oksidatif. Rantai karbon dalam ikatan rangkap akan putus, sehingga asam lemak bebas dan bilangan peroksida bertambah (Gunawan et al., 2003).

Berdasarkan data pada Tabel 1, angka peroksida asam lemak makroalga *Ulva lactuca* pada masing-masing suhu secara umum menunjukkan adanya peningkatan nilai dari awal hingga akhir penyimpanan. Asam lemak *Ulva lactuca* yang disimpan pada suhu 30±2°C selama 0-25 hari mempunyai angka peroksida sebesar 1,52-9,24 mEq/kg. Penyimpanan pada suhu 40±2°C selama 0-20 hari, menyebabkan asam lemak *Ulva lactuca* memiliki angka peroksida 2,44-9,56 mEq/kg, sedangkan pada penyimpanan suhu 50±2°C selama 0-15 hari, asam lemak *Ulva lactuca* memiliki angka peroksida sebesar 2,13-6,79 mEq/kg. Ismail et al. (2016) menyatakan bahwa berdasarkan GOED Voluntary Monograph standar minyak yang baik mempunyai batas maksimal bilangan peroksida sebesar 5 mEq/kg, sehingga hasil pada

penelitian ini menunjukkan bahwa asam lemak *Ulva lactuca* mengalami penurunan mutu seiring dengan bertambahnya suhu penyimpanan.

Hasil uji Anova angka peroksida pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa angka peroksida berbeda nyata pada hari ke-20 dan mulai mengalami kerusakan pada hari ke-10. Angka peroksida tertinggi terdapat pada lemak yang disimpan pada hari ke-25 dengan nilai sebesar 9,4 mEq/kg. Sedangkan berdasarkan hasil uji Anova terhadap angka peroksida pada suhu $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ dapat diketahui bahwa asam lemak *Ulva lactuca* yang disimpan pada suhu $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ mulai mengalami kerusakan sejak hari ke 16. Angka peroksida tertinggi terdapat pada asam lemak yang disimpan hari ke 20 dengan nilai sebesar 9,65 mEq/kg.

Berdasarkan uji Anova yang ditampilkan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa angka peroksida asam lemak yang disimpan pada suhu $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berbeda nyata pada hari ke 15. Asam lemak mulai mengalami kerusakan pada hari tersebut. Angka peroksida pada hari ke 15 mempunyai nilai tertinggi dengan nilai sebesar 6,79 mEq/kg.

Asam lemak *Ulva lactuca* mengandung asam lemak tak jenuh yang cukup tinggi. Asam lemak tak jenuh merupakan jenis asam lemak yang cenderung tidak stabil karena memiliki ikatan rangkap sehingga mudah mengalami reaksi. Pada penelitian ini, angka peroksida pada asam lemak *Ulva lactuca* yang disimpan pada beberapa suhu mengalami peningkatan signifikan terhadap penambahan waktu penyimpanan. Hal tersebut terjadi pula pada penelitian yang dilakukan oleh Husain et al., (2016) mengenai kerusakan oksidatif terhadap minyak ikan tuna (*Thunnus sp.*) selama penyimpanan pada berbagai suhu dan waktu. Reaksi oksidasi mudah terjadi sebab minyak ikan mengandung ikatan rangkap yang menyebabkan molekul oksigen mudah terikat dan mengalami oksidasi. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa angka peroksida yang terbentuk semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu dan lama waktu penyimpanan. Tingkat oksidasi tergantung pada tingkat ketidakjenuhan dan meningkat dengan meningkatnya ikatan rangkap asam lemak (Ahmed et al., 2016).

2. Angka Anisidin

Reaksi oksidasi pada minyak awalnya akan membentuk peroksida dan hidroperoksida, kemudian senyawa tersebut berubah menjadi aldehid, keton, dan asam lemak bebas. Nilai p-anisidin adalah salah satu parameter oksidasi sekunder dari dekomposisi hidroperoksida yang diukur berdasarkan reaksi p-anisidin dengan aldehid (2-alkenal dan 2,4-alkalialenal) yang terdapat didalam minyak dalam kondisi asam. Reaksi ini akan menghasilkan kompleks berwarna kuning yang dapat diabsorbansi pada 350 nm (Kusharto et al., 2015). Berdasarkan hasil penelitian ini, angka anisidin asam lemak *Ulva lactuca* yang terbentuk selama penyimpanan memiliki nilai yang fluktuatif. Hasil pengamatan terhadap angka anisidin terdapat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil uji Anova terhadap angka anisidin pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ diketahui bahwa asam lemak yang disimpan pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ memiliki angka anisidin tertinggi pada hari ke 25 dengan nilai 12,95 mEq/kg, sedangkan hasil dari uji Anova terhadap angka anisidin pada suhu $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ diketahui mempunyai angka anisidin tertinggi pada hari ke 16 dengan nilai 11,93 mEq/kg.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari uji Anova terhadap angka anisidin pada suhu $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ diketahui bahwa asam lemak yang disimpan pada suhu $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ memiliki angka anisidin tertinggi pada hari ke 15 dengan nilai 19,21 mEq/kg. Bilangan anisidin merupakan jumlah aldehid dari hasil dekomposisi peroksida. Menurut Estiasih et al. (2009) suhu penyimpanan asam lemak adalah faktor yang dapat mempengaruhi oksidasi sekunder yang menghasilkan aldehid dan keton. Feryana et al. (2014) menyatakan waktu penyimpanan

adalah faktor yang menyebabkan pembentukan senyawa p-anisidin. Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh International Fish Oil Standard (IFOS), minyak yang berkualitas baik harus memiliki nilai p-anisidin ≤ 15 mEq/Kg. Pada penelitian ini, asam lemak *Ulva lactuca* yang disimpan pada suhu $30 \pm 2^\circ\text{C}$ dan $40 \pm 2^\circ\text{C}$ mempunyai kualitas baik sesuai standar IFOS yang mengindikasikan bahwa kerusakan oksidatif sekunder yang terjadi belum mengarah pada penurunan kualitas. Pada suhu $50 \pm 2^\circ\text{C}$ asam lemak *Ulva lactuca* mulai mengalami penurunan kualitas di hari ke 15. Hal tersebut sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Srimati (2015) yang menunjukkan adanya pengaruh suhu dan waktu terhadap angka anisidin minyak ikan lele yang dimurnikan.

3. Angka Total Oksidasi (Totoks)

Nilai total oksidasi adalah pengukuran angka peroksida sebagai produk primer dan angka p-anisidin sebagai produk sekunder secara bersamaan sehingga diperoleh jumlah total produk oksidasi minyak (Pokorny et al., 2001). Hasil perhitungan nilai totoks terdapat pada Tabel 1. Nilai totoks asam lemak *Ulva lactuca* pada suhu $30 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 0-25 sebesar 7,81-31,39. Pada penyimpanan suhu $40 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 0-20 hari, asam lemak *Ulva lactuca* memiliki nilai totoks 12,48-26,86, sedangkan pada penyimpanan suhu $50 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 0-15 hari, asam lemak *Ulva lactuca* memiliki nilai totoks sebesar 13,76-32,79. Secara umum, berdasarkan hasil penelitian ini nilai total oksidasi menunjukkan adanya peningkatan seiring dengan peningkatan suhu dan semakin lamanya penyimpanan. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Wang et al. (2019) pada minyak esensial yang mengalami peningkatan nilai total oksidasi seiring dengan peningkatan suhu dan waktu penyimpanan. Menurut Ismail et al. (2016) berdasarkan standar yang ditetapkan oleh GOED Voluntary Monograph, minyak ikan memiliki batas maksimal nilai total oksidasi sebesar 26.

Berdasarkan uji Anova terhadap total oksidasi pada suhu $30 \pm 2^\circ\text{C}$ diketahui bahwa nilai total oksidasi berbeda nyata pada hari ke-10, 15, 20, dan 25, dan asam lemak mulai rusak pada hari ke-20 memiliki nilai total oksidasi 31,39. Hasil uji Anova terhadap total oksidasi pada suhu $40 \pm 2^\circ\text{C}$ menunjukkan bahwa terdapat beda nyata nilai total oksidasi pada hari ke-8, 12, 16, dan 20, dan asam lemak mulai mengalami kerusakan pada hari ke 16, serta memiliki total oksidasi tertinggi pada hari ke 20 dengan nilai 26,86. Sedangkan berdasarkan hasil yang diperoleh dari uji Anova terhadap total oksidasi pada suhu $50 \pm 2^\circ\text{C}$ diketahui bahwa terdapat beda nyata nilai total oksidasi pada hari ke-12 dan 15. Jika ditinjau dari nilai total oksidasinya, asam lemak *Ulva lactuca* mulai mengalami kerusakan pada hari ke 15. Asam lemak yang disimpan pada suhu $50 \pm 2^\circ\text{C}$ memiliki nilai total oksidasi tertinggi pada hari ke 15 dengan nilai 32,79.

4. Penentuan Orde Reaksi dan Nilai k

Penentuan orde reaksi merupakan langkah awal untuk menentukan laju penurunan mutu asam lemak. Jika laju kerusakan terjadi secara konstan atau linier maka mengikuti orde reaksi 0. Namun jika laju kerusakan terjadi secara tidak konstan, secara logaritmik atau eksponensial, maka mengikuti orde reaksi 1. Dalam reaksi-reaksi kinetika, penurunan mutu bahan pangan mengikuti orde 0 dan orde 1. Orde 0 dapat dideteksi dengan membuat plot antara nilai parameter mutu (C) sebagai sumbu Y dan lama penyimpanan (t) sebagai sumbu X. Orde 1 dapat dideteksi dengan membuat plot antara nilai $\ln(C)$ sebagai sumbu Y dan lama penyimpanan (t) sebagai sumbu X. Berdasarkan plotting tersebut akan diperoleh nilai R². Orde reaksi dengan nilai R² yang lebih besar merupakan orde reaksi yang dipilih untuk digunakan dalam penentuan model umur simpan asam lemak (Arif et al., 2014). Hasil perhitungan R² dan nilai k ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai R² dan k Angka Peroksida, Angka Anisidin, dan Total Oksidasi pada berbagai orde

Parameter	Suhu	Nilai Awal Parameter (N0)	Orde 0		Orde 1	
			R ²	k	R ²	K
Angka Peroksida	30±2°C	1,52	0,9674	0.3062	0,8875	0.0688
	40±2°C	1,52	0,9154	0.4081	0,977	0.0929
	50±2°C	1,52	0,9365	0.3285	0,9932	0.0954
Angka Anisidin	30±2°C	4,78	0,7951	0.3085	0,7856	0.0365
	40±2°C	4,78	0,2563	0.1748	0,3158	0.0245
	50±2°C	4,78	0,8799	0.8353	0,8834	0.0791
Total Oksidasi	30±2°C	7,81	0,9279	0.921	0,8806	0.0526
	40±2°C	7,81	0,8981	0.9909	0,8963	0.0609
	50±2°C	7,81	0,918	1.4928	0,9479	0.0852

Keterangan : R² = nilai regresi, k = konstanta penurunan mutu

Berdasarkan Tabel 2 maka terlihat bahwa pada orde nol (n=0) menghasilkan nilai angka peroksida dengan R²>0,9 pada semua perlakuan suhu sedangkan pada perlakuan yang lain menghasilkan nilai R²<0,9 sehingga n=0 digunakan untuk proses perhitungan selanjutnya.

5. Penentuan Parameter Kritis Penduga Umur simpan melalui Energi Aktivasi (Ea)

Nilai k ini menunjukkan laju perubahan mutu dari masing-masing parameter di setiap suhu. Dengan diketahuinya nilai k ini maka dapat dihitung nilai k₀ dan Ea (energi aktivasi). Energi aktivasi (Ea) adalah dalah energi minimal yang harus dimiliki molekul untuk melakukan suatu reaksi (Holdsworth, 1997). Ea dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui jumlah energi minimum yang digunakan untuk mengaktifkan suatu reaksi sebagai akibat dari pertemuan molekul-molekul didalam tumbukan atau getaran, sedangkan jumlah frekuensi tumbukan antar molekul-molekul selama reaksi berlangsung bisa ditunjukkan dengan adanya konstanta faktor frekuensi (k₀). Parameter yang memiliki nilai energi aktivasi yang terendah merupakan parameter kunci (Afriyanti, 2017). Nilai k, k₀, dan energi aktivasi (Ea) dari penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai k, k₀, dan Energi Aktivasi (Ea)

Parameter Mutu	Nilai k	Nilai k ₀	Nilai Ea (kJ/mol)
Angka Peroksida	0,332	1,127	735,813
Angka Anisidin	0,219	1483627	9469,645
Total Oksidasi	0,872	2010,824	4661,539

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. angka peroksida, angka anisidin, dan total oksidasi berturut-turut mempunyai energi aktivasi sebesar 735,813 kJ/mol, 9469,645 kJ/mol, dan 4661,539 kJ/mol. Energi aktivasi dengan nilai terendah terdapat pada angka peroksida. Hal tersebut mengindikasikan bahwa reaksi pembentukan angka peroksida lebih mudah terjadi dibandingkan dengan parameter lainnya sehingga angka peroksida menjadi parameter kritis untuk pendugaan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca*. Dengan demikian, penentuan umur simpan mengikuti persamaan regresi angka peroksida dengan orde 0. Pendekatan persamaan Arrhenius (k) yang dapat digunakan adalah $C_t = C_0 + k_0 \left(\frac{E_a}{R.T} \right) . t$

$$C_t = C_0 + 1,127^{\left(-\frac{735,813}{8,3144 \cdot T}\right)} \cdot t.$$

$$C_t = C_0 + 1,127^{\left(-\frac{88,499}{T}\right)} \cdot t \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dari Persamaan 8 maka dapat digunakan untuk mencari umur simpan produk pada berbagai suhu penyimpanan dengan mengonversi persamaan menjadi Persamaan 9.

$$t = \frac{C_t - C_0}{1,127^{\left(-\frac{88,499}{T}\right)}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

Dengan menggunakan Persamaan 9 maka diperoleh perhitungan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca* pada berbagai suhu yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penentuan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca*

T	Co	Ct	t (hari)
30	1,52	9,24	8,94
40	1,52	9,56	9,26
50	1,52	6,79	6,04

Berdasarkan perhitungan umur simpan yang terdapat pada Tabel 4. menunjukkan bahwa umur simpan asam lemak *Ulva lactuca* yang disimpan pada suhu 30±2°C adalah 8,94 hari. Pada penyimpanan suhu 40±2°C asam lemak *Ulva lactuca* memiliki umur simpan yaitu 9,26 hari, sedangkan pada penyimpanan suhu 50±2°C memiliki umur simpan selama 6,04 hari.

6. Perbandingan Umur Simpan dengan Q10

Selain dengan menggunakan persamaan Arrhenius, pendugaan umur simpan juga dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Q10. Nilai Q10 menunjukkan bahwa nilai laju reaksi kimia akan berlipat dengan adanya peningkatan suhu sebesar 10°C. Pendugaan umur simpan dengan menggunakan metode Q10 dilakukan dengan menggunakan nilai Ea atau energi aktivasi. Perhitungan nilai Q10 adalah sebagai berikut:

- a) Menghitung nilai Ea
Jika nilai Ea/R = 370,5 maka nilai Ea untuk R= 1,986 kal/mol K adalah
Ea= 370,5 x 1,986 kal/molK
Ea = 735,813
- b) Penentuan Q10 pada suhu 30 hingga 40°C

$$Q_{10} = e^{Ea(T_2 - T_1) / R \cdot T_1 \cdot T_2}$$

$$\text{Log } Q_{10} = \frac{10 \times Ea \times \log 2,718}{1,986 \times T_1 \times T_2}$$

$$\text{Log } Q_{10} = \frac{10 \times 735,813 \times \log 2,718}{1,986 \times (30+273) \times (40+273)}$$

$$\text{Log } Q_{10} = 0,01695$$

$$Q_{10} = 1,0398$$

Nilai tersebut menandakan bahwa setiap terjadi peningkatan suhu sebesar 10°C, maka laju reaksi meningkat 1,0398, sehingga pendugaan umur simpan berdasarkan perhitungan Q10 sesuai pada Tabel 5.

Tabel 5. Pendugaan umur simpan dengan pendekatan Q10 pada berbagai suhu dan pendekatan Arrhenius

Suhu	Pendugaan Umur Simpan dengan Pendekatan Arrhenius (hari)	Pendugaan Umur Simpan dengan Pendekatan Q ₁₀ (hari)
30	8,93	8,94
40	9,26	7,90
50	6,044	6,86

Berdasarkan data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pendugaan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca* dengan pendekatan Arrhenius pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berturut-turut adalah 8,93 hari, 9,26 hari, dan 6,044 hari. Apabila pendugaan menggunakan pendekatan Q10, umur simpan dapat diduga pada tiap kenaikan suhu sebesar 10°C . Berdasarkan data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pendugaan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca* dengan pendekatan Q10 pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berturut-turut adalah sebesar 8,94 hari, 7,90 hari, dan 6,86 hari. Secara umum, hasil pendugaan menggunakan pendekatan Arrhenius maupun dengan pendekatan Q10 tidak jauh berbeda.

7. Pembahasan Umum

Ulva lactuca merupakan salah satu jenis makroalga hijau yang memiliki kandungan asam lemak tak jenuh cukup tinggi. Profil asam lemak yang terkandung dalam *Ulva lactuca* yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas asam lemak jenuh (SFA) yaitu asam palmitat (C16:0) ($4.82\pm 0.66\%$) dan asam stearat (C18:0) (1,34%), serta asam lemak tidak jenuh tunggal (MUFA) yaitu asam oleat (C18:1) (3.56 ± 2.96) yang merupakan jenis asam lemak tidak jenuh tunggal (MUFA). Asam lemak tak jenuh mudah mengalami kerusakan akibat reaksi oksidasi. Parameter yang digunakan sebagai indikator kerusakan pada asam lemak pada penelitian ini adalah angka peroksida, angka anisidin, dan total oksidasi. Melalui parameter tersebut, selanjutnya dilakukan pendugaan umur simpan untuk mengetahui umur simpan asam lemak makroalga *Ulva lactuca* dengan metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT). Penyimpanan asam lemak *Ulva lactuca* dilakukan pada suhu penyimpanan $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berturut-turut selama 25, 20, dan 15 hari dengan interval pengujian parameter yang dilakukan setiap 5 hari sekali, 4 hari sekali dan 3 hari sekali.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perubahan mutu kimiawi yang ditunjukkan oleh linearitas (R²) parameter angka peroksida yang mendekati angka 1, oleh karena itu angka peroksida dipilih sebagai parameter yang menentukan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca*. Selain itu, angka peroksida memiliki energi aktivasi terendah diantara parameter mutu angka anisidin dan total oksidasi yaitu sebesar 735,813 kJ/mol. Energi aktivasi yang rendah mengindikasikan bahwa reaksi pembentukan senyawa peroksida ini membutuhkan energi awal yang kecil untuk memulai reaksi sehingga reaksi terjadi lebih cepat dibanding reaksi pada parameter mutu lainnya. Hal tersebut dapat terjadi karena angka peroksida merupakan parameter oksidasi primer yang terbentuk paling awal dibanding parameter kerusakan oksidatif lainnya. Angka peroksida dipilih sebagai indikator penentu menunjukkan penurunan kualitas yang terjadi lebih awal dibanding reaksi lainnya selama masa penyimpanan. Oksidasi adalah reaksi deterioratif kimiawi yang memiliki pengaruh penting terhadap penurunan mutu. Lemak atau asam lemak adalah produk yang terutama akan mengalami reaksi oksidatif (Nicoli, 2012). Selama oksidasi asam lemak, oksigen

bereaksi dengan lemak tak jenuh. Jumlah dan lokasi ikatan rangkap pada asam lemak atau trigliserida adalah salah satu faktor yang mempengaruhi laju oksidasi. Suhu adalah faktor penting yang dapat mempercepat terjadinya reaksi oksidasi.

Angka peroksida merupakan metode kimia yang paling umum untuk mengukur penurunan oksidatif minyak. Pengukuran angka peroksida adalah metode yang berguna untuk memantau penurunan oksidatif minyak, meskipun biasanya harus dikombinasikan dengan metode pemantauan sekunder. Nilai angka peroksida yang tinggi dapat mencerminkan peningkatan pembentukan hidroperoksida atau pengurangan dekomposisi (Steele, 2004).

Sebagai parameter penentu, nilai angka peroksida dianalisis menggunakan metode ASLT melalui pendekatan Arrhenius untuk menentukan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca*. Akhir umur simpan ditentukan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai peroksida kritis yang dianggap sebagai batas nilai untuk penerimaan sampel (Bravi et al., 2020). Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperoleh hasil umur simpan asam lemak *Ulva lactuca* pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ adalah 8,93 hari. Pada penyimpanan suhu $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ asam lemak *Ulva lactuca* memiliki umur simpan yaitu 9,26 hari dan pada penyimpanan suhu $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ memiliki umur simpan selama 6,044 hari. Apabila pendugaan menggunakan pendekatan Q10, umur simpan dapat diduga pada tiap kenaikan suhu sebesar 10°C . Pendugaan umur simpan asam lemak *Ulva lactuca* dengan pendekatan Q10 pada suhu $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, dan $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ berturut-turut adalah sebesar 8,94 hari, 7,90 hari, dan 6,86 hari. Setiap terjadi peningkatan suhu sebesar 10°C laju reaksi meningkat sebesar 1,0398. Secara umum, hasil penelitian ini memiliki umur simpan yang tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Shen et al. (2019) terhadap minyak DHA alga dengan umur simpan yang diperoleh adalah 7,11 hari. Hasil nilai pH terbaik adalah nira yang diperoleh pohon kelapa disemua umur, saat pohon mulai berbuah, hasil nira pada musim penghujan dan hasil penyadapan pada sore hari. Untuk mempertahankan pH nira kelapa selama penyadapan dapat dilakukan dengan penambahan pengawet (*laru*). Berbagai jenis *laru* telah diteliti untuk meningkatkan kualitas nira selama penyadapan dan penyimpanan.

KESIMPULAN

Parameter kritis yang dapat digunakan sebagai parameter penduga umur simpan melalui persamaan Arrhenius adalah angka peroksida. Pendugaan umur simpan dengan metode ASLT dapat dilakukan dengan model pendekatan Arrhenius menggunakan persamaan : $t =$

$$\frac{C_t - C_0}{1,127^{\left(-\frac{88,499}{T}\right)}}$$

Untuk penelitian lebih lanjut Perlu dilakukan perbaikan proses ekstraksi asam lemak *Ulva lactuca* dengan mengganti pelarut yang lebih optimal dalam mengesktrak seperti menggunakan pelarut asetil klorida dan heksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti. 2017. Pendugaan Umur Simpan Keripik Tempe Sagu Menggunakan Pengemas Plastik PP dengan Metode Arrhenius. Jurnal Ilmu Pangan dan Hasil Pertanian Vol. 1 No. 1 Thn. 2017 .
- Ahmed, M., J. Pickova, T. Ahmad, M. Liaquat, A. Farid, M. Jahangir. 2016. Oxidation of lipids in foods. Sarhad Journal of Agriculture, 32(3): 230-238.
- Anggadiredja, J.T. 2009. Rumput Laut, Pembudidayaan, Pengolahan, & Pemasaran Komoditas Perikanan Potensial. Penebar Swadaya. Depok.
- Arrhenius, S.A. 1901. Larobok I teoretisk elektrokeni. Leipzig: Quando and Handel

- Arpah. 2001. Penentuan Kedaluwarsa Produk Pangan. Program Studi Ilmu Pangan IPB. Bogor
- Arpah M. 2007. Penetapan Waktu Kadaluwarsa Pangan. Bogor (ID): Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Bravi E, Sileonia V , Perretti G, Marconi O. 2020. Accelerated shelf-life model of gluten-free rusks by using oxidation indices. *Food Chemistry* 326
- Estiasih T. 2009. Minyak Ikan, Teknologi dan Penerapannya untuk Pangan dan Kesehatan. Yogyakarta (ID): Graha Ilmu
- Gunawan, Triatmo MMA, Rahayu A. 2003. Analisis pangan: penentuan angka peroksida dan asam lemak bebas pada minyak kedelai dengan variasi menggoreng. *Jurnal Staf Kimia Analitik* 6(3): 1-6.
- Holdsworth D. 1997. *Thermal Processing of Packaged Foods*. First edition. Chapman & Hall. London.
- Ismail A, Bannenberg G, Rice H, Schutt H, MacKay D. 2016 Oxidation in EPA- and DHA-rich oils: an overview *Lipid Technology*. Vol. 28, No. 3–4
- Koswara, S dan F. Kusnandar. 2004. Studi kasus pendugaan umur simpan produk pangan. Pelatihan Pendugaan Waktu Kadaluarsa Bahan dan Produk Pangan. Bogor, 1-2 Desember 2004.
- Kusharto C M, Srimiyati M, Tanziha I, Suseno SH. 2015. Efek penambahan vitamin E terhadap stabilitas minyak ikan lele. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 18(3): 321-328.
- Kong F and Singh P. 2011. *Advances in instrumental methods to determine food quality deterioration*. Woodhead Publishing Limited. University of California, Davis, USA
- Labuza, T.P. (1982). *Shelf Life Dating of Foods*. Food and Nutrition Press. Westport, Connecticut. Labuza, T.P. dan M.K. Schmidl.
- Nicoli, M. C. 2012. *An Introduction to Food Shelf Life: Definitions, Basic Concepts, and Regulatory Aspects*. CRC Press
- Pokorny J., Yanishieva N., Gordon M.H. (2001): Antioxidants. In: *Food: Practical Applications*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge: 16–18.
- Ramadhani, A. D. 2018. Pengaruh Suhu dan Lama Ekstraksi Direct Transesterification Terhadap Asam Lemak Makroalga *Ulva lactuca* dari Pantai Ngandong Kabupaten Gunung Kidul. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada. Skripsi.
- Safia, R. N. 2013. Jenis dan Sebaran Makroalga di Zona Intertidal Pantai Ngandong dan Drini Kabupaten Gunung Kidul. [Skripsi]. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Shen, Y., Lu, T., Liu, X-Y., Zhao, M-T., Yin, F-W., Rakariyatham, K., Zhou, D-Y. 2019. Improving the oxidative stability and lengthening the shelf life of DHA algae oil with composite antioxidants. *Food Chemistry*
- Steele R. 2004. *Understanding and measuring the shelf-life of food*. Woodhead Publishing Limited Abington Hall. Abington Cambridge
- Syafiq, A. 2007. *Gizi dan Kesehatan Masyarakat Edisi Revisi*. Jakarta: RajaGrafindoPersada.
- Wang D, Menga Y, Zhaob X, Fanc W, Yid T, Wang X. 2019. Sunflower oil flavored by essential oil from *Punica granatum* cv. Heyinshiliu peels improved its oxidative stability and sensory properties. *LWT - Food Science and Technology* 111 (2019) 55–61